

Федеральное агентство по образованию  
Уральский государственный технический университет – УПИ  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина



**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ XVI УРАЛЬСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ  
НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ**

Часть 2

Екатеринбург  
УГТУ–УПИ

2009

УДК 0378.4-057.4-053.81(066)  
ББК 74.58 я 43  
Н 34

Н 34 Научные труды XVI Уральской международной конференции молодых ученых по приоритетным направлениям развития науки и техники: сборник статей. В 3 ч. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. Ч. 2. 257 с.

ISBN 978-5-321-01501-8

Сборник посвящён отчетам о научной работе молодых ученых

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доц. К.А. Аксенов; канд. техн. наук, доц. Ю.О. Григорьев;  
д-р пед. наук, проф. М.В. Голомидова; канд. техн. наук, доц. А.Г. Илларионов;  
канд. техн. наук, доц. В.С. Кийко; канд. техн. наук, доц. А.П. Карамышев; канд.  
экон. наук, доц. С.В. Кругликов; д-р хим. наук, проф. Ю.Ю. Моржерин;  
д-р экон. наук, проф. И.А. Майбуров; канд. техн. наук, доц. Т.А. Недошивина;  
канд. техн. наук В.Н. Оносов; канд. фил. наук, доц. М.В. Полухина;  
канд. хим. наук Т.Л. Пиличева; канд. экон. наук, доц. В.В. Пиличев;  
канд. техн. наук, доц. А.А. Суворов; канд. экон. наук, доц. Н.Г. Терлыга;  
канд. экон. наук, доц. Е.В. Ядренникова.

Ответственный за выпуск д-р техн. наук, проф. А.А. Попов

Выпуск подготовлен отделом докторантуры и аспирантуры  
УГТУ–УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
при содействии Попечительского совета УГТУ-УПИ

УДК 0378.4-057.4-053.81(066)  
ББК 74.58 я 43

ISBN 978-5-321-01501-8

© УГТУ– УПИ, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

Абрьшкина Л.А., студентка Лозовая Е.Ю., доц., канд. техн. наук ПРОЦЕСС ДЕСУЛЬФУРАЦИИ В АГРЕГАТЕ ПЕЧЬ – КОВШ. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ	17
Гафиатулина Д.Р., студентка Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук КАМЕРНЫЙ ВАКУУМАТОР С СУХИМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ НАСОСАМИ	21
Жуков Д.В., студент Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДОГРЕВА ЛОМА ПЕРЕД ЗАГРУЗКОЙ В ДСП	23
Камозина Е.А., студентка Лозовая Е.Ю., доц., канд. техн. наук АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТАЛИ, ВЫПЛАВЛЯЕМОЙ НА ОАО «ЧМЗ»	25
Корнилов А.А., студент Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук ДВУХВАЛКОВЫЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЕ АГРЕГАТЫ	28
Чеблакова О.С., студентка Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛУРГИИ	30
Панов Д.С., аспирант Шопперт А.А., студент Логинова И.В., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛИЗАТОРОВ НА ПРОЦЕСС ДЕКОМПОЗИЦИИ ЩЕЛОЧНО-АЛЮМИНАТНЫХ РАСТВОРОВ	32
Новосёлова Н.А., студентка Спиридонов М.А., проф., д-р хим. наук Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА МОЛЕКУЛАХ ФУЛЛЕРЕНА C <sub>60</sub>	35
Ширев М.Ю., студент Лебедев В.А., проф., д-р хим. наук ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАРНАЛЛИТА	37
Алексеев С.Ю., студент Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК ТИПА «БАЛКА ПЕРЕПЛЕТА» ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК6Т1 В УСЛОВИЯХ «ОАО КУМЗ»	43

Ананьев А.В., студент Харитонов В.В., доц., канд. техн. наук ПРОГРАММА “CRMModel” ДЛЯ МКЭ – МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТРУБ НА ТРЕХВАЛКОВОМ НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ С УДЕРЖИВАЕМОЙ ОПРАВКОЙ	45
Антоненко Л.В., аспирантка Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	50
Бабайлова А.Н., студент Буркин С.П., проф., канд. техн. наук НОВАЯ СХЕМА КОВКИ СУТУНОК ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ	53
Бекреев А.А., студент Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИ ВОЗМОЖНОГО ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК	57
Витькин Д. А., аспирант Богатов А.А., проф., д-р техн. наук АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРАНСПОРТНОГО МЕТАЛЛА ОАО «НТМК» НА КАЧЕСТВО ВАГОННЫХ ОСЕЙ	60
Ильиных Р.А., аспирант Богатов А.А., проф., д-р техн. наук АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА НА ОАО НПК «УРАЛВАГОНЗАВОД»	63
Брынских Я.А., студент Буркин С.П., проф., канд. техн. наук ВАРИАНТ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ ШТАБИКОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ	65
Епишин А. Ю., студент Зайнуллин Л. А., проф., д-р техн. наук СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ «ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ – БАРАБАННЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ» ДЛЯ ОБЖИГА ЛИСАКОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА	70
Еремеева К.В., аспирантка Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРУТКА С ПОРОЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ	73
Ерыкалова Н.А., студент Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОКОВОК С МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ИЗ СЛИТКОВ ПЛОСКОГО СЕЧЕНИЯ БЕЗ ФРЕЗЕРОВКИ ГРАНЕЙ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»	76

Калинина Н. А., студентка Железняк Л. М., доц., канд. техн. наук СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМА НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ ПЛИТ И ЛИСТОВ ИЗ СПЛАВА МАРКИ 6061 В УСЛОВИЯХ «ОАО КУМЗ»	78
Карова Е.Г., студентка Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ ИЗ СПЛАВОВ 5083, 5086, 5052 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МОРСКОМ СУДОСТРОЕНИИ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»	80
Конева Е.С., студентка Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ НАНОТЕХНОЛОГИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ	82
Кудряшова О.В., аспирант Гервасьев М.А., проф., д-р техн. наук Худорожкова Ю.В., доц., канд. техн. наук ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТПУСКЕ ЗАКАЛЕННЫХ НА МАРТЕНСИТ ВАЛКОВЫХ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА	87
Кырчиков А.В., аспирант Логинова И.В., доц., канд. техн. наук КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТОГО БОКСИТОВОГО СЫРЬЯ	89
Мальцева Ю.О., студентка Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МЕДНОГО СЛИТКА ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ	91
Первухин Е.В., студент Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА СТАРЕНИЯ ПРЕССОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ ШИФРА НП4161 ИЗ СПЛАВА АД33	96
Попов Е.В., студент Хамматов И.М., аспирант Дружинин Г.М., проф., д-р техн. наук АСУ ПЕЧИ С РЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ГОРЕЛОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ	98
Мальчуков А.О., студент Ярошенко Ю.Г., проф., д-р техн. наук БИОГАЗ – ПРОДУКТ УТИЛИЗАЦИИ БИООТХОДОВ	103
Терентьев П.А., студент Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМОАДЪЮСТАЖНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛИТ ИЗ СПЛАВА МАРКИ В96Ц-3ПЧ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»	106

Степанов С.И., аспирант Гадеев Д.В., студент Илларионов А.Г., доц., канд. техн. наук Демаков С.Л., доц., канд. техн. наук ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОТЕКАНИЕ ФАЗОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЗАКАЛЕННОМ ( $\alpha+\beta$ ) ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ16	108
Шарапова В.А., аспирантка Левина А.В., студентка Храмцова К.Д., студентка Озерец Н.Н., преподаватель-стажер, канд. техн. наук Мальцева Л.А., проф., д-р техн. наук ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЗУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА Fe-Cr-Ni ОСНОВЕ НА РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СОСТОЯНИЯ	113
Иванова М.А., студентка Файзулина Ю.З., студентка Водолазский Ф.В., аспирант Медведева И.В., аспирант Демаков С.Л., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОСАДКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА 10-2-3	118
Чайкин Л.И., аспирант Логинова И.В., доц., канд. техн. наук Письмак В.Н., ст. преподаватель ИЗУЧЕНИЕ КОАГУЛИРУЮЩИХ-ФЛОКУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЗВРАТНОЙ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ОТДЕЛЕНИЯ СПЕКАНИЯ	125
Старцева М.В., студентка Эйсмондт К.Ю. Липунов Ю.И., старший науч. сотрудник, канд. техн. наук, ОАО «ВНИИМТ» Ярошенко Ю.Г., проф., д-р техн. наук ОХЛАЖДЕНИЕ В БАКЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ЗАКАЛКИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ	128
Барашев А.Р., аспирант Карелов С.В., проф., д-р техн. наук Козлов П.А., проф., д-р техн. наук Мезенин К.А. студент ФЛОТАЦИОННО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА КЕКОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА	133
Сергеев В.А., ассистент Рогожников Д.А., студент Антонович Ю.Ф., студентка Карелов С.В., проф. д-р техн. наук. ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЦИНКОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СВИНЦА	135

Суднев А.Г., аспирант Панов Д.С., соискатель Скорородов И.И., доц., канд. техн. наук ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОБАЛЬТА С ПОМОЩЬЮ СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ	138
Шестаков А.И., студент Егорова В.Ю., студентка Березовская В.В., проф., д-р техн. наук Митропольская С.Ю., доц., канд. техн. наук СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА Cr-Mn-Ni-N-СТАЛЕЙ	141
Нечвоглад О.В., аспирантка Селиванов Е.Н., проф., д-р техн. наук, Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург Мамяченков С.В., ведущий науч. сотр., канд. техн. наук. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ НИКЕЛЯ И МЕДИ	145
Медведева И.В., аспирант Гадеев Д.В., студент Илларионов А.Г., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА НА ПРОТЕКАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ( $\alpha+\beta$ )-ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПЕРЕХОДНОГО КЛАССА	148
Детков А.В., Миртов И.С., Кирьянов К.С., Кетов Е.М., Камаев А.В., Ермохин П.Г., студенты Первушин Н.Г., доц., канд. техн. наук ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ИЛЬМЕНИТОВОГО СЫРЬЯ	154
Григорьева Т.С., студентка Крашанинин В.А., доц., канд. физ.- мат. наук ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО МЕЖИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ	157
Давыдов Д.И., студент Акшенцев Ю.Н., канд. техн. наук Жуков А.А., доц., канд. техн. наук ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ НИКЕЛЬ-МАРГАНЕЦ-ГАЛЛИЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА	159
Кириченко М.А., студентка Замятин В.М., проф., д-р техн. наук Жукова Л.А., проф., д-р хим. наук ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АБМ-102у СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg	161
Кудринских А.С., студентка Жукова Л.А., проф., д-р хим. наук ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СООТНОШЕНИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ ФАЗ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СОЛЕВЫХ СИСТЕМАХ	164

Кузьмина Н.В., студентка  
Невидимов В.Н., доц, канд. техн. наук  
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МОДЕЛИ К РАСЧЕТУ ВЯЗКОСТИ  
СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  165

---

Новосёлова Н.А., студентка  
Спиридонов М.А., проф., д-р. хим. наук  
РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ФУЛЛЕРЕНАМИ 167

---

Резник П.Л., студент  
Ватолин А.Н., проф., д-р хим. наук  
КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИКЕЛЯ  
ИЗ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ 169

---

### **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

Лакеева Н.В., аспирант  
Шевченко О.И., д-р техн. наук  
Трекин Г.Е., доц., канд. техн. наук  
Гаврилова Т.М., доц., канд. техн. наук  
СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ  
ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ 172

---

Вохмянин П.В., студент  
Филимонов И. Е., канд. техн. наук  
МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗОТКАЗНОСТИ  
ДЛЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ 177

---

Кузнецов А.С., аспирант  
Носков А.С., проф., д-р техн. наук  
Кузнецов М.С., доц., канд. техн. наук  
РАБОТА ФИБРОВОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОННОЙ МАТРИЦЕ 179

---

Михайлова А.И., ассистент  
Дубинина В.Г., доц., канд. техн. наук  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ 183

---

Поломошнов П.Ю., аспирант  
Созинова М. В., аспирант  
Крашенинников Д. А., аспирант  
Файншмидт Е. М., проф., д-р техн. наук  
Астафьев Г. И., доц.  
ОПТИМАЛЬНЫЙ ИЗНОСОСТОЙКИЙ ИНСТРУМЕНТ  
ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА 186

---

Пономарев А.Л., студент  
Исаев И.Н., доц., канд. техн. наук  
РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ КООРДИНАТ  
В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 189

---

Созинова М. В., аспирант Поломошнов П.Ю., аспирант Файншмидт Е. М., проф., д-р техн. наук <b>ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БОРИРОВАНИЯ</b>	192
--	-----

### **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ФАКУЛЬТЕТА СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Пономаренко А.А., аспирант Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук Гашкова В.И., доц., канд. техн. наук <b>СПОСОБ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ФТОРАНГИДРИТОВЫХ ОТХОДОВ</b>	198
--	-----

Гаврилюк М.Н., аспирант Терёхина О.Ю., студентка Семериков И.С., проф., д-р техн. наук <b>ГОРНБЛЕНДИТ КАК АКТИВНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА</b>	203
---	-----

Гусак Д.Н., Капустин А.Ф., студенты Пьячев В.А., проф., канд. техн. наук Рогозин Д.В., главный технолог, ЗАО «Невьянский цементник», г. Невьянск <b>СОСТАВ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ ПО ГОСТ 31108-2003</b>	206
--	-----

Турлова О.В., аспирант Михайлова Н.А., доц., канд. техн. наук Кашеев И.Д., проф., д-р техн. наук <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В СОСТАВЕ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЙОЛИКИ</b>	209
---	-----

Рыжкова И.В., студент Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук <b>ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ БЕЗОБЖИГОВОГО ЗОЛЬНОГО ГРАВИЯ ДЛЯ БЕТОНОВ</b>	210
---	-----

Черемных М.М., студент Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук <b>ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ</b>	212
---	-----

### **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Ханина А.Б., аспирант Алёхин В.Н., проф. <b>РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ РИСКА ИХ ЛАВИНООБРАЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ</b>	215
---	-----

### **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДРУГИХ УНИВЕРСИТЕТОВ**

Левашкина А.О., аспирант Поршнева С.В., проф., д-р техн. наук <b>ПОИСК ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ВОСХОДЯЩЕГО ВНИМАНИЯ</b>	220
---	-----

Алексенко Е.В., аспирант ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ	224
Баженова Е.В., аспирант Третьякова Е.В., доц., канд. экон. наук ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ЗА УСЛУГИ СОТОВОЙ СВЯЗИ	227
Вольфсон А.В. ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНДЕКСА ХЕРФИНДАЛЯ-ХИРШМАНА	231
Голубев В.А., Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов САМОДОСТАТОЧНОСТЬ ЭКОНОМИКИ РОССИИ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ МИРОВОГО ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА	237
Грищенко М.А., аспирант Петербургский государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ТЕПЛОВЫХ РАСЧЕТ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ	240
Дубровский А.С., заместитель председателя профкома студентов УГТУ-УПИ РОЛЬ СТУДЕНЧЕСТВА В ИНТЕГРАЦИИ ВУЗА В БОЛОНСКИЙ ПРОЦЕСС	242
Сафина Л.Р., специалист по интегрированной системе менеджмента республики Башкортостан, ООО «Башкирская медь», г. Сибай ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)	245
Курбанова Э.Д., аспирант Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург ТЕРМОРАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ИЗОМЕРИЗАЦИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОКЛАСТЕРОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ (NI, PD) ПО ДАННЫМ МД-ЭКСПЕРИМЕНТА	248
Сунцов А.Ю., инженер ИХТТ УрО РАН Кожевников В.Л., д-р хим. наук, член-корр. РАН, директор Института химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОПЛОТНЫХ МЕМБРАН СО СМЕШАННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ	252
Михайловская З.А., студент Морозова М.В., аспирант Буянова Е.С., доц., канд. хим. наук ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», г. Екатеринбург СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $BiCrVO_4$	255

Михеев В.А., аспирант Сковородников Е.И., проф., д-р техн. наук ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗА	259
Просвиряков Е.Ю. Стружанов В.В., проф., д-р физ.- мат. наук ОБ ИССЛЕДОВАНИИ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И УСТОЙЧИВОСТИ СМЕШАННОГО НАГРУЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО РАСТЯЖЕНИЕ С КРУЧЕНИЕМ	262
Тестова Г.А., магистрант Федорова Т.М., проф., канд. экон. наук Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), г. Новосибирск ИПОТЕЧНОЕ ЖИЛИЩНОЕ КРЕДИТОВАНИЕ В ПЕРИОД КРИЗИСА	268
Шейна Е.Г., аспирант Казак А.Ю., проф., д-р экон. наук, академик МАН ВШ ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ УПРАВЛЕНИИ КРЕДИТНЫМ РИСКОМ	272
Водопьянов И.О., аспирант Трофимов С.П., доц., канд. физ.- мат. наук МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ УЗОРОВ НА ПЛОСКОСТИ	276
Виноградова Е.И. Барабанов А.А., канд. арх. наук ГОУ ВПО «Уральская государственная архитектурно-художественная академия», г. Екатеринбург ТИПОЛОГИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ: ПСИХОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД	281
Булыгин Ю.А., аспирант СООТНОШЕНИЕ КОНСЕРВАТИВНОГО СОЗНАНИЯ И НОВОГО ДЕЛОВОГО МЫШЛЕНИЯ У ДОНСКОГО ТОРГОВОГО КАЗАЧЕСТВА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВВ. КАК ОТРАЖЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ СОВРЕМЕННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭКОНОМИКИ	286
Зырянов А. И., аспирант Мазуренко В. Г., проф., д-р физ.- мат. наук Конев С. Ф., доц., канд. физ.- мат. наук ДРАЙВЕР ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЦИФРОВЫХ ТРЕХОСЕВЫХ ГРАВИМЕТРОВ И ПРОЧИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФЛЭШ-ПАМЯТЬ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ	290
Мамаева А.Д., магистрант УралГАХА (Уральская государственная архитектурно-художественная академия), г. Екатеринбург УРАЛЬСКАЯ ШКОЛА ДИЗАЙНА: ТЕОРИЯ vs ПРАКТИКА	293

Бобринский С.В., аспирант Петербургский государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗНИЦЫ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР НА ТЯГОВЫЕ СВОЙСТВА ЛОКОМОТИВА	297
Матказина А.А., ассистент кафедры ПХТ Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», г. Балаково КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГАЗООЧИСТКИ В ПРОТИВОТОЧНЫХ ЦИКЛОНАХ	300
Иманкулов Р.А., аспирант Суханов В.И., доц., д-р техн. наук МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА СВЯЗИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В СИСТЕМАХ IP-ТЕЛЕФОНИИ	304
Сосновский А.В. Коберниченко В.Г. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ	310
Середа В.В., студент Цветков Д.С., аспирант ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», г. Екатеринбург СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДОВ $GdBaCo_{2-x}Fe_xO_{5.5-\Delta}$	314
Кучерова К.А., студент УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ ВЕРТИКАЛЬНО- ИНТЕГРИРОВАННОГО ХОЛДИНГА. ЛОКАЛЬНАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА	316
Шарифуллин Э.Р., магистрант Брызгалов И.В. проф., канд. пед. наук ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА ТРЕНЕРА-ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА	318
Коптелов Р.П., студент ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА: ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРОВЕРКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ	320
Русских О.В., аспирант Цветков Д.С., аспирант Кормильцев И.И., студент Вылков А.И., доц., канд. хим. наук Остроушко А.А., проф., д-р хим. наук Колосов В.Ю., проф., канд. физ.– хим. наук ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», г. Екатеринбург НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ НАНЕСЕННЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ СЛОЖНООКСИДНЫХ СИСТЕМ	325

Порывкин Е.А., ст. преподаватель, аспирант  
Берг Д.Б., проф., д-р физ.- мат. наук  
Ульянова Е.А., аспирант  
**РАСЧЕТНО-ПЛАТЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СРЕДСТВ РАСЧЕТА** 330

---

Овсянникова С.И., аспирантка  
Жариков Е.П., проф., д-р экон. наук  
Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток  
**ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ  
НА БАЗЕ ПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ** 335

---

### **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Вотинова Е.Б., аспирант  
Шалимов М.П., проф., д-р техн. наук  
**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ РДС** 339

---

Бакин А.В., студент  
Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук  
**КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ  
РАЗРУШАЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ МУФТЫ ПРЕДЕЛЬНОГО МОМЕНТА** 341

---

Вдовин Д.О.  
Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  
Киселев А.Е., инженер  
**ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ** 345

---

Возмищев А.Н., аспирант  
Возмищев Н.Е., доц., канд. техн. наук  
**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ САПР КОВКИ  
И ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ** 349

---

Возмищев А.Н., аспирант  
Возмищев Н.Е., доц., канд. техн. наук  
**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО  
НАПОЛНЕНИЯ САПР КОВКИ И ШТАМПОВКИ** 351

---

Гайсин Н.В., аспирант  
Кугаевский С.С., доц., канд. техн. наук  
**РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МНОГООСЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ** 353

---

Дубасов Д.В., аспирант  
Сидоренко Р.А., проф., д-р техн. наук  
**НАПРЯЖЕНИЯ В ЯЧЕЙСТОЙ СТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВОГО ИНВАРА** 356

---

<p>Зиомковский В.М.  Баранов Г.Л., проф., д-р техн. наук  Песин Ю.В., доц., канд. техн. наук  РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  ПО РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ТРАНСМИССИОННЫХ ВАЛОВ</p>	359
<p>Казимиров А.А., студент  Кугаевский С.С., доц., канд. техн. наук  КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ОТЖАТИЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ  В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ</p>	365
<p>Песина Н.Ю., ассистент  Бакин А.В., студент  Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук  НАДЕЖНОСТЬ ЗУБЧАТОЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ  С РАЗРУШАЮЩИМИСЯ ЭЛЕМЕНТАМИ</p>	368
<p>Попов Ю.А., аспирант  Раскатов Е.Ю., доц., канд. техн. наук  Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук  ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ  ПОДАЮЩЕГО АППАРАТА ПИЛЬГЕРСТАНА</p>	371
<p>Пугин А.И., аспирант  Карамышев А.П., доц., канд. техн. наук  Паршин В.С., проф., д-р техн. наук  ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ЗАГОТОВКИ БОЙКАМИ  РАДИАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЫ</p>	374
<p>Сазанов А.В.  Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ  ШТАМПОВОЧНОГО ПРЕССА УСИЛИЕМ 750МН ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ  ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ Ti СПЛАВОВ</p>	377
<p>Семичев Ю.С.  Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  Багазеев Ю.М., доц., канд. техн. наук  МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  ПРОГЛАДОЧНОГО СТАНА 2000</p>	379
<p>Тимофеев М.А.  Антонов В.Е., инженер  Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО  ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</p>	382

Федулов А.А., аспирант Паршин В.С., проф., д-р техн. наук Некрасов И.И., доц., канд. техн. наук ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ И ПОЛОС С ОРЕБРЕНИЕМ	384
Савинов Д.В., студент Черненко А.Г., доц., канд. техн. наук КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СТАЛИ ПО РЕЗИНЕ	385
Чернышов А.С., студент Куреннов Д.В., доц., канд. техн. наук АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОРЦИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ	388
Чирков М.Б., аспирант Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук Михайленко А.М., доц., канд. техн. наук ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОКАТКЕ	390
Чирков М.Б., аспирант Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук Михайленко А.М., доц., канд. техн. наук КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ КОЛЬЦЕПРОКАТНОГО СТАНА	395

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА**

Лакеева Н.В., аспирант  
Шевченко О.И., д-р техн. наук  
Трекин Г.Е., доц., канд. техн. наук  
Гаврилова Т.М., доц., канд. техн. наук

## СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

В условиях увеличения спроса на механическое оборудование с высокой точностью и надежностью возрастает необходимость разработки новых покрытий деталей машин с высокими характеристиками рабочего слоя. В этом плане применение плазменно-порошковой наплавки является перспективным и актуальным. Работоспособность композиции «наплавленный металл - подложка» во многом зависит от свойств зоны термического влияния (ЗТВ), в которой под воздействием термического цикла наплавки происходят фазовые и структурные изменения. Эффективное управление этими процессами возможно с помощью источников мощного ультразвука.

Объектом исследования являлась композиция сталь 20 - Н73Х16СЗРЗ, полученная плазменно-порошковой наплавкой. При нанесении покрытия варьируемыми параметрами являлись ток наплавки ( $I = 180...240 \text{ А}$ ) и температура подогрева основного металла  $20...200^\circ\text{С}$ . Размер пластин соответствовал значению длины звуковой волны ( $\lambda$ ) в низкоуглеродистой стали. В экспериментах использовалась резонансная схема нагружения, при которой в пластине формировалась стоячая ультразвуковая волна с частотой 18 кГц с варьированием амплитуды ультразвуковых колебаний (УЗК)  $\xi = 4.8; 9; \text{ и } 18 \text{ мкм}$ . Для сравнения были наплавлены образцы без УЗК. Исследованию подвергались темплеты, вырезанные из областей пластины, соответствующих узлу и пучности колебаний стоячей ультразвуковой волны.

Металлографические исследования проводились на микроскопе «Neophot 2» после травления 6% раствором пикриновой кислоты. Распределение микротвёрдости по глубине ЗТВ исследовано на микротвёрдомере ПМТ-3.

Макроанализ образцов позволил выявить, что размеры ЗТВ на образцах, наплавленных с УЗК, больше, чем при наплавке без колебаний и достигают 7.5 мм на режимах с максимальным тепловложением ( $I = 240 \text{ А}$ ,  $T = 200^\circ\text{С}$ ). Размер ЗТВ наибольший при наплавке с малыми амплитудами УЗК. При увеличении амплитуды колебаний до 18 мкм глубина снижается до уровня неозвученного образца (6,1 мм).

Металлографически в ЗТВ выявлены типичные для низкоуглеродистой стали зоны: линия сплавления; участок неполного расплавления; участок перегрева (крупного зерна) (рис. 1); участок нормализации (полной перекристаллизации); участок неполной перекристаллизации.

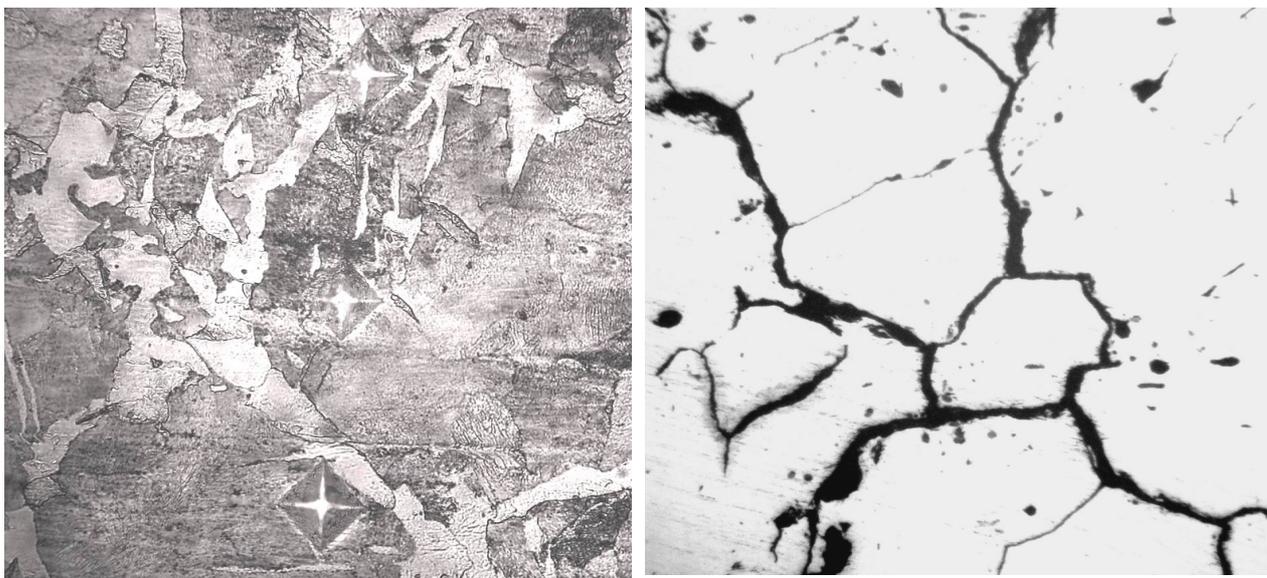


Рис. 1. Участок перегрева зоны термического влияния:

- а - режим:  $I = 240$  А;  $T = 200^{\circ}\text{C}$   $\xi = 9$  мкм.,  $\times 550$ ;  
 б - режим  $I = 260$  А;  $T = 350^{\circ}\text{C}$   $\xi = 4,8$  мкм, трещины по границам зерен, объединяющиеся в магистральную трещину (нетравленный шлиф),  $\times 150$

Исследования поперечных и продольных шлифов показали изменение характера линии сплавления (ЛС) и прилегающего к ней участка неполного расплавления, проявляющегося в возникновении волнистого профиля. На всех исследованных режимах в области пучности стоячей ультразвуковой волны волнистость минимальна или отсутствует, как и в случае наплавки без УЗК. Наибольшая волнистость наблюдается в области узла колебаний, при этом количество волн и глубина их проникновения в основной металл тем больше, чем выше амплитуда УЗК. Изменение амплитуды УЗК от 4.8 до 18 мкм приводит к увеличению длины границы сплавления на 17%. Повышение тепловой мощности дуги (тока наплавки) и температуры предварительного подогрева при постоянной амплитуде УЗК так же увеличивает волнистость линии сплавления.

Существенные изменения претерпевает участок перегрева, в котором металл нагревается под действием термического цикла наплавки вплоть до температуры солидуса. Из-за интенсивного роста зерна участок обладает пониженными пластическими свойствами. Максимальный размер имеют зерна в ЗТВ образца, наплавленного при наибольшем тепловложении. Средний диаметр зерен, примыкающих к линии сплавления 80 мкм. На расстоянии 100...160 мкм от ЛС их размер увеличивается и составляет 160...200 мкм в диаметре. Встречаются отдельные зерна размером 240 мкм и более. Границы окаймлены ферритной сеткой толщиной около 5 мкм.

Введение ультразвуковых колебаний при наплавке усиливает выделение феррита по границам первичного аустенитного зерна (см. рис.1, а). Толщина сетки увеличивается до 8..12 мкм, границы становятся более извилистыми, часто «прорастают» в зерно в виде игл. В ряде случаев отмечено формирование видманштеттовой структуры. Эти структурные

изменения наиболее характерны для покрытий, нанесенных в зонах прилежащих к узлу стоячей ультразвуковой волны ( $\pm\lambda/8$ ), и менее выражены в зонах пучности для всего диапазона исследованных режимов.

При наплавке с УЗК в зоне термического влияния отмечено измельчение зерна и развитие сети субзеренных границ. Наибольшее диспергирование структуры, в отличие от предыдущего случая, наблюдается в зоне пучности ( $\pm\lambda/8$ ) стоячей волны. Так, в образцах, наплавленных при наибольшем тепловложении, средний размер зерна на участке перегрева уменьшается и составляет 120...170 мкм в области узла и 100...130 мкм в области пучности УЗК при  $\xi = 4.8$  мкм. Увеличение амплитуды до 9 мкм приводит к измельчению первичного аустенитного зерна на 7...10%. При амплитуде 18 мкм феррит не образует сетки по границам зерен. Избыточный феррит выделяется в виде частиц диаметром около 80 мкм с извилистыми границами.

По мере продвижения от линии сплавления к зоне нормализации уменьшается доля перлита, увеличивается межпластинчатое расстояние. Для всех изученных режимов участок нормализации имеет дисперсную структуру. Заметного влияния ультразвука на измельчение структурных составляющих металлографически не выявлено, однако протяженность зон нормализации и неполной перекристаллизации больше. Следовательно, увеличение размеров ЗТВ, обнаруженное при макроанализе озвученных образцов, происходит за счет роста протяженности этих двух зон.

В целом применение ультразвука при наплавке привело к измельчению структуры ЗТВ, это уменьшило разброс значений микротвёрдости (рис. 2) по сравнению с неозвученными образцами. При этом среднее значение микротвёрдости также снижается. Например, при  $I = 240$  А;  $T = 200^\circ\text{C}$  от 2170 МПа до 1770 и 1360 МПа в пучности и узле УЗК ( $\xi = 18$  мкм) соответственно. Большой уровень твердости всегда характерен для зоны пучности стоячей ультразвуковой волны и при увеличении амплитуды колебаний от 4.8 до 18 мкм разница возрастает от 150 до 400 МПа.

Исследование нетравленных шлифов позволило выявить трещины в зоне термического влияния. Они локализованы только на участке перегрева и образуются в зоне узла колебаний стоячей ультразвуковой волны, как правило, только при амплитуде УЗК  $\xi = 4.8$  мкм. На режимах наплавки без УЗК и областях пучности стоячей волны трещины отсутствуют. Количество трещин и степень их раскрытия пропорциональны тепловой мощности, вводимой в основной металл. Отдельные тонкие трещины выявлены в ЗТВ при режиме  $I = 240$  А,  $T = 200^\circ\text{C}$ ,  $\xi = 9$  мкм. При максимальном из исследованных тепловых воздействиях ( $I = 260$  А,  $T = 350^\circ\text{C}$ ,  $\xi = 4.8$  мкм) разрушение по границам зерен носит критический характер (см. рис. 1, б): образуется магистральная трещина, приводящая к отрыву рабочего слоя.

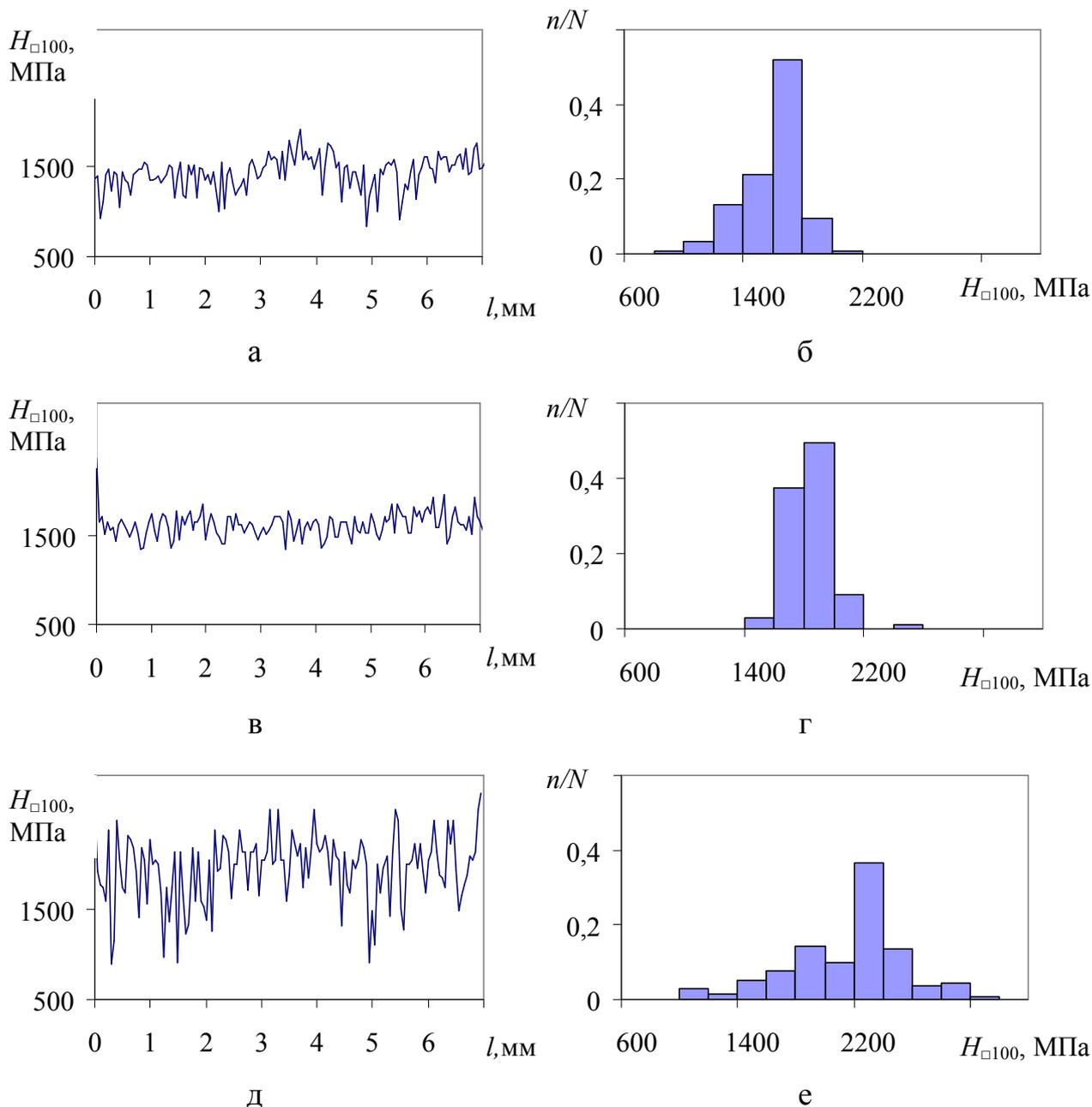


Рис. 2. Изменение микротвёрдости  $H_{\square 100}$  по глубине  $l$  зоны термического влияния и гистограммы распределения:

а, б- режим  $I = 240$  А,  $T = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $\xi = 18$  мкм; в, г- режим  $I = 180$  А,  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\xi = 18$  мкм;  
 д, е- режим  $I = 240$  А,  $T = 200^{\circ}\text{C}$ , без УЗК

Таким образом, изучено совместное влияние ультразвука и термического цикла наплавки на строение и свойства зоны термического влияния. Наибольшее воздействие УЗК отмечено на участок перегрева ЗТВ. Средний размер зерна на участке перегрева уменьшается от 160...200 мкм (без УЗК) до 120...170 мкм в области узла и 100...130 мкм в области пучности УЗК при  $\xi = 4.8$  мкм. Увеличение амплитуды колебаний до 18 мкм вызывает дальнейшее измельчение зерна вплоть до 80...100 мкм. Установлено, что ультразвуковые колебания приводят к повышению объемной доли феррита, выделяющегося по границам зерен. Толщина сетки увеличивается до 8...12 мкм, это более характерно для покрытий, нанесенных в зонах

прилежащих к узлу стоячей ультразвуковой волны ( $\pm\lambda/8$ ), и менее выражено в областях пучности. В ряде режимов в области узла отмечено формирование видманштеттовой структуры. Показано, что в зоне высоких температур, в области узла УЗК грубая структура с недостаточным измельчением структурных составляющих не способна выдержать напряжения, создаваемые ультразвуком даже небольшой интенсивности ( $\xi = 4.8$  мкм), образуются трещины по границам зерен. В области пучности, где напряжения, создаваемые ультразвуком, минимальны, а также при применении УЗК с амплитудами 9 и 18 мкм, приводящих к существенному измельчению структурных составляющих, трещин не образуется.

Вохмянин П.В., студент  
Филимонов И. Е., канд. техн. наук

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗОТКАЗНОСТИ ДЛЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Научно-производственная корпорация ОАО «НПК «Уралвагонзавод» выпускает дорожно-строительную, сельскохозяйственную и военную технику. Производитель стремится обеспечить своей продукции высокий уровень качества. ОАО «НПК «Уралвагонзавод» учитывает и активно внедряет международный опыт в области повышения надежности продукции машиностроительных предприятий.

Цель исследования – на основе анализа причин возникновения отказов и их временных характеристик разработать методику оценки вклада каждого структурного подразделения в обеспечение надежности.

Объект исследования – экскаваторы одноковшовые универсальные полноповоротные на пневмоколесном ходу модели ЭО-33211А.

Для проведения исследования была отобрана выборка объемом 40 рекламационных актов на первые отказы и объемом 20 рекламационных актов на повторные отказы. Рекламационные акты от эксплуатирующих организаций принимаются в течение всего гарантийного срока. Гарантийный срок работы экскаватора модели ЭО-33211А составляет 1500 моточасов или 1 год с момента ввода в эксплуатацию.

Предметом исследования являются причины возникновения отказов, временные характеристики безотказности: наработка до первого отказа, наработка между отказами в период срока гарантийных обязательств.

Для решения поставленной задачи необходимо провести анализ причин возникновения отказов. ГОСТ 27.002-89 предлагает следующий способ классификации отказов, который можно применить для анализа надежности в условиях ОАО «НПК «Уралвагонзавод»:

- ✓ по причине возникновения: конструктивный, производственный, эксплуатационный;
- ✓ по времени возникновения: ранний, деградационный.

Классификация отказов по причинам возникновения введена с целью установления, на какой стадии создания или существования объекта следует провести мероприятия для устранения причин отказов.

Для оценки качества выпускаемой продукции нецелесообразно учитывать отказы, возникшие по вине эксплуатации.

Нарушение технологии изготовления или сборки приводит к возникновению ранних отказов. Ранние отказы обусловлены недостаточно эффективной работой отдела технического контроля при проведении приемосдаточных испытаний.

Интенсивность отказов экскаватора ЭО-33211А изображена на рис. 1. Из представленного графика можно сделать вывод, что ранние отказы происходят менее чем через 180 моточасов после момента ввода в

эксплуатацию. После указанного временного интервала кривая интенсивности отказа носит затухающий характер.

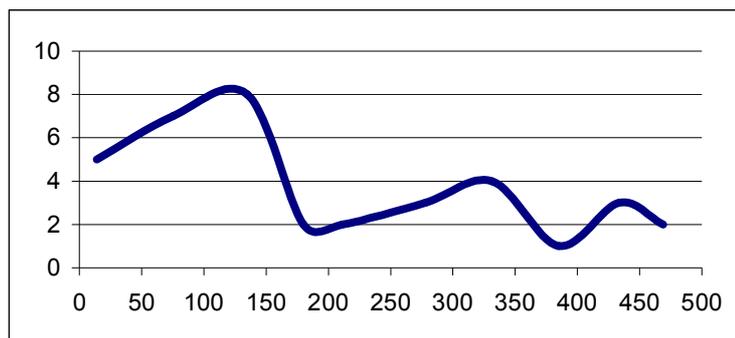


Рис. 1. Интенсивность отказов экскаваторов ЭО-33211А

Согласно действующей методике, применяемой для анализа надежности, средняя наработка до первого отказа составляет 230 моточасов. Полученное значение не несет информационно-смысловой нагрузки, т.к. совместно учитываются ранние отказы и отказы, обусловленные закладываемым уровнем надежности.

Наработка между первым и повторным отказом является характеристикой, отображающей заложенные показатели надежности на стадии конструирования, и показывает эффективность мероприятий, проводимых конструкторским бюро дорожно-строительной техники в области повышения надежности.

Отказы, обусловленные деградиационными процессами, не проявляют себя в течение срока гарантийных обязательств. Поэтому влияние физического износа техники на показатели безотказности несоразмерно мало, и им можно пренебречь.

Оценить среднюю наработку до повторного отказа достаточно проблематично, т.к. ОАО «НПК «Уралвагонзавод» отслеживает безотказность работы выпускаемой продукции только до 1500 моточасов. Поэтому можно анализировать значения наработки до повторного отказа, попавшего в интервал времени  $[t_{\text{ран}} + t_{\text{повт.}} - \sigma; 1500]$ , где  $(t_{\text{ран}} + t_{\text{повт.}})$  - наработка до повторного отказа,  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение наработки до повторного отказа.

Эффект от внедрения данной методики заключается в более точной оценке вклада структурных подразделений корпорации в обеспечение качества выпускаемой продукции и позволяет осуществлять управление качеством в соответствии с концепцией Total Quality Management.

Апробация методики анализа временных характеристик безотказности работы экскаваторов проведена в научно-производственной корпорации ОАО «НПК «Уралвагонзавод». Целесообразно распространить данную методику анализа на всю технику, выпускаемую предприятием.

Кузнецов А.С., аспирант  
 Носков А.С., проф., д-р техн. наук  
 Кузнецов М.С., доц., канд. техн. наук

## РАБОТА ФИБРОВОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОННОЙ МАТРИЦЕ

Сцепление фибр с бетоном происходит за счет трения, адгезии и механического зацепления поверхностей контакта. Влияние каждого из этих процессов на прочность анкеровки фибр может быть различно в зависимости от типа фибр. Например, для гладких фибр большую роль будут играть адгезия и трение, а для профилированных – механическое зацепление выступов фибр за выступы бетона. Профилирование фибр позволяет увеличить воспринимаемую ими степень нагрузки в зависимости от параметров профиля.

Длина волокна влияет на величину среднего растягивающего напряжения  $\sigma_B^{cp}$ , возникающего в нем, от которого зависит прочность всего композиционного материала в целом.

Если длина волокна меньше критической длины, то по мере увеличения длины волокна растет как максимальное растягивающее напряжение (действует посередине волокна), так и среднее растягивающее напряжение в волокнах. Предполагая, что нормальные напряжения в волокнах растут от концов волокна к его середине по линейному закону, эпюра напряжений имеет вид, представленный на рис. 1, а. В этом случае максимальные напряжения не достигают их предела прочности и среднее нормальное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_B^{cp} = \frac{\tau \cdot l_f}{d_B}. \quad (1)$$

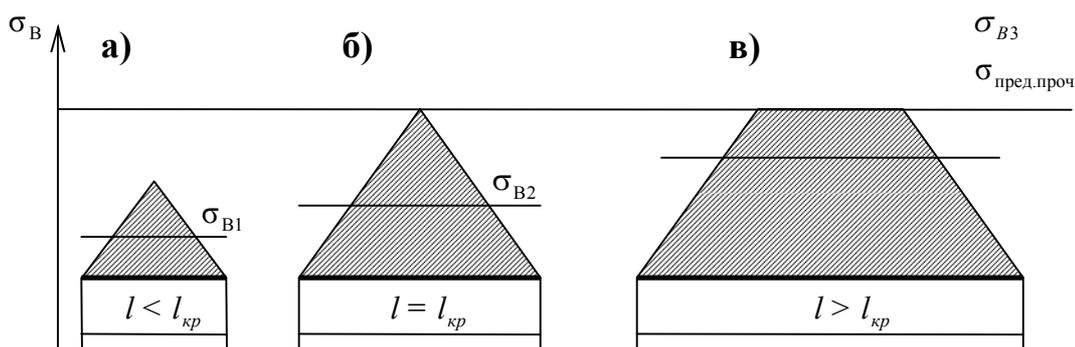


Рис. 1. Эпюры растягивающих напряжений в волокнах различной длины.

$\sigma_{B1}, \sigma_{B2}, \sigma_{B3}$  - средние напряжения в волокне длиной  $l$  при  $l < l_{кр}$ ,

$l = l_{кр}$  и  $l > l_{кр}$  соответственно

Разрушаются такие композиционные материалы за счет вытягивания волокон.

Когда длина волокна становится равной критической длине, максимальное нормальное напряжение в средней части волокна достигает значения, равного пределу прочности  $\sigma_{\text{пред.проч}}$  (рис. 1, б). При дальнейшем увеличении длины волокна уровень максимального напряжения в волокне остается неизменным, но увеличиваются участки волокон, на которых действует это напряжение. Следовательно, растут и средние напряжения  $\sigma_{\text{в}}^{\text{ср}}$  (рис. 1, в).

При разрушении композиционного материала волокна, которые оказались в зоне разрушения, по-разному располагаются по отношению к поверхности разрыва композиционного материала. У одних волокон поверхность разрыва проходит посередине их длины, у большинства других – между серединой и одним из концов. В последнем случае напряжение в волокне в момент разрыва будет зависеть от расстояния между поверхностью разрыва композиционного материала и ближайшим к нему концом волокна. Уравнение смеси для композиционных материалов с целенаправленной непрерывной арматурой имеет вид:

$$\sigma_{\text{к}} = \sigma_{\text{м}}(1 - V_a) + \sigma V_a, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{к}}, \sigma, \sigma_{\text{м}}$  - напряжения соответственно в композиционном материале, арматуре и матрице;  $V_a$  - объем арматуры в композиционном материале.

В работе предлагается приводить фибровое армирование к эквивалентному однонаправленному с помощью комплексного коэффициента  $\lambda$ , равного произведению трех коэффициентов, учитывающих: хаотичность расположения фибр  $\lambda$ , отклонение усилия от направления волокон  $\lambda$ , анкеровку фибр  $\lambda$ . Таким образом, уравнение смеси принимает вид:

$$\sigma_{\text{к}} = \sigma_{\text{м}}(1 - V_a) + \lambda \sigma_a V_a. \quad (3)$$

После возникновения трещин прочность композиционного материала зависит только от прочности волокон и сил сцепления волокон с матрицей и не может превышать  $\sigma_a V_a$ . Предел прочности композиционного материала в этом случае будет равен:

$$\sigma_{\text{к}} = \lambda \sigma_a V_a. \quad (4)$$

Теория композитов рассматривает композиционный материал как составной материал (матрица и волокно), работа отдельных компонентов которого носит упругий характер, а взаимодействие этих компонентов друг с другом происходит без проскальзывания. На основании этих предположений выводятся представленные выше аналитические зависимости. Однако, несмотря на кажущуюся логичность уравнений, описывающих свойства композиционных материалов, в целом теория композитов имеет и существенные недостатки.

Во-первых, хотя расчетная теория композиционного материала и учитывает различные коэффициенты, влияющие на точность результатов расчета, тем не менее, она не учитывает такой важнейший параметр, как технология приготовления, укладки и выдерживания сталефибробетона.

Опыт применения сталефибробетона показывает, что его свойства могут изменяться в широком диапазоне и зависят от принятой изготовителем технологии.

Во-вторых, вышеуказанная теория не учитывает геометрические характеристики волокна, от которых зависит количество волокон в единице объема бетона и величина боковой поверхности волокна, участвующая в контакте с матрицей.

В-третьих, она не рассматривает момент трещинообразования. Поэтому принцип работы волокна в стадии разрушения рассматривается неверно. На самом деле, если волокно пересекает трещину, то касательные напряжения вдоль волокна распределяются отлично от касательных напряжений в нерастресканном бетоне (рис. 2). При этом напряжение в волокне  $\sigma_B^{II}$  непосредственно в трещине примерно в 10 раз больше, чем в случае отсутствия трещины ( $\sigma_B^I$ ). Таким образом, теория композитов достаточно хорошо описывает поведение материала в упругой стадии работы. Однако, вследствие неправильного описания механизма разрушения, невозможно точно прогнозировать ни прочность, ни деформации при разрушении.

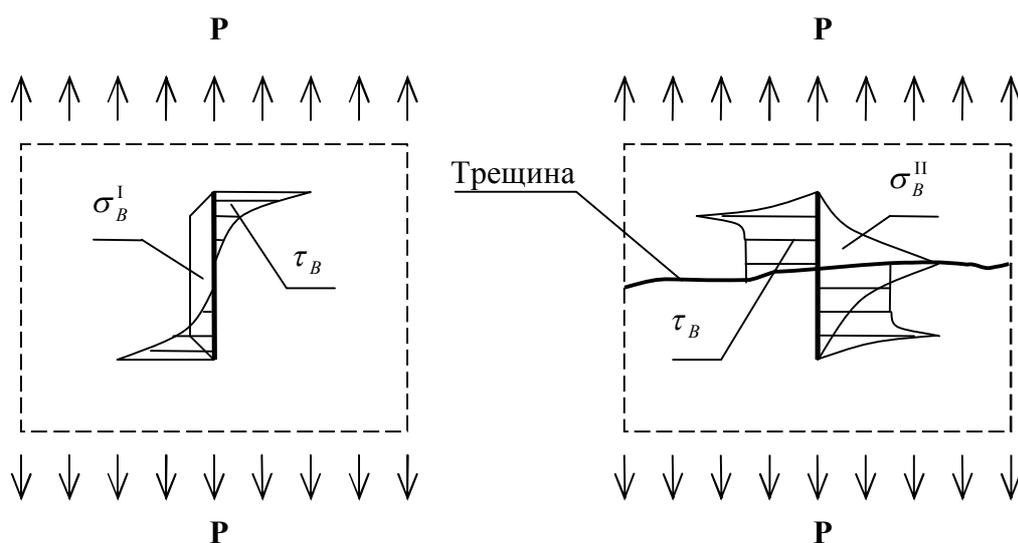


Рис. 2. Распределение нормальных и касательных напряжений по длине волокна в элементах с трещинами и без трещин

Наряду с изложенной выше концепцией расчета композиционного материала, существует так называемая «концепция интервалов», утверждающая, что прочность и трещиностойкость дисперсно-армированного бетона зависит от расчетного расстояния между центрами волокон фибровой арматуры. Эта концепция основывается на гипотезе о том, что геометрические характеристики армирующих элементов (их диаметр и степень рассредоточения) должны быть соизмеримы с «врожденными дефектами».

В качестве «врожденных дефектов» здесь рассматриваются не только поры в матрице, но и трещины, которые формируются в объеме бетона при

его твердении в результате возникновения внутренних напряжений, главным образом, в зоне контакта «цементный камень – заполнитель».

Эта проблема является объектом исследований многочисленных авторов. Этими авторами разработаны методики и предложены различные аналитические зависимости для вычисления расстояния между волокнами. По нашему мнению, для практических целей пригодна следующая расчетная формула:

$$S = 12,5d_f \sqrt{\frac{l_f}{\mu}}, \quad (5)$$

где  $S$  – расчетное расстояние между фибрами, мм;  $d_f, l_f$  - соответственно диаметр и длина волокна, мм;  $\mu$  - объемный процент армирования, %.

Предполагая, что разрушение сталефибробетона происходит за счет среза бетона между фибрами, предлагается формула расчета элемента на центральное растяжение с учетом ориентации фибр:

$$R_{bt}^f = 0,375R_{bt}l_f \sqrt{\mu} \frac{k_0}{d_f}, \quad (6)$$

где  $k_0$  – коэффициент ориентации фибр.

Расчет, основанный на концепции интервалов, описывает физические процессы развития и торможения трещин при разрушении бетона. Однако эта методика не учитывает работу фибр после образования трещин. Как показывают многочисленные испытания, несущая способность сталефибробетонного элемента не исчерпывается после образования в нем трещин. Сталефибробетонный элемент может воспринимать значительную дополнительную нагрузку после сплошного разрыва бетона. Поэтому концепцию интервалов следует считать критерием трещиностойкости, а не прочности сталефибробетона.

Михайлова А.И., ассистент  
Дубинина В.Г., доц., канд. техн. наук

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

В настоящее время в монолитном строительстве существует ряд проблем, требующих первоочередного решения:

1. Монолитные строительные конструкции и здания в целом проектируются на стадию, соответствующую условиям их эксплуатации. Расчетные схемы, прочностные и деформативные характеристики бетона, нагрузки принимаются соответствующими стадии эксплуатации, в то время как работа здания в процессе строительства в ряде случаев значительно сложнее, чем в стадии эксплуатации. В процессе строительства меняется расчетная схема, бетон воспринимает нагрузки в раннем возрасте, конструкции подвергаются воздействию температурно-усадочных усилий, при строительстве в разное время года усилия от климатического перепада температур больше, чем в эксплуатационной стадии, монтажные нагрузки в ряде случаев превосходят несущую способность элементов. Неучет всех этих факторов приводит к появлению доэксплуатационных трещин, а в ряде случаев – к авариям. Перечисленные вопросы связаны как с проектированием, так и с возведением зданий. Трещины возникают почти во всех конструкциях за счет совместной работы участков конструкций с разным возрастом бетона. Данная проблема многоплановая и для ее решения потребуется участие широкого круга специалистов.

В то же время при повышении высотности здания возникает проблема облегчения его конструкций, т.к. существующие конструкции нагружают перекрытие и соответственно растет расход металла и трудоемкость строительства. Речь идет о поиске новых типов стеновых конструкций, которые бы удовлетворяли всем требованиям по энергоэффективности, архитектуре.

2. Широкое распространение получили плоские безбалочные перекрытия. При этом, если традиционным (капитальным) безбалочным перекрытиям в свое время было посвящено достаточно много исследований, исследования плоских безбалочных перекрытий в нашей стране крайне ограничены. При проектировании этих перекрытий используется метод заменяющих рам, их конструируют и рассчитывают как перекрытия со скрытым каркасом, широко используются для их расчета упругая схема работы, реализуемая в разных программах расчета на ЭВМ. Несмотря на разнообразие подходов, опыт эксплуатации таких перекрытий не выявил их недостаточной несущей способности, жесткости или трещиностойкости. С одной стороны, это объясняется свойством некоторых железобетонных конструкций работать так, как они законструированы. С другой стороны, это объясняется определенной осторожностью проектировщиков. Последнее приводит к тому, что в ряде случаев используются недостаточно экономичные конструктивные решения.

По-видимому, основным при расчете плоских безбалочных перекрытий будет являться расчет с использованием ЭВМ. Не совсем ясно, в каких случаях, в какой мере и каким образом в этом случае следует учитывать проявление неупругих свойств железобетона, в какой мере следует допускать перераспределение моментов для получения наиболее экономичных и в то же время надежных решений.

Дальнейшее совершенствование конструкций плоских безбалочных перекрытий должно идти в двух направлениях.

Первое направление – учет имеющихся резервов, определяемых различием действительной работы конструкций от условий работы, определяемых принимаемой расчетной схемой.

Второе направление – совершенствование конструкций перекрытий: применение предварительного натяжения, снижение веса за счет использования легких бетонов, применение сборно-монолитных конструкций.

Практически при всех конструктивных решениях плоских безбалочных перекрытий проблемным является расчет узлов сопряжения перекрытий с колоннами. Использование метода расчета на продавливание, принятого в нормах проектирования, полученного по данным исследований фундаментов, для плоских безбалочных перекрытий не имеет достаточного обоснования. Дополнительные вопросы возникают не при использовании для колонн высокопрочного бетона, а для перекрытий бетона средней прочности.

Для решения возникающих проблем расчетного и конструктивного порядка требуется совершенствование и развитие методов расчета и конструирования таких зданий с тем, чтобы повысить их надежность и экономичность. Одновременно требуется создание специальной нормативной базы для подобных конструктивных систем.

3. Вопросом контроля качества бетона посвящено достаточно много документов. Формально они распространяются на изготовление сборных и монолитных конструкций. Однако по существу они совершенно не учитывают специфику строительства монолитных зданий. Если руководствоваться только действующими нормативными документами, соблюдение проектных требований по прочности бетона не гарантировано.

Следует также отметить, что для возведения монолитных конструктивных элементов требуется высококвалифицированный персонал, который, к сожалению, не всегда встречается на строительных площадках. Также необходим жесткий контроль за соблюдением всех технологических режимов. При этом необходимо понимать, что выполнение контроля на стройплощадке гораздо сложнее, чем в заводских условиях при производстве элементов полносборного домостроения.

4. Конструктивные и расчетные проблемы, обусловленные технологией возведения монолитных зданий, могут быть сформулированы следующим образом.

- Опасность образования технологических трещин в монолитных конструкциях от температурно-усадочных деформаций бетона в процессе его

твердения, зависящих от состава бетона, условий твердения и размеров участков бетонирования конструкций. Очевидно, требуется разработка методов расчета по образованию технологических трещин для различных монолитных элементов (стен, плит перекрытий, колонн) и мероприятий по снижению возможности образования и раскрытия технологических трещин, а также по учету влияния технологических трещин на последующее сопротивление монолитных конструкций требованиям по восстановлению монолитности конструкций.

- Образование и устройство строительных (рабочих) швов при бетонировании монолитных конструкций. Строительные швы могут устраиваться, согласно проекту или вынужденно, в результате перерыва в бетонировании. В любом случае для обеспечения надежности монолитных конструкций требуется разработка методов расчета прочности и податливости различно ориентированных контактных строительных швов, армированных и неармированных, при различном характере бетонной поверхности, на сдвиг и отрыв, а также расчет монолитных конструкций с учетом наличия в них строительных швов и разработка мероприятий по обеспечению прочности контактных швов.

- Определение допустимой прочности твердеющего бетона в момент освобождения монолитной конструкции от опалубки и передачи нагрузки от вышележащих элементов на конструкции, в которых бетон не достиг проектной прочности. Необходимо разработать расчетные правила по установлению допустимой промежуточной прочности бетона при снятии и перестановке опалубки по этажам для различных видов монолитных конструкций (перекрытий, стен, колонн) с точки зрения обеспечения трещиностойкости и прочности конструкций во время возведения монолитного здания, а также включить в план производства работ мероприятия по ускорению набора прочности бетоном.

Подводя итог, хочется остановиться на вопросах нормативной базы. В этой области многое предстоит сделать, чтобы разработать и нормативно закрепить требования к конструкциям и отдельным узлам. Учитывая сложность и длительность разработки общероссийских рекомендательных и нормативных документов, возможный путь обобщения имеющихся результатов – создание региональных документов. Сделать это нужно в ближайшее время, т.к. сегодня нормативная база не соответствует практическим требованиям, что часто создает серьезные трудности, при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий.

Все более развивающееся монолитное домостроение вызывает необходимость разработки методов расчета и конструирования как всей конструктивной системы здания в целом, так и основных несущих конструкций. Это необходимо для обеспечения необходимой надежности и повышения экономичности несущих конструкций и создания современной нормативной базы, охватывающей все аспекты проектирования монолитных многоэтажных зданий.

Поломошнов П.Ю., аспирант  
Созинова М. В., аспирант  
Крашенинников Д. А., аспирант  
Файншмидт Е. М., проф., д-р техн. наук  
Астафьев Г. И., доц.

## ОПТИМАЛЬНЫЙ ИЗНОСОСТОЙКИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА

Инструмент для горячего прессования титана, особенно матрицы, работает при больших удельных давлениях и высоких температурах (700–800°С). При прессовании титановых слитков вследствие трения горячего металла о рабочую поверхность матрицы выделяется значительное количество тепла, которое неоднородно распределяется по объему матрицы. Происходит сильный разогрев тонкого поверхностного слоя, на который также воздействуют продукты разложения смазки и окалина. Происходит налипание прессуемого металла на матрицу и схватывание контактирующих поверхностей. Образуется зона структурных изменений глубиной 600–800 мкм. При прессовании последующих изделий происходит взаимодействие узлов схватывания матрицы с прессуемым изделием, что сопровождается глубинным выравниванием металла прессуемого изделия. В таких условиях стойкость инструмента, особенно матриц, – низка. Стойкость матриц повышают за счет применения смазок, упрочнения инструмента, управления структурой и свойствами прессуемых материалов.

Большинство матриц изготавливается из сталей марок 3Х2В8Ф, 4Х5МФ1С, 5ХНМ. Рабочая поверхность матриц наплавляется стеллитом ВЗК, либо проволокой марки «Сабарос Г–703».

В условиях ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» матрицы изготавливаются из двух симметричных половин, так как наплавить рабочую часть матрицы целиком проблематично из-за возникновения трещин вследствие сварочных напряжений.

Для увеличения срока службы сборных (из 2 половин) матриц специалистами ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» совместно с НТИ (ф) УГТУ-УПИ и УГТУ-УПИ была проведена работа по опробованию и внедрению эффективного упрочняющего покрытия, наносимого на рабочую поверхность матриц методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Упрочняющие покрытия наносились на рабочую поверхность матриц с помощью установки, позволяющей вращать и перемещать электрод относительно обрабатываемой поверхности. Матрицы, упрочненные методом ЭИЛ, позволяли вести прессование с лучшим качеством поверхности получаемого изделия. Этому способствовало легирование инертным по отношению к титану материалом с получением специфического рельефа поверхности. Применение данного способа упрочнения позволило повысить стойкость серийной матрицы в 3–4 раза.

Недостатком, приводящим к образованию на прессованных прутках дефектов в виде «лампасов», явился износ сборных матриц по разъемам. Это послужило импульсом для новой работы по разработке и внедрению неразъемных матриц. Данная работа проводилась сотрудниками ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» совместно с НТИ (ф) УГТУ-УПИ. В ходе работы были опробованы разные корпуса матриц из сталей: 5ХНМ, 4Х5МФ1С, а также разные наплавочные проволоки: «Сабарос Г-113», диаметром 1,6 мм и «Сабарос Г-703», диаметром 1,6 мм. Также варьировались режимы термообработки матриц, в результате которых значения твердости колебались от 40 до 55 HRC, что создавало сложности при механической обработке корпусов и рабочих частей матриц. Благодаря разработанному в НТИ (ф) УГТУ-УПИ механизированному процессу наплавки стало возможным выполнение наплавки рабочей части цельных матриц без образования трещин. Оптимальным и экономически выгодным явился вариант цельной матрицы, корпус которой изготовлен из стали 5ХНМ с твердостью основы 42–45 HRC, а рабочая часть наплавлена проволокой марки «Сабарос Г-703» с последующим ЭИЛ. При этом стойкость матриц осталась на прежнем уровне, а трудоемкость их изготовления снизилась и улучшилось качество прессованных изделий.

Новым направлением в эксплуатации матриц стала отработка технологии ремонта и восстановления матриц с уменьшением затрат на наплавочную проволоку в два раза.

В таблице приведены данные о стойкости матриц по оптимальному варианту ремонта.

Максимальная стойкость матрицы

№ матрицы	Прессуемый материал	Съем металла, шт/кг
144	BT3-1	21/2980
	Ti-6Al-4V	10/1210
144	Ti-6Al-4V	10/1680
	BT6	21/3160
	Ti-6Al-4V	6/1007
	BT6	18/3090
	BT6	12/1742
	BT6	9/1300
	Ti-6Al-4V	6/1000
	BT6	20/2950
144	Ti-6Al-4V	6/1008
	Ti-6Al-4V	18/2175
	BT9	10/1500

Общий съем металла с матрицы № 144 составил: 167 прессовок/24802 кг. Средний съем металла с неупрочненной матрицы составлял 20 прессовок/2970 кг.

Отработка технологии ремонта матриц производилась в НТИ (ф) УГТУ-УПИ. После ремонта все матрицы упрочнялись методом ЭИЛ. Отремонтированные матрицы были опробованы на прессовании и эксплуатировались до износа рабочей поверхности.

По оптимальному варианту ремонта выявлено, что повышается съем металла с матриц, по сравнению с вновь изготовленными. Качество прессованных прутков удовлетворительное – не требует зачистки на шлифовальной машине. После эксплуатации матрицы можно отправлять на повторный ремонт.

Выводы:

1. НТИ (ф) УГТУ-УПИ совместно с ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» разработаны и внедрены в производство:

- оптимальная технология упрочнения матриц методом ЭИЛ;
- оптимальная технология изготовления и ремонта неразъемных матриц.

2. За счет внедрения данных технологий снижены затраты и цикл изготовления матриц для горячего прессования изделий из титановых сплавов, а их эксплуатационная стойкость выросла до 4 раз.

Пономарев А.Л., студент  
Исаев И.Н., доц., канд. техн. наук

## РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ КООРДИНАТ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При построении различных замкнутых систем электропривода надо располагать измеренным (истинным) значением скорости двигателя, ЭДС, динамического момента, потокосцепления статора и ротора, которые на входе системы регулирования сравниваются с заданным значением. В большинстве случаев измерение скорости осуществляется вращающимися датчиками скорости, расположенными на валу двигателя. В течение последних десятилетий наблюдается стремление избавиться от датчиков скорости в электроприводе переменного (а также и постоянного) тока. Это привело к разработке методов бездатчикового измерения скорости, при котором измеряемая величина определяется через легкодоступные измерению электрические переменные.

В наблюдателе (рис. 1, подсистема 2) по входным сигналам токов и напряжений  $i_{1\alpha}$  и  $i_{1\beta}$ ,  $U_{1\alpha}$  и  $U_{1\beta}$  рассчитываются значения векторов потокосцепления статора и ротора  $\Psi_{1\alpha}$  и  $\Psi_{1\beta}$ ,  $\Psi_{2\alpha}$  и  $\Psi_{2\beta}$  (подсистема 3) и их модули  $|\Psi_1|$ ,  $|\Psi_2|$  и  $|\Psi|$  (рис. 2).

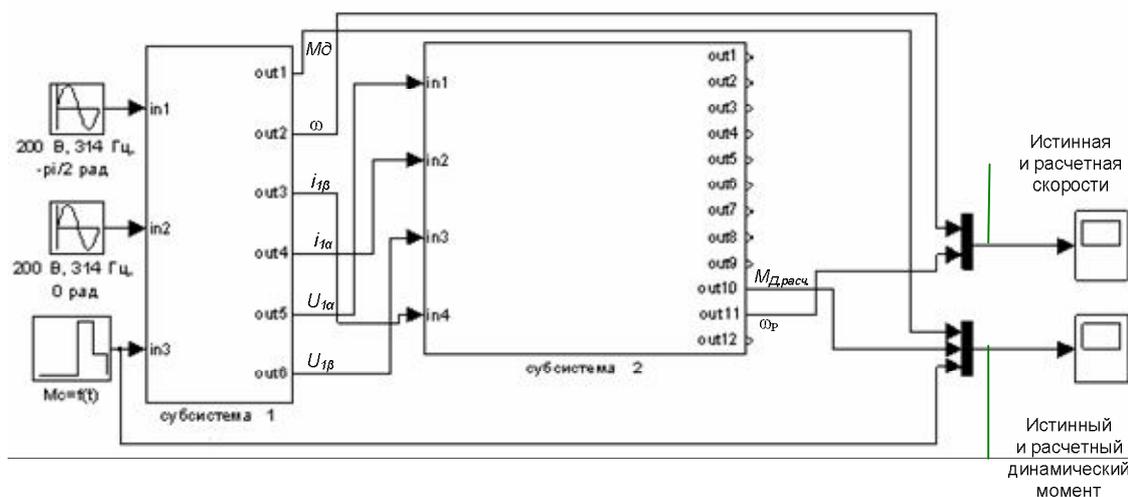


Рис. 1. Модель наблюдателя асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

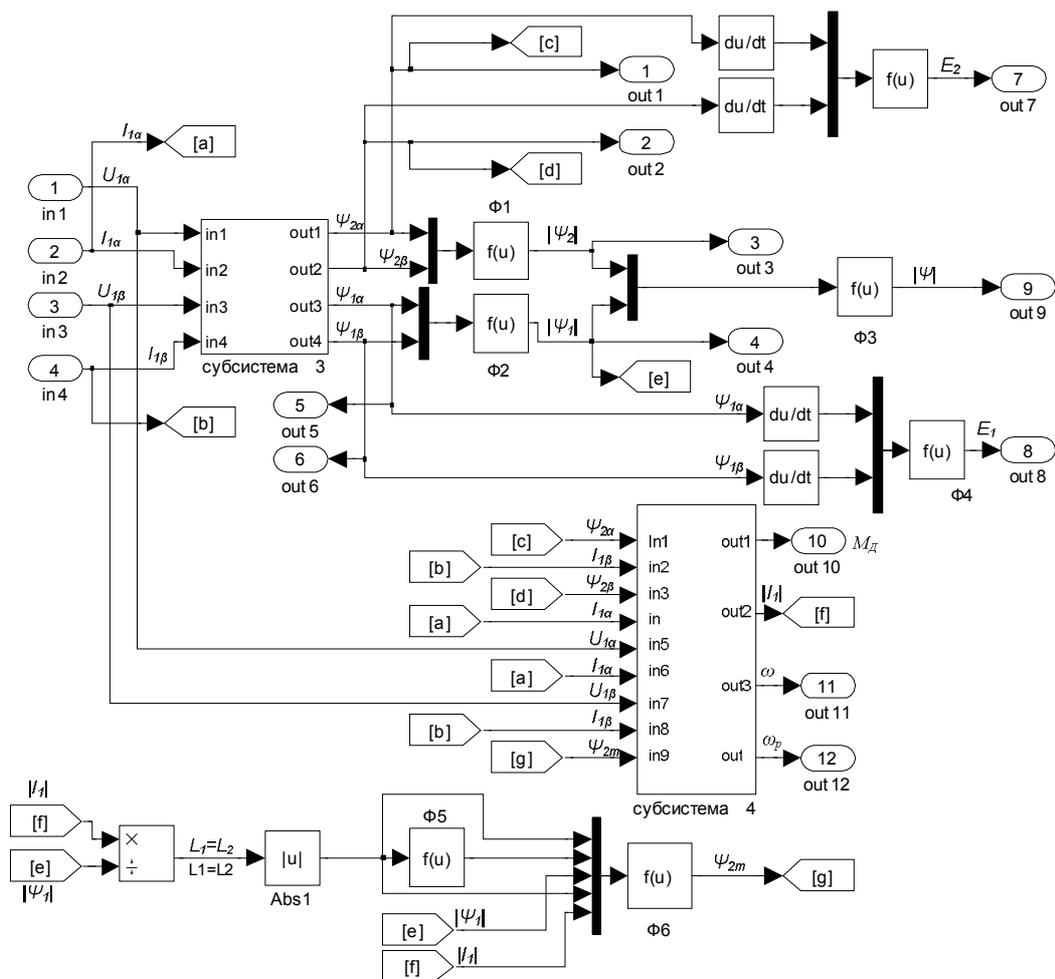


Рис. 2. Состав subsystemы 2

Из полученных данных рассчитываем модули ЭДС статора  $|E_1|$  и ротора  $|E_2|$ . Далее, оперируя значениями  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$ ,  $\Psi_{2\alpha}$ ,  $\Psi_{2\beta}$ , и  $\Psi_{2m}$  (субсистема 4), вычисляем расчетное значение динамического момента  $M_{д.РАСЧ}$ . Используя значение динамического момента и модуля потокосцепления ротора  $|\Psi_2|$ , определяем частоту роторной ЭДС  $\omega_p$ . С помощью функционального преобразователя  $\Phi 5$  получаем частоту напряжения питания  $\omega_{0ЭЛ}$ . Угловая скорость ротора  $\omega_{РАСЧ}$  определяется из разности рассчитанных частоты напряжения питания  $\omega_{0ЭЛ}$  и частоты роторной ЭДС  $\omega_p$  (субсистема 4).

В составе наблюдателя (рис. 1, subsystemы 2),  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$ ,  $\Phi 3$ ,  $\Phi 4$ ,  $\Phi 7$  производят операции вычисления модулей величин потокосцеплений и ЭДС  $|\Psi_1|$ ,  $|\Psi_2|$ ,  $|\Psi|$ ,  $|E_1|$  и  $|E_2|$ .

Наблюдатель получает сигналы тока и напряжения с математической модели двухфазного асинхронного двигателя в неподвижных осях  $\alpha$ - $\beta$  (рис. 1).

Анализ рис. 3 и рис. 4 показывает точность полученных результатов моделирования при изменении момента сопротивления на валу двигателя.

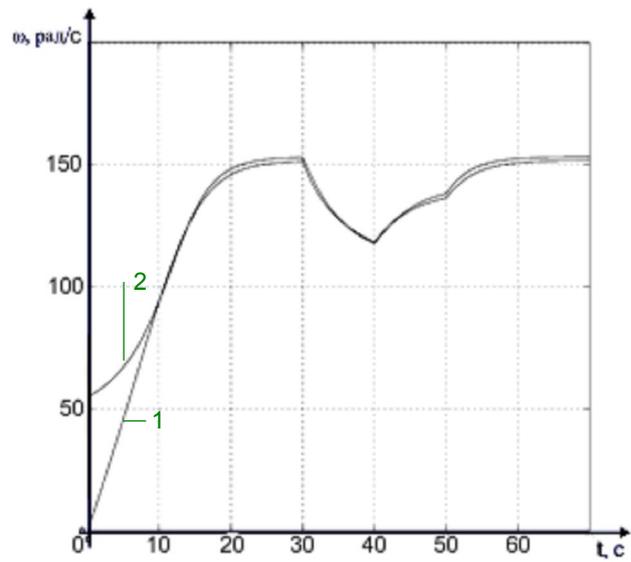


Рис. 3. Изменение скоростей ротора: 1 – истинная; 2 – расчетная

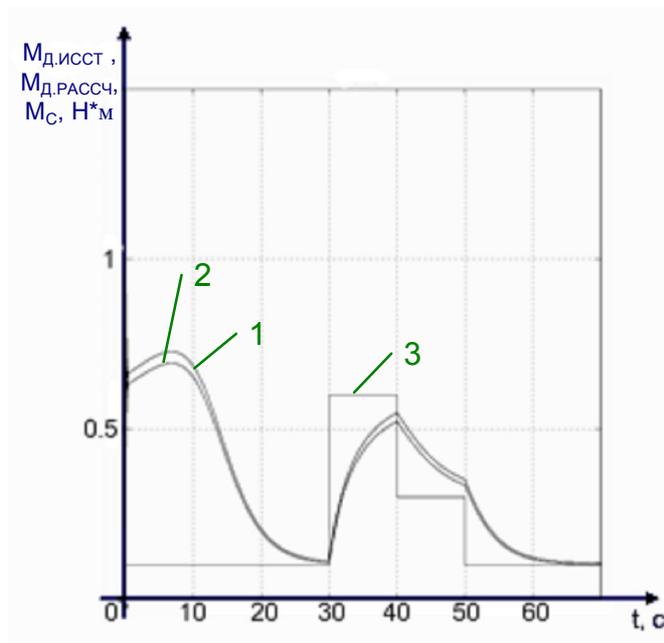


Рис. 4. Изменение моментов:  
1 – расчетного динамического; 2 – истинного динамического;  
3 – момента сопротивления

Созинова М. В., аспирант  
Поломошнов П.Ю., аспирант  
Файншмидт Е. М., проф., д-р техн. наук

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БОРИРОВАНИЯ

Проводили сравнения эксплуатационной стойкости инструмента определенной номенклатуры после различных видов химико-термической обработки. Выявлена номенклатура инструмента, стойкость которого повышается после борирования.

Цель борирования – получение в поверхностном слое изделий из стали боридов железа, обеспечивающих высокую твердость поверхности (сравнительная твердость в единицах  $HRC$ : цементация + закалка + низкий отпуск – 60...63; азотирование – 70...72, борирование до 80).

Известно, что отрицательным свойством борированного слоя является его повышенная хрупкость. Так, даже при определении твердости слоя наблюдаются трещины в области отпечатков пирамиды Виккерса, а иногда и сколы (что зависит от твердости металла основы — например, на конструкционных сталях типа 38ХС ниже 35...40  $HRC_{\text{Э}}$ ). Хрупкость получаемого слоя ограничивает применение борирования как в машиностроении, так и в инструментальном производстве. Однако в тех случаях, когда борированный слой работает в условиях безударного нагружения, абразивного изнашивания и т.п., его влияние на износостойкость трудно переоценить. Так, обязательным стал процесс борирования для повышения износостойкости соединительных пальцев звеньев гусениц гусеничных машин; этот процесс внедрен на ряде заводов, впервые — на ОАО «НПК «Уралвагонзавод».

Наши эксперименты по борированию тяжелонагруженного штампового инструмента, а также последующие сравнительные эксплуатационные испытания борированного инструмента позволили судить о целесообразности применения борирования для упрочнения прессового инструмента. Установлено, что гидропрессовый борированный инструмент по стойкости не уступал азотированному. При этом в условиях глубокой прошивки стальных стаканов стойкость борированных пуансонов была на 25...30% выше, чем азотированных (рис. 1). Таким образом, для значительной группы инструмента гидропрессовой штамповки (пуансоны прошивочные и протяжные, матрицы, выталкиватели) вопрос об альтернативе азотированию принципиально был решен в пользу борирования.

Известны три основных метода борирования, относящихся к химико-термической обработке: в порошках бора или ферробора; в жидких средах при электролизе буры; в жидких средах (хлористые соли) с добавлением к ним карбида бора или ферробора.

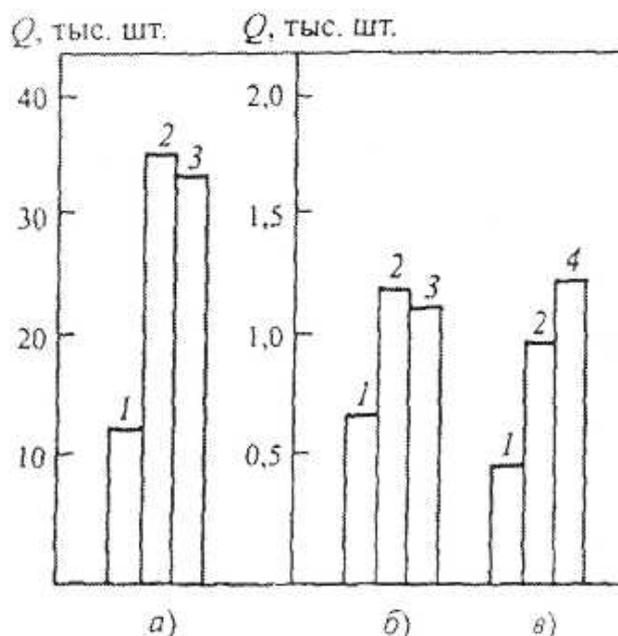


Рис. 1. Эксплуатационная стойкость  $Q$  инструмента из стали 4X5MFC:  
*а* – пресс-форма литья под давлением; *б* – матрица для штамповки на горячештамповочных кривошипных прессах (усилие 10000 Н);  
*в* – протяжный пуансон (гидропресс усилием 3000 Н);  
 1 – без ХТО; 2 – после газового азотирования;  
 3 – после цианирования; 4 – после борирования

Были проанализированы известные способы борирования с целью выбора оптимального варианта. Вначале был выбран метод электролизного борирования, наиболее интенсивный из известных. Однако трудности, с которыми встретился ОАО «НПК «Уралвагонзавод» при внедрении и многолетней эксплуатации этого процесса, оказались по силам только такому гиганту индустрии. В первую очередь столкнулись с проблемой получения жаропрочного литья для муфелей, используемых при борировании, которые подвергались непрерывной эрозии (муфель – анод, подвеска – катод). При выходе из строя муфеля расплавленная бура затвердевала в виде монолитов, ликвидировать которые было весьма трудно. Неудобство представляла и конструкция токоведущей подвески, при которой невозможно совмещение борирования с последующей закалкой.

Учитывая изложенные выше трудности, нами был опробован другой известный вариант жидкостного борирования – так называемое – бестоковое.

Использование в расплаве технической буры и порошка бора вместо карбида бора  $B_4C$  или бориды железа  $FeB$  позволило ускорить процесс борирования за счет его большой реакционной способности, а также снизить количество твердой фазы в ванне и уменьшить ее зашламленность. Для повышения жидкотекучести расплава в него добавляли небольшое количество хлоридов или фторидов щелочного металла.

Эксплуатационные испытания показали целесообразность применения борированных таким способом пуансонов горячей штамповки в условиях работы на гидравлических прессах, то есть при плавном безударном

нагрузении инструмента. Так, стойкость прошивных и протяжных пуансонов при горячей штамповке заготовок типа «стакан» была не ниже, чем у азотированных, а в некоторых случаях в ~ 1,5 раза выше (эти колебания показателя стойкости связаны с различным составом штампуемых сталей).

Проводили процесс бестокового жидкостного борирования в расплаве следующего состава: 73...78%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (бура), 15...20%  $\text{NaCl}$ , 5...7% В (порошок черного бора). Расплав буры с порошком бора имеет хорошую жидкотекучесть, что способствует его значительно меньшему уносу из ванны, чем расплава с карбидом бора или расплава при электролизном борировании.

Исследования отработанного инструмента показали, что для его успешной эксплуатации необходимо сочетание высокой поверхностной твердости с твердостью сердцевины 40...45 HRC. На поверхности деталей методом бестокового борирования было получено двухфазное боридное покрытие, по составу и соотношению фаз отличающееся от электролизного. Во внешнем слое количество борида железа  $\text{FeB}$  (1850...1700 HV) больше, чем в покрытии, полученном из расплава с карбидом бора. Нижний слой; борида  $\text{Fe}_2\text{B}$  имеет твердость 1350...1400 HV. Полученное боридное покрытие плотное с гладкой поверхностью. Поверхность инструмента промывают от оставшегося расплава в горячей воде после закалки. Как правило, класс чистоты обрабатываемой поверхности инструмента после борирования сохраняется. Микротвердость слоя, полученного при электролизном и бестоковом процессе борирования, одного порядка.

Развитием описанного выше бестокового процесса является более экономичный вариант – борирование в электродных соляных ваннах. Для него применяли расплав состава: 92...96,5%  $\text{NaCl}$ ; 2...5%  $\text{NaF}$ ; 1,5...3% В (порошок бора). Использование такого расплава позволяет проводить борирование безмуфельным способом, что особо важно в условиях дефицита жаропрочного никельсодержащего стального литья. Расплав находится непосредственно в огнеупорной кирпичной кладке соляной электропечиванны (типа СВС-100). Состав остается нейтральным по отношению к кирпичной кладке ванны и гарантированно не вызывает ее разъедания. Ванны такого типа работают практически на всех заводах. При этом нагрев расплава осуществляется внутренними электродами. В результате расход электроэнергии в несколько раз меньше, чем в тигельных ваннах с внешним обогревом. Исключение литых никельсодержащих жаропрочных тиглей делает такой процесс борирования доступным практически для любого машиностроительного завода.

Борирование в электродных соляных ваннах проводится при 850...920°C (в зависимости от марки стали) в течение 2,5...3 ч на глубину 0,1...0,12 мм. Расплав интенсивно перемешивается в ваннах за счет нагрева погруженными электродами. Таким образом, нет необходимости занимать полезное пространство зеркала ванны механической мешалкой, а также применять перемешивание инертным газом, который бывает недостаточно сухим, а попадание влаги в расплав солей опасно для персонала. Проведение борирования безмуфельным способом при температурах на

40...50°C ниже, чем при безтоковом насыщении, а также сокращение продолжительности процесса на 25% не вызывает интенсивного роста зерна. Таким образом, отпадает необходимость измельчения зерна после борирования путем дополнительной нормализации; непосредственно от температуры борирования проводится закалка (рис. 2). Описанный процесс борирования достаточно широко апробирован машиностроительными заводами, а также продан на патентно-лицензионных началах за рубеж.

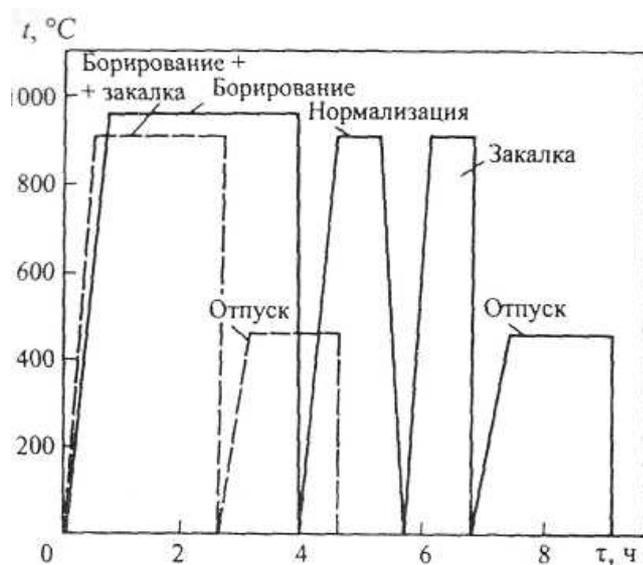


Рис. 2. Схема режимов борирования с последующей термической обработкой:

- — — — — электролизный процесс;
- - - - - борирование в соляной электродной ванне в расплаве хлоридов

Все перечисленные методы, несмотря на ряд различий, являются разновидностями химико-термической обработки, то есть. обладают недостатками: температура нагрева во всех процессах – 900...950°C; как следствие высоких температур и длительной выдержки (5...8 часов для достижения насыщенного слоя примерно 100...140 мкм) – крупнозернистая структура; для измельчения перегретой стали следует нормализация и только затем – закалка + отпуск; высокие энергозатраты на термообработку – до 2500 кВт·ч/т; затруднено борирование крупногабаритных (тяжелых) изделий, особенно в жидких средах (вытесняется при погружении большой объем расплава, требующий увеличения объема ванны, а значит, дополнительные энергозатраты).

Все перечисленные трудности и недостатки метода решаются при замене химико-термической обработки на электроэрозионную: процесс идет при комнатной температуре; расход электроэнергии снижается в десятки раз; не требуется жаростойких дорогостоящих сталей для муфелей (способ проходит стадию патентирования).

Дополнительные преимущества предлагаемого метода: ускорение процесса минимум в 2 раза; возможно борирование выборочных поверхностей (в местах максимального износа); возможно восстановление боридного слоя после

его истирания в процессе работы; экологическая чистота процесса, отсутствие проф.вредностей, имеющих место при химико-термической обработке; можно обрабатывать изделия любого веса (габаритов) и конфигурации.

Наилучшим приложением метода является его использование в целях повышения эксплуатационной стойкости формообразующего инструмента для горячей обработки давлением.

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Абрышкина Л.А, студентка  
Лозовая Е.Ю., доц., канд. техн. наук

## ПРОЦЕСС ДЕСУЛЬФУРАЦИИ В АГРЕГАТЕ ПЕЧЬ – КОВШ. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Современное производство стали ответственного назначения требует высокой чистоты металла по содержанию вредных примесей, в частности серы ( $< 0,001 - 0,003\%$ ). Разработаны способы глубокой десульфурации металла вдуванием кальцийсодержащих материалов ( $\text{CaSi}$ ,  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ ), вводом в металл в виде порошковой проволоки. В настоящее время особо низкое содержание серы в металле чаще всего достигается путем десульфурации на агрегате печь – ковш (АПК).

Основными факторами, определяющими эффективность этого процесса, являются состав, количество и режим формирования рафинировочного шлака, состав металла, интенсивность перемешивания металла и шлака, продолжительность обработки, вид футеровки ковша. Оптимизация указанных технологических факторов способствует повышению эффективности процесса десульфурации. Рассмотрим более подробно влияние указанных выше факторов.

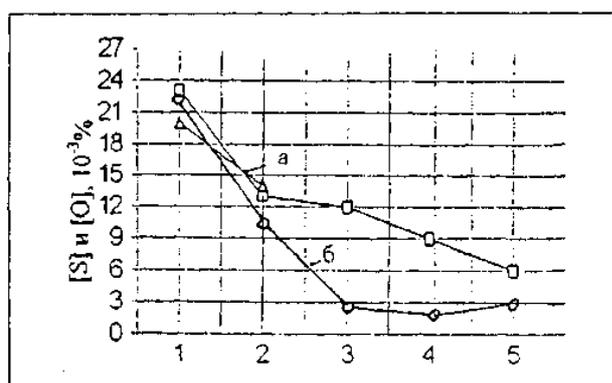
### *Состав шлака*

Фирма DANIELI в технической документации на АПК рекомендует для стали, раскисленной алюминием, следующий состав рафинировочного шлака, %: 56-62  $\text{CaO}$ ; 20-25  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 6 - 10  $\text{SiO}_2$ ; 6 - 8  $\text{MgO}$ ;  $< 1$  ( $\text{FeO} + \text{MnO}$ ); для стали, не раскисленной алюминием, шлак должен иметь ту же концентрацию  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и ( $\text{FeO} + \text{MnO}$ ), но больше  $\text{SiO}_2$  (15-20%) и меньше  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5 - 8%), а также содержать  $\text{CaF}_2$  (5 – 10%). Присутствующий в шлаке  $\text{Al}_2\text{O}_3$  оказывает значительное влияние не только на его серопоглотительную способность, но и жидкоподвижность.

Обеспечение высокой жидкоподвижности достигается присадкой плавикового шпата. Для ускоренного формирования шлака используют базовую твердую шлаковую смесь (ТШС) извести и плавикового шпата (извести – 83%; плавикового шпата – 17%), присаживаемую под струю металла при выпуске его из сталеплавильного агрегата в ковш. При соблюдении рациональных технологических параметров такой кратковременной обработки металла быстро формируется жидкоподвижный шлак с высокой десульфураторной способностью.

### *Раскисленность металла*

Известно, что десульфурация успешно протекает только при условии достаточно полного раскисления металла. Результаты определения содержания серы и кислорода в подшипниковой стали по ходу ее внепечной обработки, включающей вакуумирование, в 20-тонном ковше (см. рисунок) в ОАО "Электросталь" показывают четкую связь снижения содержания серы с уменьшением концентрации кислорода в металле.



Операции внепечной обработки

Изменение содержания серы и кислорода в подшипниковой стали по ходу ее внепечной обработки: а – изменение серы; б - изменение кислорода;

1 – перед выпуском полупродукта из ДСП; 2 – в первой пробе в ковше ( ◻ – для выплавки без использования АПК; Δ – с использованием АПК); 3 – после вакуумирования; 4 – после раскисления; 5 – в маркировочной пробе из готового сорта.

### ***Продолжительность обработки***

Величина степени десульфурации металла зависит не только от состава и жидкоподвижности шлака, но и от продолжительности обработки на АПК, а также условий перемешивания металла и шлака вдуваемым газом. Исследования показали, что при совмещении процессов нагрева и десульфурации продолжительность обработки металла на АПК должна быть более 40 мин.

### ***Перемешивание аргоном***

Высокая степень десульфурации стали на АПК достигается только в условиях интенсивного перемешивания металла и шлака аргоном, вдуваемым через донные фурмы; применяют также фурму, используемую для верхней продувки, чаще в случае аварийного перемешивания аргоном.

При совместной верхней и донной продувке через фурму значительно возросла скорость и повысилась полнота десульфурации, уменьшился износ футеровки ковша и загрязнение стали неметаллическими включениями. При этом цикл производства стали с содержанием серы менее 0,010% (с 0,020-0,025%) снижен с 50 до 40 мин.

Аргон при продувке не растворяется, поэтому в объеме жидкой стали образуется большое количество пузырей, которые интенсивно перемешивают металл и выносят на его поверхность неметаллические включения. Перемешивание аргоном интенсифицирует массоперенос серы из металла в шлак.

Рост мощности перемешивания металла и шлака способствует увеличению скорости и полноты процесса десульфурации и уменьшению количества наводимого в ковше шлака.

### ***Начальное содержание серы***

Степень десульфурации стали в значительной мере, помимо перечисленных факторов, определяется начальным содержанием серы. Фактические данные по десульфурации низкоуглеродистой трубной стали, полученные при обработке на ковше-печи одного из металлургических предприятий, следующие: при изменении

начального содержания серы от 0,010 до 0,040% степень десульфурации стали за период обработки изменяется от 10 до 35%, достигая 70-75% при начальном содержании серы на уровне 0,050%. При повышении расхода шлакообразующих от 2 до 12 кг/т стали степень десульфурации изменяется в пределах от 8 до 27%. При увеличении длительности обработки от 20 до 80 мин степень десульфурации изменяется в пределах от 10 до 27%.

В тех случаях, когда содержание серы в металле должно быть более низким, шихту для плавки специально отбирают, а иногда даже предварительно специально выплавляют чистую по сере шихту (обычно ее называют шихтовой заготовкой).

Использование приведенных закономерностей для конкретных условий позволяет прогнозировать конечное содержание серы в стали.

### ***Состав стали***

На показатели десульфурации оказывает значительное влияние состав обрабатываемой стали. Так, степень десульфурации бескремнистой ( $Si < 0,02\%$ ) стали, раскисленной только алюминием, значительно ниже, чем раскисленной алюминием и кремнием. По данным проведенных работ, при обработке низкоуглеродистой стали (типа 08Ю, 08пс) на удаление около 50% серы затрачивается примерно в 1,5 раза больше времени, что обусловлено практически отсутствием в такой стали  $Si$  ( $< 0,02—0,03\%$ ). Наоборот, присутствие кремния в стали снижает активность кислорода в металле, способствуя увеличению коэффициента распределения серы ( $L_S$ ) и тем самым более полному переходу серы из металла в шлак. Кроме того, при обработке низкоуглеродистой стали содержание ( $FeO + MnO$ ) в шлаке обычно более высокое, что уменьшает значение  $L_S$ .

### ***Футеровка ковша***

Длительная десульфурация приводит к увеличению износа футеровки ковша, особенно в зоне шлакового пояса, что сопровождается отклонением состава рафинировочного шлака от оптимального и существенным влиянием на конечный результат десульфурации, а также экономические показатели обработки.

Условием достижения глубокой десульфурации стали в сталеразливочных ковшах отвечает применение периклазоуглеродистой и шпинельно-периклазоуглеродистой футеровки с использованием изделий соответствующих типоразмеров, обеспечивающих необходимую толщину в зависимости от отдельных зон износа футеровки ковша и дифференцированных по типу периклаза, шпинели, содержанию углерода и наличию добавок комплексного действия.

***Таким образом***, были выделены основные условия для успешного проведения операции десульфурации:

- 1) высокая активность  $CaO$  в шлаке, т.е. ускорить формирование основных шлаков;
- 2) низкая активность  $FeO$  в шлаке (шлак маложелезистый);
- 3) низкая активность кислорода в металле (раскисленность металла);
- 4) малая активность (низкое содержание) серы в шлаке;

5) высокая температура;

6) большая площадь контакта металла с десульфурирующим шлаком.

Оптимизация технологии десульфурации металла на АПК с учетом существующих особенностей каждого предприятия позволяет за время нормального цикла обработки на АПК (40-50 мин) осуществлять производство стали с любым низким содержанием серы, включая и производство особо низкосернистых (не более 0,001-0,003% S) марок стали ответственного назначения.

Гафиатулина Д.Р., студентка  
Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук

## КАМЕРНЫЙ ВАКУУМАТОР С СУХИМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ НАСОСАМИ

В связи с резко возросшими требованиями к качеству металла особенно остро встал вопрос о повышении качества выплавляемой стали прежде всего по таким показателям, как содержание водорода и азота. Также во внимание принимается то, что традиционный способ выплавки обеспечивает высокую газонасыщенность стали: водород - 4-6 ppm (нужно меньше 1-2); азот -  $(10-12) \cdot 10^{-4}$  (нужно меньше 0,001).

Решить эту задачу можно за счет вакуумирования стали. Для этих целей можно использовать: дегазацию металла, вакуумное раскисление, глубокое обезуглероживание (при выплавке определенного сортамента сталей). При определении типа установки вакуумирования стали основными требованиями были – минимизация затрат на строительство, использование уже имеющихся площадей зданий. Исходя из проведенного анализа, рекомендуется установка вакууматора камерного типа, достоинством которого являются простота оборудования и технологии, по сравнению с установками РН и ДН; относительно небольшие потери тепла при обработке, компенсируемые на УКП путем дополнительного нагрева металла на 100-120°C. Для повышения эффективности ковшовой обработки применяются продувка металла под вакуумом инертным газом. Газ вводят через днище ковша при помощи двух пористых пробок. Для углубления зоны дегазации и усиления циркуляции ванны достаточно продувать металл небольшим количеством газа (0,05-0,7 м<sup>3</sup>/т).

Установка отличается от существующих аппаратов аналогичного типа конструкцией вакуумного насоса. Вакуумная насосная установка создана на базе безмасляных «сухих», механических насосов. Решение по использованию механических вакуумных насосов обусловлено тем, что для создания вакуума в основном применяются парожетторные установки, к основным недостаткам которых можно отнести, высокие энергозатраты на тонну обрабатываемой стали, достаточно высокая стоимость, значительные капитальные затраты, повышенные требования к используемому пару (расход 10-20 т/ч, при давлении не менее 10 атм и температуре на уровне 170-190 °С), дополнительные периферийные мощности (производство пара, регенерация воды), шум, а также выделение высокого уровня акустической энергии.

Основные преимущества системы «сухих» механических насосов для вакуумирования стали заключаются в экономии энергоресурсов (в 10-12 раз меньше), чем при использовании парожетторных установок.

Данная система обладает малой инерционностью – для ее запуска требуется порядка 20 минут.

Не требуется периферийного парового и водяного оборудования.

Для размещения комплекса установки с механическими насосами требуется значительно меньше места.

Опыт эксплуатации вакууматоров с «сухими» механическими насосами показал, что эта система более эффективна в плане удаления из стали водорода из-за отсутствия его обратной диффузии. Кроме того механические «сухие» насосы – типичные транспортеры объема, в отличие от парожетторных насосов, которые являются транспортерами масс, обеспечивают более спокойное протекание процесса вакуумирования без вскипания стали и разбрызгивания жидкого металла.

Применение механических насосов, используемых в процессе дегазации стали, безусловно требует решения проблемы надежной пылеочистки откачиваемого газа. В условиях повышения конкуренции среди производителей сталей снижение энергоемкости ее при внепечной обработке путем замены оборудования на более прогрессивное является важной задачей.

Жуков Д.В., студент  
Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДОГРЕВА ЛОМА ПЕРЕД ЗАГРУЗКОЙ В ДСП

При выплавке стали в современных дуговых сталеплавильных печах вопрос экономии электроэнергии является актуальным. Очень важной в настоящее время становится проблема использования тепла отходящих печных газов. Доля тепла печных газов в энергетическом балансе возрастает при сокращении цикла плавки с увеличением емкости и мощности печи, расхода топлива и кислорода.

Удельный выход газов при такой интенсификации сталеплавильного процесса составляет от 70 до 125 м<sup>3</sup>/тч, а температура отходящего газа может в период плавки достигать 1650-1700°С.

Количество тепла, выносимого газовым потоком, может превышать 25% от общего объема.

Утилизацию тепла отходящих газов электропечей можно осуществлять по двум направлениям: путем его частичного возвращения в технологический процесс при предварительном подогреве лома отходящими газами и путем использования этого тепла в энергетических целях. Комбинируя этими методами, можно большую часть тепла использовать повторно.

Наиболее перспективными решениями проблемы охлаждения и утилизации тепла отходящих газов является использование их для предварительного нагрева загружаемого в печь лома, при этом возвращение части потерянного тепла непосредственно в технологический процесс плавки является самым эффективным методом утилизации, так как в этом случае сокращается расход электроэнергии на выплавку стали и увеличивается производительность ДСП.

Известны несколько способов нагрева лома отходящими газами: вращающиеся печи или нагревательные устройства, расположенные непосредственно над дуговыми печами, отдельные установки камерного типа, в которые помещают бадьи с ломом, или шахтные дуговые печи.

Перспективным является использование установок с рециркуляцией газов с помощью дополнительного вентилятора.

Опыт показал, что утилизация тепла отходящих газов ДСП позволяет нагреть загружаемую шихту до 850°С.

Высокий уровень использования тепла отходящих газов достигается при подогреве лома в конвейерных туннельных печах, применяющих принцип противотока с нагревом лома до 900 °С, а экономия электроэнергии на выплавку стали достигает от 90 до 120 кВт·ч/т стали. Этот принцип реализуется в печах с непрерывной загрузкой типа Consteel.

Суть плавки в дуговой сталеплавильной печи с непрерывной загрузкой металлошихты в расплавленный металл по типу процесса Consteel заключается в том, что электродуга в течение всей плавки горит на плоской

поверхности зеркала жидкой ванны, что обеспечивает стабилизацию работы печи и отбором более высокой доли активной мощности, отбираемой печью от питающего трансформатора.

Основным преимуществом данного сталеплавильного процесса с непрерывной загрузкой скрапа в жидкую ванну является возможность устранения холодного начала плавки и получения примерно постоянной температуры расплава по ходу плавки для электродуговых печей. Это означает стабильное горение дуг на жидкий металл и поэтому более равномерное потребление мощности без бросков тока и других факторов.

В условиях указанного процесса возможность загрузки в печь подогретого лома обеспечивает более высокую скорость загрузки практически на 20-30%, что в свою очередь повышает производительность работы ДСП.

Надо также отметить еще одно преимущество завалки лома в жидкую ванну – это раннее наведение активного шлака из-за более высокой температуры ванны в начале плавки и, следовательно, лучшие условия для протекания металлургических реакций.

Таким образом, применение туннельного подогревания лома до 820°C за счет использования тепла отходящих печных газов с дожиганием CO, содержащегося в печных газах, обеспечивает существенную экономию в затратах электрической энергии на 1 т выплавляемой стали до 30% по сравнению с классической технологией и улучшает защиту экологической среды.

Применение технологии Consteel является перспективным, особенно в условиях России, где осуществляется постоянное существенное повышение тарифов на электрическую энергию.

Камозина Е.А., студентка  
Лозовая Е.Ю., доц., канд, техн. наук

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТАЛИ, ВЫПЛАВЛЯЕМОЙ НА ОАО «ЧМЗ»

Качество стали определяется прежде всего содержанием в ней фосфора и серы. Технология мартеновской плавки позволяет получить качественную сталь, однако это связано с чистотой исходной шихты. Получение металла с особо низким содержанием серы практически не возможно. Содержание серы в одной марки стали может сильно отличаться, это связано с нестабильностью технологической схемы рафинирования металла от вредных примесей. Степень эффективности обработки металла в ковше на выпуске десульфурирующей смесью при одинаковых условиях может быть различной. Например, для стали марки 50ХГФА степень десульфурации может изменяться в пределах от 0,13 до 0,46. Причиной этого явления могут стать как степень раскисленности, так и несовершенство технологии отсечки печного шлака, следовательно, меняется окислительный потенциал системы «металл-шлак».

Решение этой проблемы мы видим в переносе процесса десульфурации металла в установку «ковш-печь», что повысит стабильность и эффективность рафинирования металла от серы. Задача по дефосфорации металла будет возложена на плавильный агрегат.

Качество исходной шихты позволяет получить по расплавлению и в период скачивания шлака достаточно чистый по содержанию фосфора металл. Содержание фосфора по расплавлению в сталях сортамента ОАО «Чусовской металлургический завод» представлено в табл. 1.

Таблица 1  
Содержание фосфора по расплавлению в сталях сортамента ОАО «ЧМЗ»

Марка стали	Содержание фосфора по расплавлению, %	
	min	max
50ХГФА	0,002	0,008
50ХГА	0,003	0,011
60С2А	0,002	0,01
35ГС	0,003	0,019
62ПП	0,002	0,005
15об	0,002	0,008

Дальнейшие технологические периоды сопровождаются, в большинстве случаев, не дефосфорацией, а рефосфорацией металла. К моменту выпуска степень рефосфорации относительно содержания по расплавлению может достигать 133÷233% в зависимости от марки стали. С

увеличением содержания фосфора в металле после расплавления степень рефосфорации по ходу плавки несколько снижается.

Однако, даже при больших степенях рефосфорации, в большинстве случаев, металл соответствует требованиям ГОСТа.

Как и в случае с серой, содержание фосфора в металле одной марки может изменяться более чем в два раза. Это указывает на невысокое качество технологии данного процесса.

Использование в технологической схеме установки «ковш-печь» позволит существенно изменить схему раскисления стали и значительно уменьшить степень развития процессов рефосфорации.

Кроме содержания вредных примесей, важной характеристикой является стабильность химического состава и температуры. В настоящее время при отборе трёх проб контролируется только изменение концентрации марганца. Данные результатов анализа показывают, что в составе металла в пределах одного ковша содержание марганца может меняться в достаточно широких пределах. Скорее всего, это связано с нестабильностью условий легирования, например колебаниями окислительного потенциала и режима ввода добавок, что влияет на угар, а также колебаниями веса плавки. Например, угар хрома может изменяться в пределах от 16,6 до 36,6%.

Температура металла одной марки также может изменяться в широких пределах, выходя за пределы требований технологических инструкций (табл. 2).

Таблица 2

Нестабильность температуры стали одной марки

Марка стали	Температура металла, °С			
	перед выпуском, в печи		после выпуска, в ковше	
	min	max	min	max
50ХГФА	1600	1628	1552	1566
60С2А	1586	1613	1519	1570
35ГС	1608	1625	1555	1590
62ПП	1604	1616	1556	1589
15об	1615	1630	1575	1605

Падение температуры на выпуске из печи в ковш стали одной марки является нестабильным, изменяясь от 10 до 72°С (табл. 3). Это говорит о необходимости совершенствования не только основных процессов выплавки стали, но и вспомогательных процессов, в частности, подготовки ковшей.

Значительное колебание веса плавки (от 245 до 280 т) может являться одним из недостатков технологии, так как влияет на эффективность и результативность последующих технологических процессов.

## Нестабильность снижения температуры стали при выпуске в ковш

Марка стали	Снижение температуры при выпуске в ковш, °С	
	min	max
50ХГФА	42	72
60С2А	29	67
35ГС	34	63
62ПП	19	48
15об	10	55

Проведя анализ качества стали, выплавляемой на ОАО «ЧМЗ», приходим к выводу о том, что эффективность существующей технологии недостаточна, возможности дальнейшего улучшения качества стали ограничены. Следовательно, необходимо провести реконструкцию сталеплавильного производства с целью повышения качества жидкого металла.

Корнилов А.А., студент  
Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук

## ДВУХВАЛКОВЫЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЕ АГРЕГАТЫ

В последние годы проводится много научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, направленных на разработку высокоэффективного оборудования и технологий для металлургических производств небольшой производительности, в частности для микрозаводов. Ведущие сталелитейные компании уделяют большое внимание созданию высокоэффективной модульной технологии и оборудования для производства тонких широких полос на основе компактных валковых литейно-прокатных агрегатов. При этом важными задачами остаются уменьшение расхода энергии, снижение удельных капиталовложений на тонну проката и экологическая чистота производства.

Совмещение процессов литья и прокатки стали – путь к снижению энергозатрат.

В обычных технологиях, когда после получения литых заготовок происходит их охлаждение, а затем (после транспортировки в прокатные цехи) нагрев перед прокаткой, удельный расход энергии при этом составляет 2000 МДж на тонну стального проката. Если же реализовать прокатку литых заготовок, не допуская их охлаждения ниже определенной температуры (для стали не ниже 900°C), то удельный расход энергии будет меньше в 6-7 раз, т.е. 300-335 МДж/т.

Естественным поэтому является стремление совместить установку непрерывной разливки металла (УНРМ) и прокатный стан в единой технологической линии для реализации непрерывного процесса литья-прокатки. Такое совмещение позволяет не только экономить тепловую энергию, но также компактно располагать агрегаты в цехах и повысить их производительность.

При литье в «кристаллизаторы скольжения» на традиционных установках непрерывной разливки металла кристаллизация слитка, как правило, не заканчивается в кристаллизаторе; корка слитка в этом случае подвергается в системе вторичного охлаждения сложному изгибу. Кроме этого происходят изгиб корки из-за погрешностей установки роликов, изгиб за счет выпрямления слитка либо его движения вдоль линии переменной кривизны, а также при обжати в тянуще-правильных клетях.

При литье в двухвалковых агрегатах эти деформации исключены, так как при обычной технологии кристаллизация должна завершиться в зоне, расположенной между мениском жидкого металла и плоскостью, проходящей через оси валков-кристаллизаторов (при подаче жидкого металла в валки в вертикальном направлении сверху). В указанной зоне должно быть также осуществлено обжатие тонкого слитка с относительной степенью деформации не менее 10-15% для обеспечения достаточно высоких механических свойств и сплошности металла.

Получение тонкой полосы непосредственно из расплава позволяет исключить из производственной цепи все технологические операции, оставляя лишь операции для конечной доработки литой полосы на станах холодной прокатки и отделочные операции, что дает возможность снизить в несколько раз капитальные затраты по сравнению с традиционной технологией.

В процессе разлива металл непосредственно контактирует с поверхностью валков, что обеспечивает высокую скорость кристаллизации, когда при отсутствии шлака растворенные примеси в виде неметаллических включений не успевают сегрегировать, поэтому в конечном металле их содержание может быть даже увеличено без снижения качества готовой полосы.

За счет высокой скорости кристаллизации уменьшается расход металла на образование окалины.

В типовой схеме валковых литейных установок расплавленный металл через керамическое сопло подается в створ вращающихся навстречу друг другу валков. Ванна расплава формируется в створе валков за счет установки боковых термостойких ограничителей. Воздействие жидкого металла на ограничители можно уменьшить путем установки вдоль боковых ограничителей электромагнитных индукторов. При вращении валков происходит намораживание корочки металла на их поверхности, которая формирует полосу на выходе из створа валков.

В настоящее время технология литья полос из нержавеющей и низкоуглеродистой стали внедрены в различных странах с объемом производства до 0,5 млн. т стали в год. Технология хорошо подходит для выпуска полосы небольшими партиями и определенного сортамента, рассчитанного на конкретного покупателя.

Низкие капитальные затраты, гибкость и экологическая чистота этой технологии позволяет использовать ее как в местах непосредственного потребления готовой продукции, так и в пунктах, где возможно образование и накопление лома.

Технология легко интегрируется в существующую технологическую цепочку и может быть использована для модернизации действующих предприятий или составить основу для строительства микро- или мини-металлургических заводов, в том числе и на машиностроительных предприятиях

Чеблакова О.С., студентка  
Мысик В.Ф., доц., канд. техн. наук

## ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛУРГИИ

На современном этапе развития экономики получают широкое внедрение процессы получения металлов с повышенными эксплуатационными характеристиками и значительно-меньшими энергозатратами.

Мировой опыт показывает, что наиболее конкурентоспособными и выживаемыми являются мини- и микрометаллургические заводы, изменившие традиционную структуру металлургии, где высокая экономическая эффективность достигается за счет больших объемов производства.

Преимуществом мини- и микрозаводов как самостоятельного предприятия является приспособленность их к меняющимся требованиям рынка, т.к. затраты, непосредственно связанные с производством и продажей, сведены к минимуму.

В технологическом отношении эти заводы используют инновационную технологию электроплавки стали с необходимым комплексом внепечной обработки и непрерывную разливку, совмещенную с прокаткой.

Источниками сырья для мини- и микрозаводов могут быть: стальной лом, чугун, металлизированное сырье, которые в разных пропорциях в металлозавалке могут изменяться в зависимости от требуемого качества готовых изделий.

Мини- и микрозаводы используются как для производства сортового проката, так и для производства листа. При их внедрении возникает проблема согласования работы основных агрегатов технологического процесса. Вопросы согласования работы плавильных печей и МНЛЗ решены. Проблема стыковки работы МНЛЗ и прокатного стана решаются расположением между МНЛЗ и прокатным станом высокотемпературной печи-термостата.

Микрометаллургический завод является привлекательным для регионального размещения, так как позволяет оперативно удовлетворять спрос на металлоизделия из местных источников вторичного сырья, особенно это актуально для нашей страны, имеющей огромные размеры и недостаточно развитую транспортную инфраструктуру, что позволяет эффективно вовлечь скрап в хозяйственный оборот и решить транспортную проблему.

Микрометаллургические заводы являются перспективными для внедрения на современных машиностроительных предприятиях, если на этих заводах обеспечить производство металлопроката по конфигурации, близкой к готовым изделиям, и выпускать их небольшими сериями. В этом случае легко переналаживаемое производство микрозавода становится эффективным и хорошо вписывается в рыночную экономику.

Преимущества мини- и микрометаллургических заводов по величине удельных капиталовложений становятся еще более очевидными, если учесть необходимость решений экологических проблем крупных металлургических заводов в соответствии с действующими санитарными требованиями. В условиях малолюдной технологии производства при обслуживании агрегатов манипуляторами - роботами обеспечиваются комфортные условия труда обслуживающего персонала, а оснащение современными системами газоочистки и пылеулавливание делают эти производства экологически безопасными для окружающей среды.

Дополнительное энергосбережение при электроплавке может обеспечиваться путем использования тепла отходящих газов для предварительного подогрева лома, энергией сжигания газа с замещением электрической и другими мероприятиями.

Затраты, непосредственно не связанные с производством и продажей продукции, минимальны из-за короткого производственного цикла при максимальных производительностях и рентабельности.

Инвестиционные затраты для заводов с годовым объемом производства от 50 до 500 тыс. т составляют 200-500 млн. долларов США при сроке окупаемости 5-7 лет.

Из перечисленных преимуществ мини- и микрометаллургических заводов можно предположить, что их инвестиционная привлекательность будет увеличиваться в послекризисный период, степень привлекательности определится уровнем принимаемых технологических решений, соответствующих современным техническим достижениям.

Панов Д.С., аспирант  
Шопперт А.А., студент  
Логинова И.В., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛИЗАТОРОВ НА ПРОЦЕСС ДЕКОМПОЗИЦИИ ЩЕЛОЧНО-АЛЮМИНАТНЫХ РАСТВОРОВ

Процесс декомпозиции щелочно-алюминатных растворов на протяжении десятков лет остается объектом многих исследований.

Операция получения гидроксида алюминия из щелочно-алюминатных растворов при производстве глинозема является сложным и самым продолжительным процессом технологической схемы.

Исследовательские работы по теории и технологии глиноземного производства способствовали эмпирическому и теоретическому обоснованию основных параметров процесса разложения щелочно-алюминатных растворов и наметили пути его усовершенствования. Для дальнейшей интенсификации процесса декомпозиции щелочно-алюминатных растворов и глиноземного производства в целом необходима разработка новых методов, способствующих повышению их степени разложения, сокращению длительности операции декомпозиции и получению глинозема, отвечающего требуемым физико-минералогическим характеристикам.

Основными факторами, оказывающими влияние на технологические показатели выделения глинозема из щелочно-алюминатных растворов, являются: каустический модуль исходного раствора и его концентрация; температурный режим процесса; присутствие твердой фазы, ее количество, состав и физико-химическое состояние поверхности; наличие различных примесей и их количество.

Процесс декомпозиции щелочно-алюминатных растворов является одним из основных переделов в технологии получения глинозема и алюминия, от которого во многом зависят производительность и экономика глиноземных и алюминиевых заводов, качество получаемых продуктов.

В последнее время в глиноземном производстве большую актуальность приобрела проблема получения крупнокристаллического гидроксида алюминия, необходимого для производства песочного глинозема. Это связано прежде всего с использованием новых типов электролизеров для производства алюминия.

Основная задача проведенных исследований направлена на улучшение технологических показателей работы участка декомпозиции, в частности, сокращение времени процесса и повышение процента разложения щелочно-алюминатного раствора, изучение возможности получения крупнозернистого гидроксида алюминия, а также изучение вопросов использования различных минерализаторов в процессе декомпозиции.

Сотрудниками кафедры металлургии легких металлов УГТУ - УПИ исследованы процессы разложения щелочно-алюминатных растворов с использованием гидроксида алюминия с добавлением минерализаторов (фтористых солей) в качестве затравки.

Полученные в результате экспериментов данные убедительно указали на то, что параметры процесса декомпозиции в значительной степени зависят от типа добавляемого в раствор минерализатора. В частности, фториды магния и натрия не оказали существенного влияния ни на процент разложения, ни на гранулометрический состав выделившегося гидрата. Отсюда можно предположить, что соли не взаимодействовали с раствором в процессе декомпозиции. Относительно низкий результат, по сравнению со свидетелем, показала затравка с добавлением фторида кальция. Разница в значениях степени разложения алюминатного раствора составила около 30%. В данном случае выдвинуто предположение о том, что соль «нейтрализовала» затравку, препятствуя, таким образом, не только росту кристаллов гидроксида алюминия, но и индуцированию нуклеации, т.е. образованию новых центров кристаллизации, в процессе декомпозиции щелочно-алюминатного раствора. Противоположный эффект показала добавка фторида алюминия в затравочный гидрат. В результате процесса декомпозиции зафиксировано разложение алюминатного раствора на 50%, что на 20% выше значения свидетеля. Однако при этом отмечено выделение довольно мелкодисперсного гидроксида алюминия.

В дальнейшем проведена серия опытов с использованием фторида алюминия в качестве минерализатора в процессе декомпозиции щелочно-алюминатного раствора.

В результате серии экспериментов определено, что при добавлении в затравку заводского фтористого алюминия в количестве до 25% от массы навески затравочного гидрата значение разложения щелочно-алюминатного раствора достигает 60% и выше. В опытах со свидетелем, когда в качестве затравки использован промытый гидрат, процент разложения за то же время выкрутки, т.е. 24 часа, составил 33,2%.

Таким образом, используя фторид алюминия в качестве минерализатора в процессе декомпозиции щелочно-алюминатных растворов, можно существенно повысить процент их разложения и сократить время выкрутки с трех суток до 24 часов.

В настоящее время на Уральском алюминиевом заводе применяют схему декомпозиции с высоким затравочным отношением. Как показали проведенные исследования, применение заводского фторида алюминия в качестве добавки к затравочному гидрату позволит значительно повысить процент разложения, не увеличивая при этом количество возвращаемой в процесс гидроокиси.

Необходимо учесть, что соль в содержании 0,1% от массы затравки повышает значение выхода продукта на величину до 50%. Следовательно, новая статья затрат не окажет существенного влияния на себестоимость глинозема.

Особое внимание следует уделить полученной в результате проведенных экспериментов гидроокиси алюминия. При использовании ее в качестве затравки отмечено значительное увеличение величины выхода продукта, чем в присутствии обычного гидрата. Это свидетельствует о том, что данный гидроксид алюминия является активной затравкой и может быть использован в процессе неоднократно.

Однако полученный гидрат имеет мелкодисперсную структуру, т.е. обладает так называемым пылением, что отрицательно сказывается на последующих переделах.

Внедрение новой технологии позволит существенно увеличить производительность отделений декомпозиции без дополнительных капиталовложений на их расширение.

Учитывая вышеописанное и тот факт, что время процесса декомпозиции щелочно-алюминатных растворов сокращается до 24 часов, следует считать, что внедрение нового вида затравки на глиноземных заводах является перспективным направлением.

Необходимо отметить, что исследования в данной области в настоящее время продолжаются усилиями сотрудников кафедры металлургии легких металлов УГТУ - УПИ.

Новосёлова Н.А., студентка  
Спиридонов М.А., проф., д-р хим. наук  
Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук

## ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА МОЛЕКУЛАХ ФУЛЛЕРЕНА $C_{60}$

Углерод образует разнообразные аллотропические структуры фуллеренов фуллеренов – графит, алмаз, коллодий, фуллериты и т.д. Их физико-химические свойства, структура, фазовые превращения изучены детально. При этом свойства молекул нанодиапазона (фуллеренов) существенно отличаются от таковых в массивных образцах.

Кристаллический фуллерит  $C_{60}$ , изученный рентгенографически, образует ГЦК структуру с параметром элементарной ячейки  $a = 14,17 \text{ \AA}$  и расстоянием между ближайшими соседями  $10,02 \text{ \AA}$ . Координационное число – 12, связи между атомами в молекуле фуллерена – ковалентные, между молекулами в решетке – Ван-дер-ваальсовы.

Подобные структуры являются для «зонда исследования» (X-лучи, пучки нейтронов, электронов) трехмерной дифракционной решеткой, и расположение их центров рассеяния отражается в интерференционных зависимостях. Экспериментальное изучение подобных наноразмерных объектов затруднено, вследствие чего перспективно их исследование методами компьютерного моделирования.

Рентгенограмму фуллерита  $C_{60}$  оцифровали, преобразовали в зависимость « $I(s) - s$ », где  $s$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны.

Эти данные использовали для расчета в обратном пространстве дифракционной картины наноразмерного диапазона интенсивности  $I(s)$  рассеяния отдельной молекулой  $C_{60}$  и элементарных кубических структур (ПК, ГЦК), в узлах которых находятся фуллерены. Угловые зависимости интенсивности рассеяния электронов рассчитали по уравнению Дебая, алгоритмизированному авторами работ.

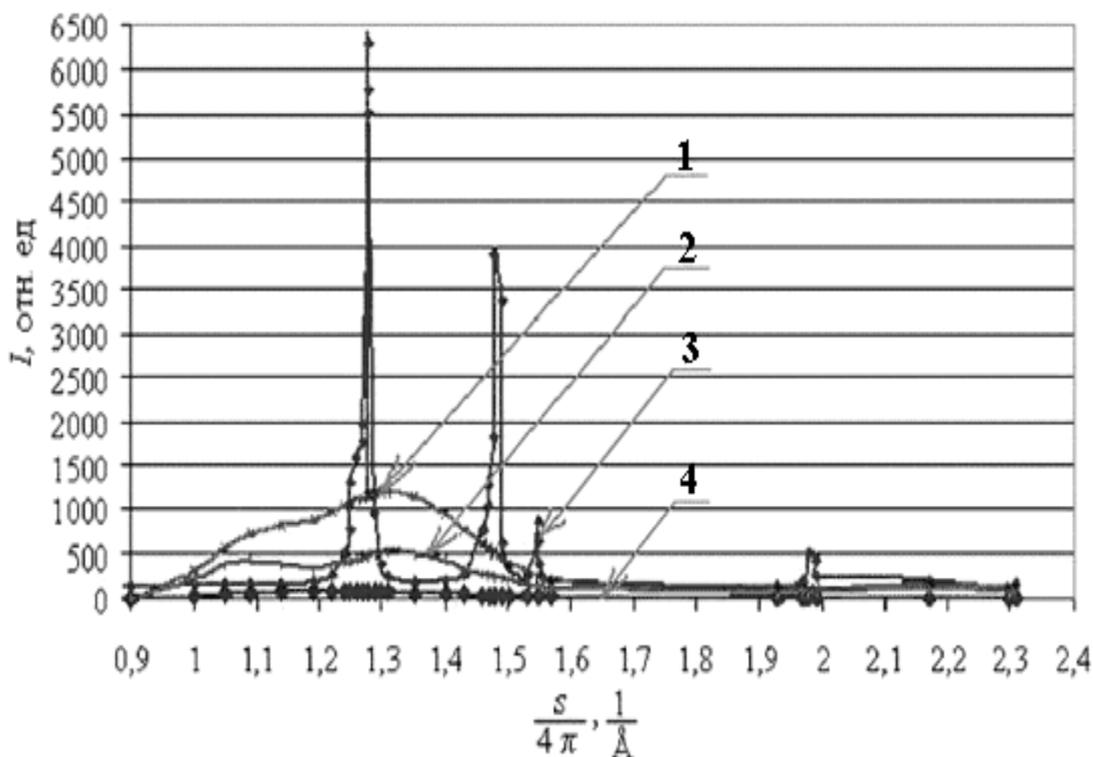
Экспериментальные данные по рассеянию рентгеновского излучения от реальных массивных образцов сопоставлены с модельными на приведенном рисунке.

Вычисленные угловые зависимости интенсивности наноразмерных кластеров показывают, что вследствие большого параметра элементарной ячейки ( $14,17 \text{ \AA}$ ) первые и наиболее сильные отражения наблюдаются при достаточно малых волновых числах.

Для элементарных ячеек кубических нанокластеров (ПК и ГЦК), в отличие от молекулы  $C_{60}$ , выявлено наметившееся расщепление максимумов теоретической интенсивности, более рельефно выраженное для простой кубической структуры и четко видное на опытной зависимости.

В целом рассчитанные интерференционные зависимости качественно согласуются с экспериментальной. Однако опытная зависимость имеет более острые интерференционные максимумы, по-видимому, вследствие того, что

рентгенограмма получена для массивного образца – фуллерита, содержащего более  $10^{18}$  молекул фуллерена  $C_{60}$ .



Интенсивность рассеяния излучения графитовыми наноструктурами:  
 1 - ГЦК; 2 - ПК; 3 - ГЦК фуллерен (эксперимент); 4 — молекула фуллерена  $C_{60}$

Таким образом, сопоставление результатов компьютерного моделирования с данными дифракционного эксперимента показало зависимость параметров - положения, высоты и ширины максимумов интенсивностей рассеяния излучения и, следовательно, структурных факторов от размеров рассеивающих областей в нанодиапазоне.

В заключение отметим, что тщательно изученная экспериментально система из атомов углерода является модельной и при замене рассеивающих центров (например, на никель) позволит вскрыть дополнительные особенности и механизмы процессов катализа.

Ширев М.Ю., студент  
Лебедев В.А., проф., д-р хим. наук

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАРНАЛЛИТА

Карналлит является одним из основных источников сырья для получения магнезия электролизом в нашей стране. Это обусловлено большими природными запасами карналлита и сравнительно несложной технологией его обезвоживания и подготовки для электролитического получения магнезия.

В мире магнезий получают из самого различного сырья. К примеру, в Канаде его получают из магнезита (содержание магнезия в нем – 28,6%), в Китае из доломита (12-13%), в Израиле - из рассолов Мертвого моря (4-5%), в Норвегии - из морской воды. Перспективным сырьем является серпентинит (отходы производства асбеста), который содержит около 24% магнезия. В г. Асбест строится магнезиевый завод, сырьем для которого будет служить серпентинит. Естественно, что для каждого вида сырья существует собственная технология его переработки в конечный продукт.

При получении магнезия из карналлита образуется большое количество солевых отходов в виде отработанного магнезиевого электролита (ОМЭ). Складирование и хранение этих отходов требует больших затрат, а также является причиной засоления почвы.

Одним из направлений утилизации ОМЭ является переработка его на синтетический карналлит, который представляет собой хорошо освоенное сырье для производства магнезия. При наличии резервных мощностей по производству магнезия и рынков его сбыта такой вариант использования солевых отходов является одним из самых эффективных, поскольку синтез карналлита не требует значительных капитальных затрат.

Для получения синтетического карналлита кроме ОМЭ требуется хлормагнезиевый раствор. В качестве последнего применяют растворы различного происхождения. Это могут быть растворы газоочистки магнезиевых заводов, хлормагнезиевые щелока, получающиеся при переработке природного карналлита на калийные удобрения и др.

В рамках данного (конверсионного) способа существует ряд технологических схем. Основная из них, так называемая «длинная» схема, предполагает возврат маточного раствора на стадию синтеза карналлита после отделения его от продукта – кристаллического карналлита. По этой схеме производился карналлит на украинском заводе «Хлорвинил» и планируется получать его на строящемся магнезиевом заводе ОАО «Русский магнезий» в г. Асбест. По другой схеме получение маточного раствора не предусмотрено, и карналлит получают практически сухим, что не требует дополнительных операций для отделения жидкой фазы. Так же к преимуществам данной схемы можно отнести простоту аппаратного оформления и ее компактность, т. к. в отличие от «длинной» схемы исключены стадии и оборудование для растворения ОМЭ, осветления

раствора от шлама, сгущения карналлита, упаривания раствора. Эта схема сравнительно нова и пока промышленно не реализована.

На кафедре металлургии легких металлов УГТУ – УПИ проведены опыты по получению синтетического карналлита в рамках второй («короткой») схемы. Целью этих экспериментов было установление параметров процесса, которые позволили бы получить синтетический карналлит, отвечающий требованиям, предъявляемым к данному продукту магниевой промышленностью.

Исходными материалами для опытов служили отработанный магниевый электролит и хлормagneиный раствор, который использовали 2 типов:

1) полученный после выщелачивания серпентинита соляной кислотой и очищенный от примесей в научно – исследовательском центре ОАО «Русский магний»; 2) карналлитовый маточный раствор, оставшийся после ранее проделанных опытов по синтезу карналлита по «длинной» схеме. Химические составы исходных материалов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав ОМЭ

Компонент	KCl	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Mg	MgO	H <sub>2</sub> O
мас. %	69,8	21,8	3,7	1,9	1,4	0,7	0,6

Таблица 2

Химический состав раствора, г/л

Тип раствора/Компонент	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
1) Очищенный хлормagneиный раствор	285,6	11,1
2) Карналлитовый маточный раствор	404,6	27,7

В рамках данной работы проведено 6 опытов, различающихся между собой по отношениям компонентов в реакционной смеси, температурному режиму процесса, продолжительности опыта, фракционному составу ОМЭ.

В опытах 1 и 2 ОМЭ подвергался истиранию до порошкообразного состояния, причем размер частиц ОМЭ в 1-м опыте меньше. Для опытов 3-6 дробленый электролит классифицировали на 3 фракции. Выход фракций приведен в табл. 3.

Таблица 3

Выход фракций ОМЭ

Фракция, мм	+0,315	-0,315 - +0,1	-0,1
Выход, %	56,9	25,5	17,6

Для опытов взяли фракцию -0,315 - +0,1 мм. Выбор объясняется тем, что в этой фракции содержание Mg<sub>мет</sub> и MgO заметно понижено. Магний концентрируется в крупной фракции, а его оксид в мелкой.

В 3 и 4-м опытах исходный хлормagneиный раствор выпаривали до нужной концентрации, в 6-м опыте карналлитовый маточник подвергался очистке от иона  $\text{Ca}^{2+}$  с помощью сульфата магния.

В опыте 3 перемешивание реакционной смеси было менее интенсивным. Условия проведения опытов по получению синтетического карналлита представлены в табл. 4.

Таблица 4

Условия проведения опытов по синтезу карналлита

№ оп.	Количество загруженных компонентов			Условия получения синтетического карналлита				
	ОМЭ, г	Р-р $\text{MgCl}_2$ , г	Конц. р-ра, г/л	$T_{\text{нач}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{кон}}$	Длительность опыта, мин	Ж/Г
1	31,0	97,4	291,5	99	127	54	60	3,14
2	31,0	97,4	291,5	97	128	56	60	3,14
3	28,8	100,0	285,6	110	128	68	70	3,47
4	32,8	98,5	308,8	105	126	59	60	3,00
5	38,1	100,0	404,6	117	129	61	80	2,62
6	37,4	92,4	436,8	119	122	55	70	2,47

Состав синтетического карналлита в основном определяется составом исходной реакционной смеси, поступающей на синтез, соотношением хлоридов калия и магния на стадии синтеза и концентрацией хлорида магния в исходном хлормagneином растворе.

По известным составам исходных компонентов (ОМЭ и хлормagneиного раствора) и соотношениям этих компонентов были вычислены составы исходных реакционных смесей и продуктов синтеза карналлита.

В табл. 5 приведено расчетное содержание компонентов в продуктах синтеза карналлита, а также рассчитан выход продукта из реакционной смеси.

Таблица 5

Расчетные составы продукта при синтезе карналлита

KCl	NaCl	$\text{MgCl}_2$	$\text{CaCl}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	проч.	Выход прод., %
25,73	8,04	29,28	1,74	34,41	0,81	65,5
25,73	8,04	29,28	1,74	34,41	0,81	65,5
24,16	7,65	29,73	1,87	36,55	0,03	65,0
26,57	8,41	30,27	1,97	32,75	0,04	66,0
25,36	8,02	31,23	2,83	32,52	0,04	76,4
28,99	9,17	35,65	1,50	24,65	0,04	69,8

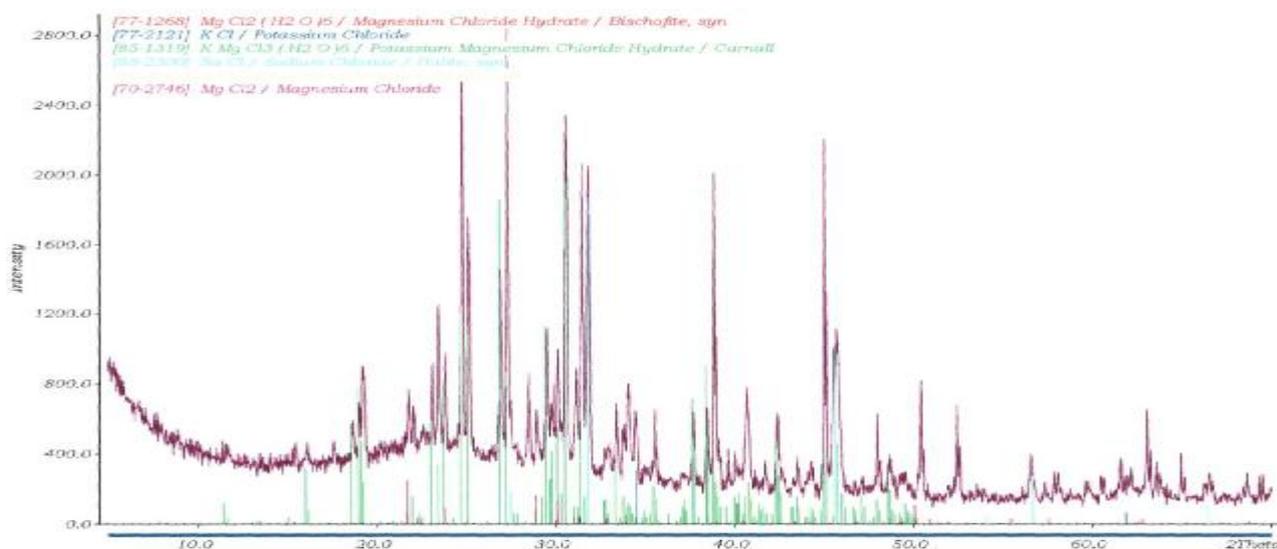
Высокое отношение Ж/Т в реакционной смеси требует выпаривания большого количества воды для получения сухого продукта. Поэтому это отношение должно быть небольшим.

По окончании каждого опыта отбирали пробы продукта. Каждая проба отдавалась на рентгенофазовый анализ в ИХТТ УрО РАН. Результаты анализа представлены в табл. 6. На рисунке изображена штрих-рентгенограмма продукта для опыта 1.

Таблица 6

Результаты РФА, мас. %

Фаза	Образец					
	1	2	3	4	5	6
$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	84	81	67,5	78,2	49,5	80,6
NaCl	10	11	17,8	12,1	7,1	12,2
KCl	2	5	8,1	6,5	0,7	1,8
$KCl \cdot MgCl_2$	-	-	-	-	35,8	-



Штрих-рентгенограмма продукта опыта 1

Присутствие в продукте опыта 5 безводного карналлита ( $KCl \cdot MgCl_2$ ) обусловлено повышенной температурой процесса. Таким образом, по данной технологии возможно получение частично обезвоженного карналлита, что упрощает и удешевляет стадию дальнейшего обезвоживания.

Условия нагрева заметно влияют на качество получаемого продукта. Наиболее приемлемыми можно считать медленный нагрев до 120-130°C с последующим снижением температуры.

Образование синтетического карналлита, близкого по составу к обогащенному карналлиту, происходит при соотношении хлорида калия к хлориду магния равному или близкому к стехиометрическому соотношению масс в обогащенном карналлите  $KCl/MgCl_2=0.781$ .

При избытке ОМЭ в синтетическом карналлите (опыты 1-4) наблюдается повышенное содержание хлоридов калия и натрия.

Синтез карналлита путем растворения ОМЭ в хлормагниевого растворе происходит лучше при использовании хлормагниевого раствора с меньшей начальной концентрацией хлорида магния порядка 290 г/л (24%) и при более высоких температурах. Использование на начальном этапе синтеза хлормагневых растворов с высокой концентрацией  $MgCl_2$  порядка 400 г/л (31%) приводит к неполной конверсии ОМЭ и хлорида магния в синтетический карналлит. Причиной этого может быть низкая растворимость хлорида калия в концентрированных растворах хлорида магния и малое количество жидкой фазы, к тому же уменьшающееся при испарении воды. В связи с этим целесообразно синтез карналлита проводить сначала с использованием менее концентрированных хлормагневых растворов с последующим упариванием воды из реакционной массы. Однако использование более концентрированных хлормагневых растворов на стадии синтеза снижает энергозатраты на упаривание реакционной смеси.

Чем меньше крупность частиц отработанного электролита, тем полнее проходит процесс синтеза карналлита и тем больше его выход. Но проведение дополнительной стадии классификации или истирания частиц ОМЭ довольно затратно, поэтому следует ограничиться фракцией -0,315 мм, при этом практически полностью исключается попадание в продукт металлического магния.

Полученный синтетический карналлит по фазовому составу и по размерам частиц аналогичен обогащенному карналлиту ОАО "Уралкалий" и синтетическому карналлиту ПО "Хлорвинил" (г. Калуж).

По результатам опытов определены основные параметры процесса синтеза карналлита:

- температура синтеза 100 - 130°C;
- начальная концентрация хлорида магния в хлормагниевого растворе, поступающем на синтез, 300 - 400 г/л или 25-31%;
- расход ОМЭ-103 - 105% от стехиометрического;
- размер частиц ОМЭ – 0,315 мкм;
- порядок проведения операций процесса синтеза:
  - 1) нагрев хлормагниевого раствора до 110 – 120°C;
  - 2) смешение нагретого до 100 – 120°C ОМЭ с хлормагниевого раствором и растворение ОМЭ;
  - 3) упаривание реакционной массы при перемешивании;

Основные параметры для контроля над процессом синтеза карналлита – температура реакционной среды и содержание в ней свободной влаги.

Таким образом, в результате исследований были определены условия проведения процесса, обеспечивающие получение кондиционного синтетического карналлита. Полученные результаты могут быть использованы при проведении укрупненных промышленных испытаний.

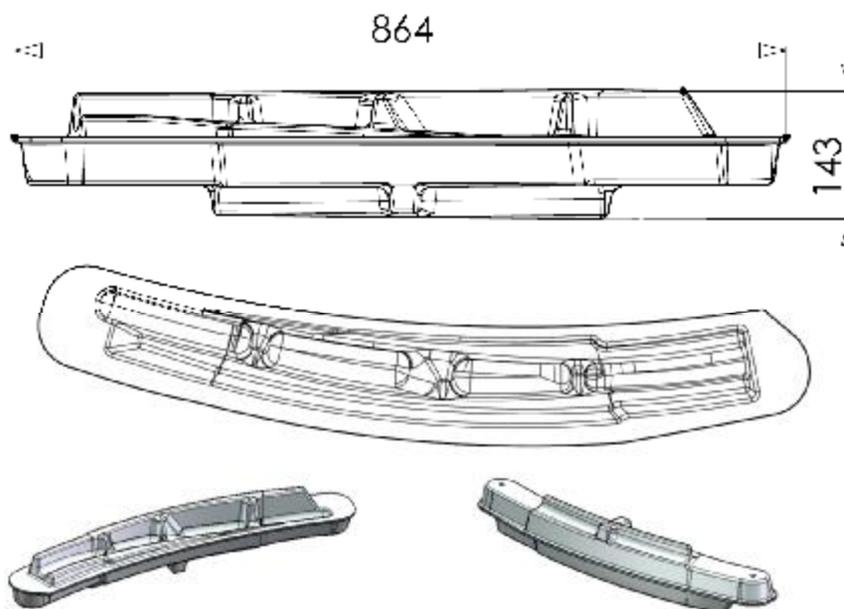
Внедрение такой технологии позволит заметно снизить себестоимость синтетического карналлита, за счет исключения энергозатрат на подогрев и упаривание маточных растворов, операции для отделения жидкой фазы. Эту технологию отличает также простота и компактность аппаратного оформления, возможность получения частично обезвоженного карналлита.

Алексеев С.Ю., студент  
Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук

## ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК ТИПА «БАЛКА ПЕРЕПЛЕТА» ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК6Т1 В УСЛОВИЯХ «ОАО КУМЗ»

В работе рассмотрено освоение производства штампованных поковок из сплава АК6 типа «балка переплета» в условиях ОАО «КУМЗ». Штампованная поковка производится в соответствии с требованиями ОСТ 1.90073-85, химический состав сплава АК6 - по ГОСТ 4784-97.

При разработке геометрии штампованной поковки был использован программный комплекс SolidWorks. При помощи этого комплекса была разработана форма штампованной поковки на основе чистовой, представленной заказчиком. Трехмерная модель была получена добавлением припусков, уклонов и скруглений в соответствии с рекомендациями ОСТ 1.92082-80. Штампованная поковка типа «балка переплета» показана на рисунке.



Эскиз штампованной поковки типа «балка переплета»

Площадь проекции штампованной поковки составляет  $1001 \text{ см}^2$ , поковка имеет штамповочный уклон  $7^\circ$ , радиусы закругления вершин 5 мм, радиусы переходов 20 мм. Масса поковки 16,3 кг, коэффициент использования металла 0,14.

При проектировании штампованной поковки был выбран метод изготовления в открытых штампах с прямой линией разъема по причине относительно более низкой стоимости изготовления данного инструмента, относительной простоты конструкции штампов, повышенной стойкости штампов, легкости удаления облоя.

Важной целью при проектировании формы окончательной штампованной поковки было также максимально упростить геометрию для

того, чтобы повысить технологичность, обеспечить отсутствие дефектов и стабильность геометрии, повысить стойкость инструмента.

В соответствии с формой штампованной поковки (с явным продольным направлением) самым рациональным и технологичным методом является использование в качестве заготовки гнutoго прессованного прутка, а операцию штамповки выполнять за два перехода - в предварительном и окончательном штампах. При этом операции гибки, поэтому предварительную штамповку производить за один нагрев в предварительном штампе, совмещенном с гибочным ручьем.

Моделирование переходов проводилось в программном комплексе DEFORM 3D, при помощи которого удалось спроектировать гибочный и предварительный ручей так, что это позволило спроектировать оптимальную геометрию формообразующих частей штампа, а также проверить разработанный технологический процесс. Моделирование позволило получить в реальных условиях производства штампованную поковку необходимой геометрии, отвечающую требованиям нормативной документации, без доработки формообразующих частей штампа и параметров технологического процесса.

После производства опытной партии штампованные поковки будут отправлены заказчику для отработки им технологии механической обработки детали и проведения стендовых испытаний. По результатам испытаний могут быть внесены изменения в геометрию детали или изменены требования к уровню механических свойств, потребуется внести изменения в формообразующие части штампа и провести корректировку технологического процесса.

Использование при разработке программных комплексов SolidWorks и DEFORM 3D позволило проработать технологический процесс для производства штампованной поковки в кратчайшие сроки (5 дней), изготовить по математическим моделям штамповый инструмент высокого качества на станках с ЧПУ, что в целом позволило избежать больших затрат на доработку и освоение штампованных поковок.

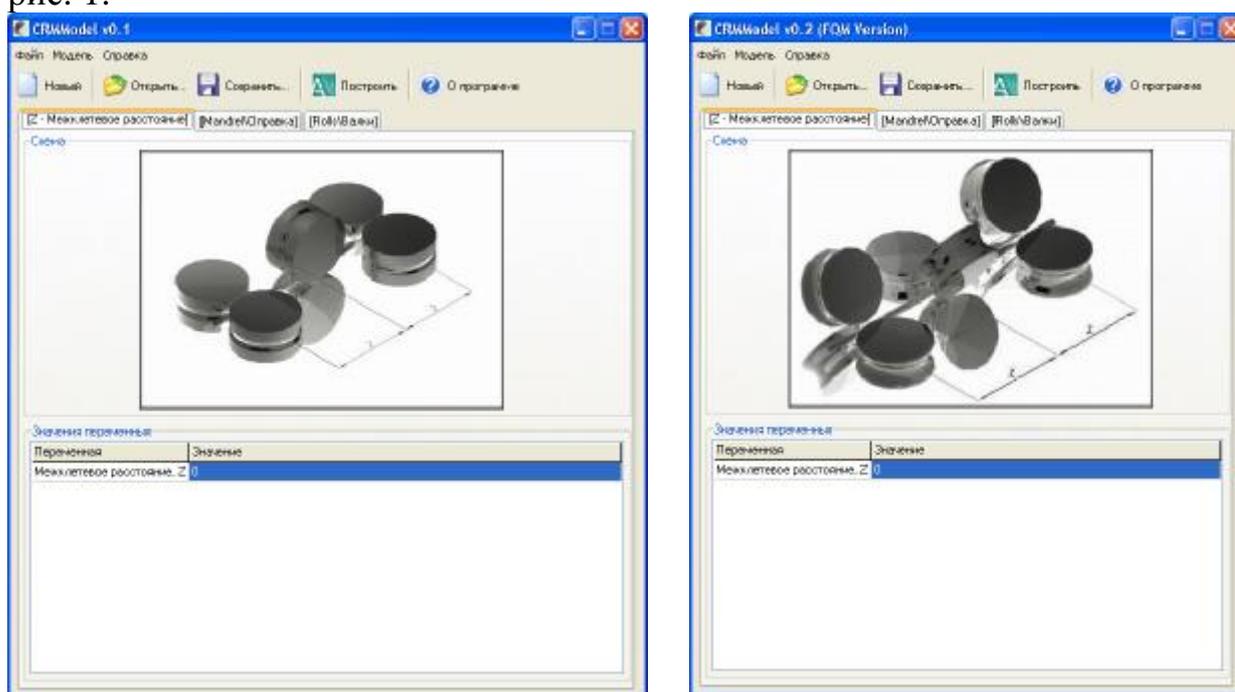
Ананьев А.В., студент  
Харитонов В.В., доц., канд. техн. наук

## ПРОГРАММА “CRMModel” ДЛЯ МКЭ – МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТРУБ НА ТРЕХВАЛКОВОМ НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ С УДЕРЖИВАЕМОЙ ОПРАВКОЙ

Актуальной задачей является разработка математической модели процесса непрерывной прокатки труб на новых станах типа PQF и FQM с трехвалковыми клетями и удерживаемой оправкой. В нашей стране первый трубопрокатный агрегат (ТПА) со станом PQF был пущен в 2008 г. на ОАО “Тагмет”. Начаты работы по сооружению стана FQM в цехе ТПЦ-1 ОАО “Северский трубный завод”. Имеются проекты строительства подобных ТПА на ПНТЗ, СинТЗ, РМЗ и других заводах России.

Создание математической модели инновационной технологии непрерывной прокатки труб осуществляется на основе ее конечно-элементного исследования с помощью пакета прикладных программ DEFORM.

В данной работе была решена задача автоматизации трудоемкой процедуры построения трехмерной модели непрерывного стана по заданной калибровке технологического инструмента. Для моделирования трёхмерной геометрической твердотельной модели валков и оправки трехвалкового непрерывного стана была разработана новая версия компьютерной программы CRMModel (Continuous Rolling Mill Model). Предыдущую версию программы автор разработал для моделирования двухвалкового непрерывного стана типа МРМ. Интерфейсы обеих программ приведены на рис. 1.



CRMModel v.0.1 (MPM Version)

CRMModel v.0.2 (FQM Version)

Рис. 1. Интерфейсы программ

Программа позволяет существенно экономить время, затраченное на создание трёхмерной модели инструмента стана. При использовании программы отпадает необходимость самостоятельно вычерчивать каждый элемент калибров валков и оправки. Процесс создания трёхмерной модели инструмента упрощается и требует минимального количества времени.

Указанная программа состоит из двух модулей, разработанных в средах программирования Borland Delphi и Autodesk VisualLISP. В начале работы программы пользователь вводит параметры калибровки технологического инструмента многоклетевого стана в главное окно приложения (рис.1). По этим данным программа создаёт геометрическую трёхмерную модель валков и оправки трехвалкового непрерывного стана и экспортирует её в удобную для пользователя среду графического пакета Autodesk AutoCAD 2008. Схема работы программы приведена на рис. 2.

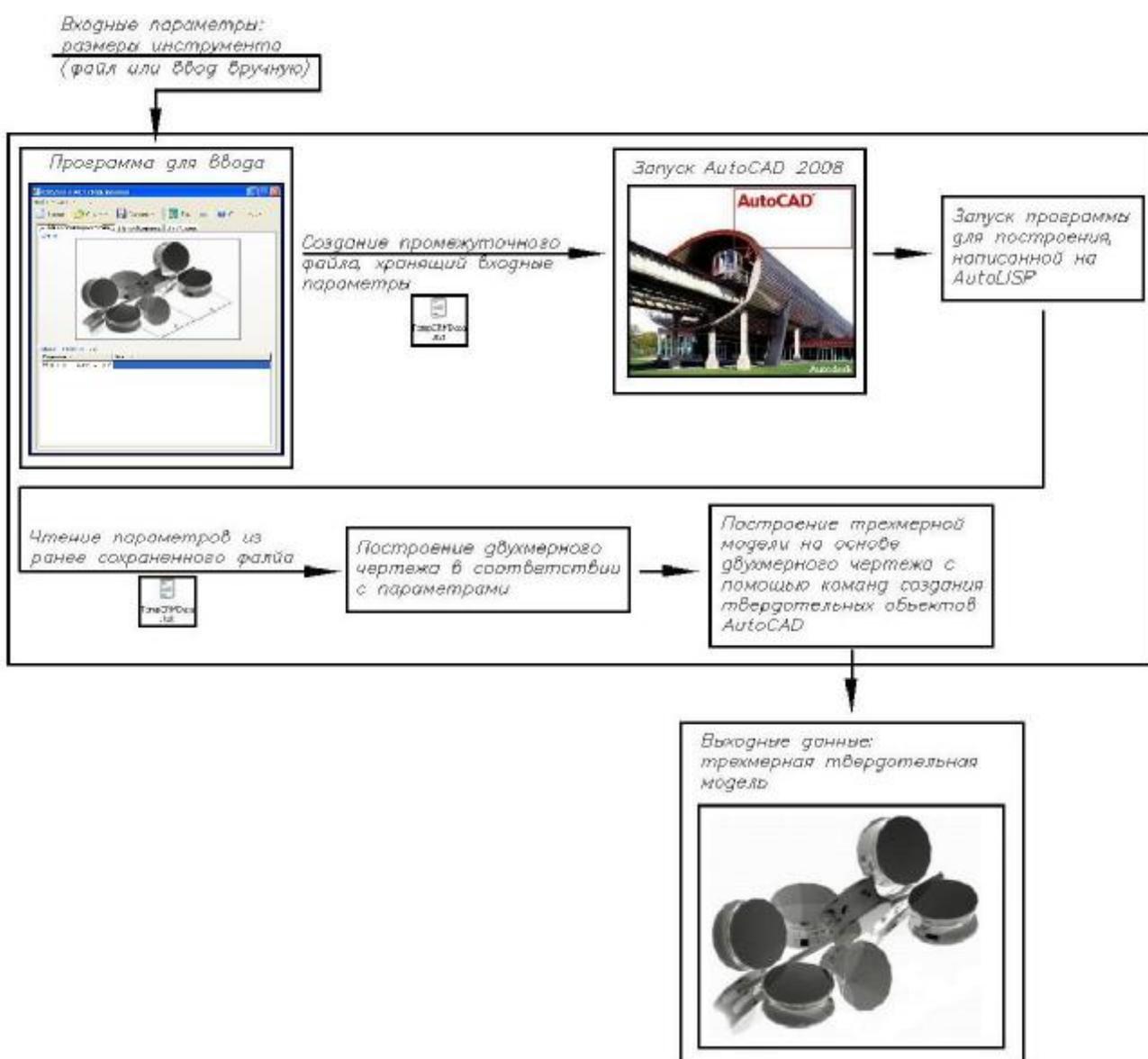


Рис. 2. Схема работы программы CRMMModel

Фрагмент трехмерной геометрической модели непрерывного стана типа FQM, построенный по калибровкам с ОАО «Северский трубный завод» с помощью программы CRMModel, приведён на рис. 3.

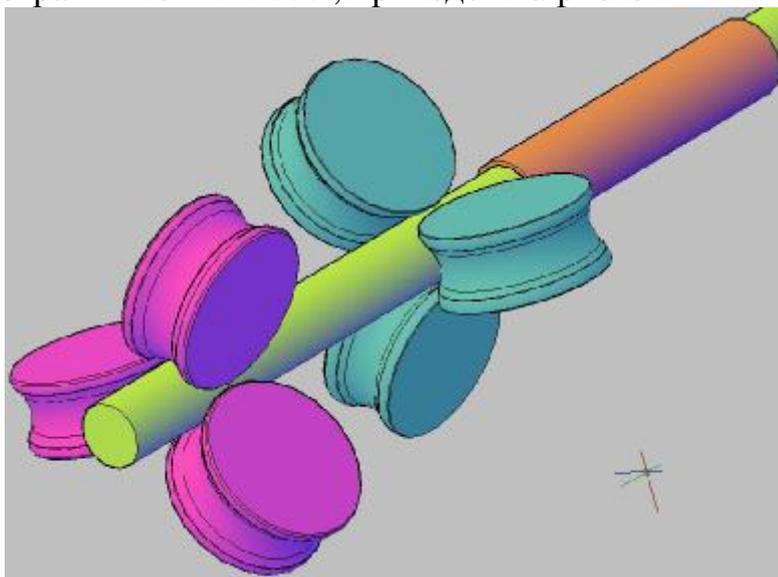


Рис. 3. Фрагмент трехмерной геометрической модели непрерывного стана типа FQM

Полученную трёхмерную модель можно использовать в любой программе моделирования технологических процессов, таких как DeFORM, QForm, LS-DYNE и др. Так, модель непрерывного стана типа FQM (рис.3) была использована в качестве исходной информации для конечно-элементного исследования технологии прокатки с использованием пакета программ DEFORM (рис. 4).

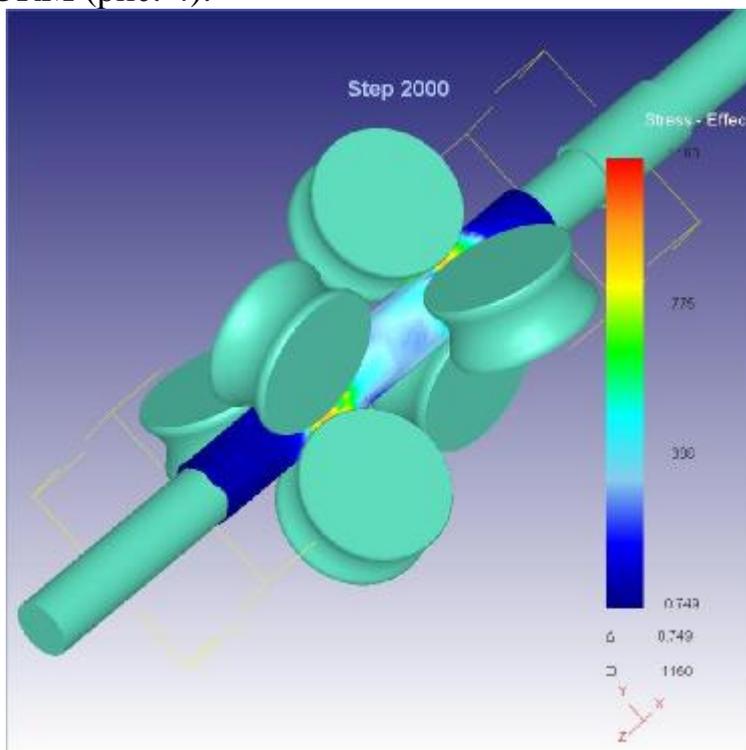


Рис. 4. Исследование технологии прокатки в пакете DEFORM

Целью исследования с помощью МКЭ-моделирования процесса прокатки на непрерывном трёхвалковом стане типа FQM является создание быстродействующей системы управления данным станом. МКЭ-моделирование позволяет с высокой степенью точности установить коэффициенты линейных уравнений, описывающих зависимость параметров напряженно-деформированного состояния от скоростного режима прокатки. На основе этих линейных зависимостей будут разработаны быстродействующие алгоритмы и программы для управления непрерывным станом в режиме реального времени.

Автоматизированное управление процессом непрерывной прокатки труб будет осуществляться при помощи АСУТП. В настоящее время подобные АСУТП уже создаются на отечественных трубопрокатных агрегатах с непрерывным станом. Однако для них до сих пор не разработаны эффективные алгоритмы и программы управления. Также открытым остается вопрос о том, какие параметры и с помощью каких измерительных средств следует измерять в процессе прокатки с целью адаптивного управления станом. Основная сложность состоит в определении параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) в условиях взаимного влияния клеток друг на друга. Кроме того, значительное влияние на НДС оказывает режим движения оправки.

МКЭ-моделирование процесса раскатки на непрерывном стане позволяет детально проанализировать напряженно-деформируемое состояние, возникающее в процессе раскатки трубы с учетом указанных выше переменных. На рис. 5 приведены эпюры распределения главных напряжений и деформаций по длине трубы.

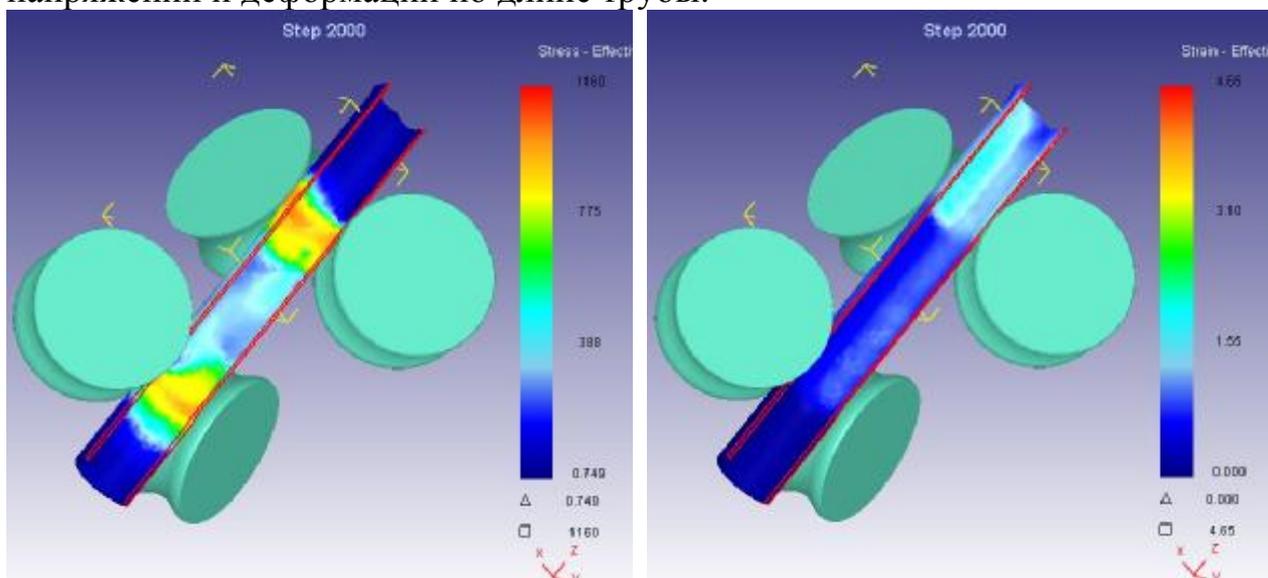


Рис. 5. Эпюры распределения главных напряжений и деформаций по длине трубы

Анализ НДС позволяет получить линеаризованную систему уравнений – математическую модель стана, пригодную для реализации управляющих воздействий в режиме реального времени. МКЭ-исследования также позволяют выделить основные факторы процесса прокатки, которые

необходимо измерять для адаптации параметров модели в реальных производственных условиях. Последнее позволит сформулировать требования к структуре и аппаратной части измерительной подсистемы разрабатываемой АСУТП.

Опыт показывает, что существующий способ управления станом в “ручном режиме” не обеспечивает стабильные условия прокатки. Так, на непрерывном стане ОАО «Синарский трубный завод» в процессе пусконаладочного периода было зафиксировано более 90 аварийных остановок стана, связанных с превышением предельных значений межклетевых усилий подпора в трубе.

Применение АСУТП, разработанной с помощью предлагаемой математической модели, позволит добиться повышения производительности и стабильности технологического процесса непрерывной прокатки труб. Помимо этого, такая система позволит повысить качество готовой продукции. С помощью данной АСУТП возможно производить контроль и управление межклетевыми натяжениями и скоростными параметрами в режиме реального времени. В таком случае уменьшается вероятность потери устойчивости черновой трубы в осевом направлении и возникновения брака типа «гармошки». Помимо этого будет достигнуто значительное уменьшение продольной разностенности труб и сокращены потери металла в концевую обрезь (в 2 раза) благодаря динамическому управлению величиной межклетевых натяжений и режимом перемещения оправки. Суммарный экономический эффект от внедрения результатов данной работы (программного обеспечения, созданного на основе МКЭ-моделирования) только на одном ТПА составит десятки млн. рублей в год.

Антоненко Л.В., аспирантка  
Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Процесс прессования является одним из основных заготовительных переделов в обработке цветных металлов. Его отличает высокая гибкость, возможность быстрого перехода на выпуск другой продукции, что особенно важно в производстве полуфабрикатов из цветных металлов, выпускаемых порой малыми партиями.

Теория процессов прессования до недавнего времени разрабатывалась применительно к определению энергосиловых параметров процесса как интегральных его показателей. В последнее время больше внимания стало уделяться определению напряженно-деформированного состояния металла в каждой точке очага деформации. Как отмечают многие исследователи, кинематика движения металла слитка в контейнере довольно сложна и зависит от большого количества параметров, в том числе от вида деформируемого материала, температуры нагрева, характера взаимодействия с инструментом и т.д.

Очень сложным образом при прессовании складываются термические граничные условия. До сих пор не сложилось единого мнения о наиболее рациональном способе их задания. Дело в том, что, несмотря на кажущуюся одинаковость схемы прессования, в производственных условиях имеются различия, которые приходится учитывать при математическом анализе процесса. Например, прессование сплавов тяжелых цветных металлов ведется в существенно неоднородном тепловом поле из-за большой разницы температур инструмента и заготовки. При прессовании алюминиевых сплавов степень неравномерности распределения температур оказывается меньше из-за возможности подогрева инструмента до температуры деформации, однако свойства самих сплавов оказываются более чувствительными к градиентам этих температур. Большая часть сплавов легко перегревается из-за тепловыделения при деформации, выходит на стадию пережога или существенной потери свойств.

Основным параметром, описывающим теплоперенос при прессовании, является коэффициент теплопередачи  $\alpha_k$ . Его определению для применения в условиях прессования посвящено очень ограниченное число работ, в частности, до сих пор не выявлены значения коэффициентов  $\alpha_k$  при больших давлениях и высоких скоростях скольжения, характерных для прессования.

Исследования показали, что коэффициенты теплопередачи в системе «алюминий и сплавы – сталь» в большой степени зависят от пары контактирующих элементов, чистоты обработки поверхности и прикладываемого давления. На рис. 1 отображен график 3, показывающий зависимость коэффициента теплопередачи при различной степени шероховатости. Исходные данные соответствуют классам чистоты, при

которых проводились испытания. Так, класс чистоты 9 соответствует шероховатости (среднему отклонению профиля)  $R_a = 0,32$  мкм, при высоте неровностей  $R_z = 1,6$  мкм. Видно, что наибольшие величины коэффициента теплопередачи достигаются при наиболее высоком из исследованных значений давления в 42 МПа.

Возрастающий характер зависимости  $\alpha_k$  от давления объясняется заполнением микронеровностей профиля поверхности контакта и улучшением теплопроводности пограничного слоя. Для продления зависимостей в область реальных значений давлений, характерных для процесса прессования (на уровне 500...1000 МПа), необходимо выполнить аппроксимацию и последующую экстраполяцию функции в область указанных давлений. Как видно из графика, для зависимости характерен вид функции, обладающей свойством насыщения: выше давления 20 МПа, приращение функции приближается к нулю. С позиции физики явления можно предположить, что при достижении давления 20 МПа за счет упругой и пластической деформации приповерхностного слоя будет достигнут полный контакт двух поверхностей теплопередачи без дальнейшего их прироста. Поэтому предлагается не аппроксимировать зависимость возрастающей функцией выше давлений 20 МПа, а принять максимально достигнутое значение  $\alpha_k = 56$  кВт/(м<sup>2</sup>\*град) для всех расчетов прессования при отсутствии налипания.

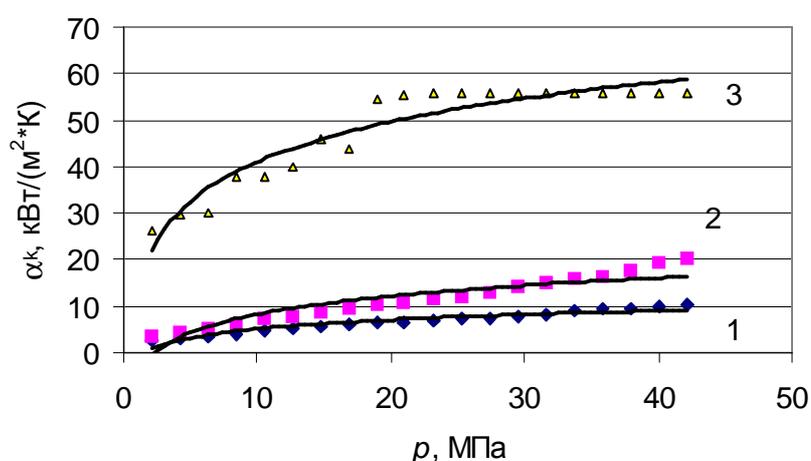


Рис. 1. Коэффициенты теплопередачи в системе сталь – алюминиевый сплав в зависимости от давления и шероховатости поверхности  $R_a$ : 1,25(1), 0,64(2), 0,32 мкм(3)

Вместе с тем при горячем прессовании алюминия и его сплавов без смазки, что часто имеет место в технологии процесса, скорее всего, возникнет интенсивное налипание металла, и для этого случая нужны особые рекомендации.

Состояние системы «алюминиевый сплав 1 – алюминиевый сплав 2» отражено на графике рис.2, откуда видно, что при тех же исходных параметрах значения коэффициента теплопередачи оказываются ниже, чем в системе «сталь – алюминиевый сплав». Этот факт можно объяснить

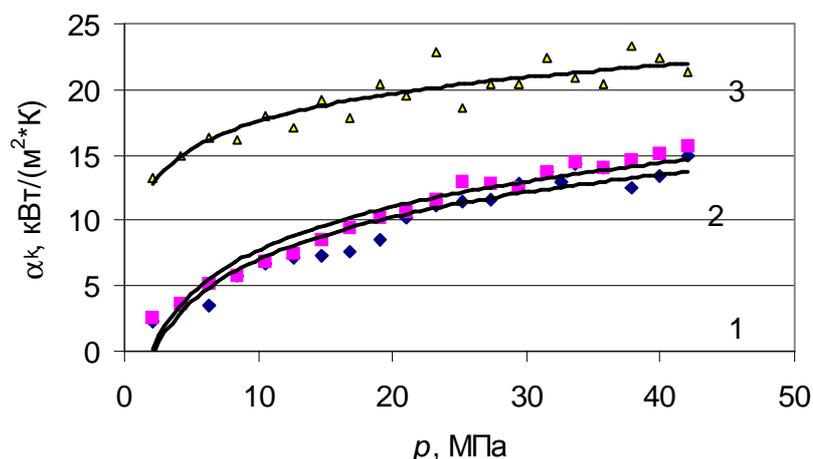


Рис. 2. Коэффициенты теплопередачи в системе «алюминиевый сплав 1 – алюминиевый сплав 2» в зависимости от давления и шероховатости поверхности  $R_a$ :  
1,25(1), 0,64(2), 0,32 мкм(3)

влиянием оксидных пленок алюминия, являющихся теплоизолятором и создающим дополнительное сопротивление заполнению неровностей рельефа контактной поверхности. В этом случае максимальное достигнутое значение коэффициента теплопередачи равно 23 кВт/(м<sup>2</sup>град), что ниже, чем для первой рассмотренной пары примерно на 60%.

Следует отметить, что механизм пластического смятия выступов и заполнения впадин на контакте более сложен, чем описанная выше модель. Для смятия выступов и формирования больших пятен контакта важным является попадание их в зоны скольжения, в зонах прилипания интенсивность смятия мала, а значит, и мал теплообмен.

Интенсивное скольжение при прессовании претерпевают слои металла, примыкающие к игле, к стенкам контейнера при прямом методе, к матрице, если прессование осуществляется без мертвых зон, т.е. через коническую матрицу. Для контактной поверхности заготовки на уровне пресс-шайбы характерно, скорее всего, состояние прилипания до тех пор, пока не наступит стадия образования пресс-утяжины, связанная с интенсивным перемещением металла вдоль этой поверхности. Данные процессы являются до сих пор слабо изученными, что не позволяет достаточно точно назначать граничные параметры.

Выводы. Обработка экспериментальных данных показала, что коэффициенты теплопередачи при прессовании алюминиевых сплавов при прямом контакте с поверхностью инструмента могут назначаться на уровне 56 кВт/(м<sup>2</sup>град). При наличии налипания коэффициенты теплопередачи уменьшаются примерно на 60%.

Бабайлова А.Н., студент  
Буркин С.П., проф., канд. техн. наук

## НОВАЯ СХЕМА КОВКИ СУТУНОК ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ

Тугоплавкие металлы и сплавы являются идеальной основой для создания жаропрочных сплавов, которые могут использоваться в любой отрасли промышленности, где необходимы прочные материалы, способные работать под нагрузкой при высокой температуре. Это явление и привлекает большой интерес к тугоплавким материалам (молибдену, вольфраму).

Прочность тугоплавких материалов повышается при образовании твердых растворов за счет легирования. Также прочность материала можно повысить еще дополнительно путем наклепа. Поэтому возможность использования наклепанных сплавов определяется взаимосвязью между степенью наклепа, сообщенной металлу для повышения его жаропрочности, и максимальной температурой, при которой металл с такой степенью наклепа способен длительно противостоять напряжениям без рекристаллизации.

Схема всесторонней ковки сутунок из тугоплавких материалов относится к свободной ковке поковок типа плит и пластин из цилиндрических литых или предварительно деформированных заготовок. Оно может быть использовано при обработке малопластичных металлов, а также при изготовлении пластин и плит с однородными и изотропными в объёме механическими свойствами.

Способ включает в себя следующие операции:

- осесимметричную осадку на плоских бойках,
- обжатие осажённой заготовки в направлении диаметра,
- ковку обжатой заготовки с восстановлением формы и размеров исходной заготовки,
- расплющивание цилиндрической поковки на плоских бойках,
- кузнечную протяжку с получением плиты или пластины заданных размеров.

Осесимметричную осадку нагретой до ковочной температуры заготовки диаметром  $d_0$  и высотой  $h_0$  между двумя плоскими бойками осуществляют до высоты  $h_1$  (рис.1).

Осажённую цилиндрическую заготовку манипулятором кантуют на  $90^\circ$  и помещают между радиальными вырезными бойками с радиусом кривизны  $R = d_0/2$ . Обжатие осуществляется до полного смыкания плоских поверхностей бойков (рис. 2).

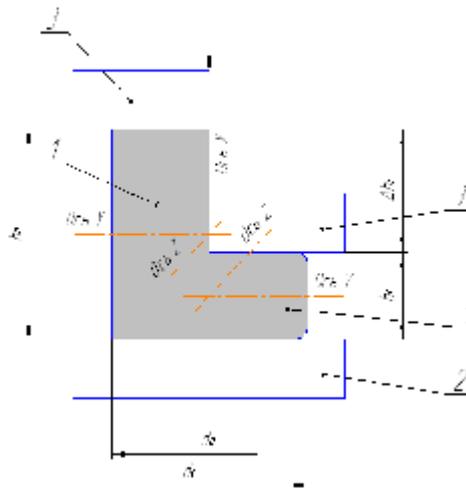


Рис. 1. Схема осесимметричной осадки цилиндрической заготовки на плоских бойках:  
 1 – заготовка; 2 - нижний неподвижный плоский боек;  
 3 - верхний подвижный плоский боек; 4 - неподвижный радиальный вырезной боек;  
 5 - подвижный радиальный вырезной боек; 6 - пластина

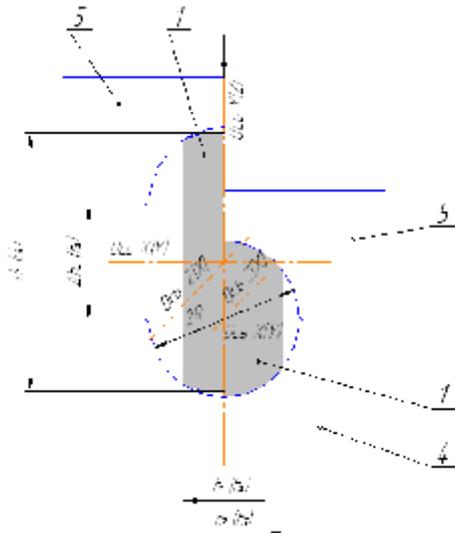


Рис. 2. Схема обжатия осаживаемой заготовки по диаметру в радиальных вырезных бойках

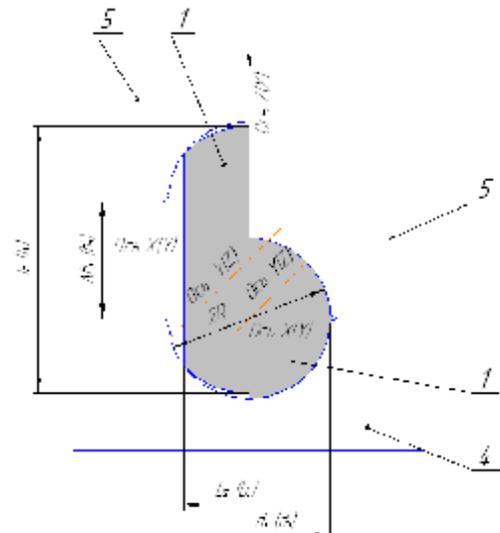


Рис. 3. Схема второго обжатия заготовки в радиальных вырезных бойках в направлении перпендикулярном осям

Обжатие по диаметру осаживаемой заготовки в радиальных вырезных бойках смягчает схему напряженного состояния, приближая её к схеме всестороннего сжатия, что позволяет избежать разрушения при ковке даже малопластичных металлов и сплавов.

Эту операцию проделывают еще раз, но обжатие происходит в перпендикулярном направлении с восстановлением формы и размеров исходной заготовки. Следует учесть, что радиус кривизны вырезных бойков равен радиусу сечения исходной заготовки (рис. 3).

Второй цикл ковки, как и первый, начинают с осесимметричной осадки, при этом заготовку кантуют на 90°. После чего осуществляют операцию расплющивания на плоских бойках (рис. 4). Расплющивание цилиндрической поковки после последнего цикла обработки проводят в

направлении оси последней осесимметричной осадки на плоских бойках (рис. 5).

Расплющенную поковку после правки боковых граней на плоских бойках подвергают разгонке ковкой через пластину (рис. 6) и последующей протяжке на плоских бойках в направлении оси цилиндрической поковки, подвергаемой расплющиванию (рис. 7) до заданных размеров.

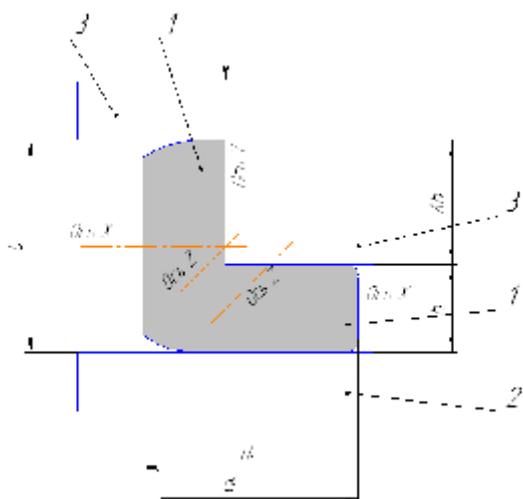


Рис. 4. Схема осесимметричной осадки поковки, полученной после предыдущего цикла обработки

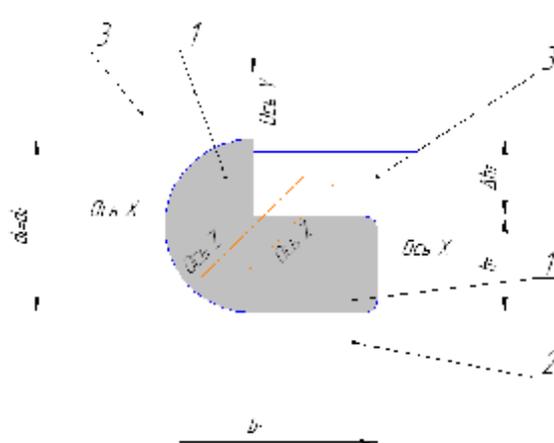


Рис. 5. Схема операции расплющивания цилиндрической поковки в направлении оси осадки последнего цикла обработки

Цикл обработки может быть многократно повторен для получения заданного коэффициента уковки, достаточного для обеспечения однородных и изотропных в объеме заготовки механических свойств. Понятие коэффициента уковки оценивается в цикле величиной  $y_{\text{ц}} = \frac{h_0 \cdot d_1 \cdot l_2}{h_1 \cdot d_0 \cdot d_0}$ .

Суммарный коэффициент уковки определяют как произведение коэффициентов уковки всех выполненных циклов.

Затем осуществляют правку боковых граней на плоских бойках и затем формируют плиту или пластину заданных размеров кузнечной протяжкой (рис. 5).

Предложенный способковки позволяет полностью выровнять степени деформации в направлении трех взаимно перпендикулярных осей заготовки при любом количестве циклов деформации. Предписанное расплющивание в направлении оси последней осадки и последующая протяжка окончательно выравнивают осевые деформации и обеспечивают однородные и изотропные механические свойства металла откованных плит или пластин.

Главной особенностью рекомендованной схемыковки является ее цикличность с периодическим восстановлением исходной формы цилиндрической заготовки. Все операцииковки проходят в условиях благоприятного напряженного состояния, при которых вероятность разрушения даже при высоких степенях деформации минимальна.

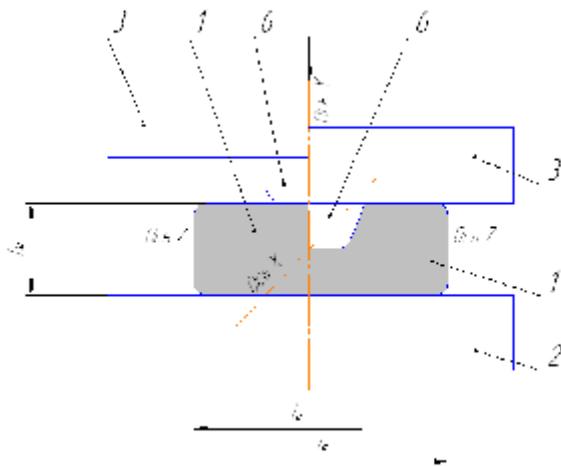


Рис. 6. Схема разгонки расплющенной заготовки ковкой через пластину

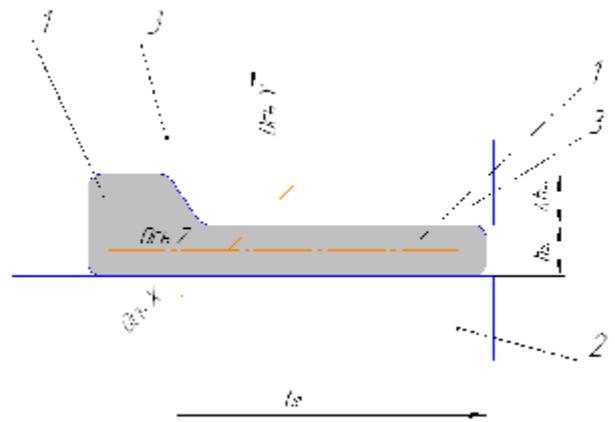


Рис. 7. Схема варианта протяжки при формировании плиты или пластины заданных конечных размеров

Рассмотренный технологический процесс трехстороннейковки прокатных заготовок из сплава ЦМ-2А осуществляется на ковочном гидравлическом прессе 2,5 МН, снабженном герметичной камерой для применения защитных атмосфер (аргон). В камере смонтированы нагревательная элеваторная печь (1600°С) и автоматизированный манипулятор. В рамках данной работы спроектирован ручной манипулятор, позволяющий реализовать все описанные транспортные операции и кантовки заготовок. Штатный автоматизированный манипулятор осуществляет передачу заготовок из печи к бойкам пресса и обратно для промежуточных нагревов.

Бекреев А.А., студент  
 Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИ ВОЗМОЖНОГО ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК

При анализе предлагавшихся ранее полей скоростей или перемещений металла в очаге деформации при прессовании обнаружено два существенных недостатка.

Во-первых, выявлен подбор таких подходящих функций для описания скоростей перемещений, которые не позволяют описать стыковку пластических и жестких областей без разрывов. Влияние разрывов скоростей обычно учитывают на стадии подсчета энергосиловых параметров. Известно, что на линиях разрывов удается подсчитать степень деформации, и она является конечной величиной, поэтому удается рассчитать как накопленную деформацию, так и диссипативную функцию в виде мощностей сил среза, и это позволяет завершить силовой расчет. Однако на линиях разрыва касательные составляющие скорости приобретают бесконечно большие значения, что не позволяет оценить их вклад в формирование реальных скоростных параметров процесса.

Во-вторых, некоторые предложенные варианты описания поля скоростей не являются кинематически возможными, т.е. они не удовлетворяют кинематическим граничным условиям.

По методике Л.Г. Степанского в пространстве сферических координат задается возможное поле скоростей перемещений, на основе чего определяется поле скоростей деформаций. Однако проверка показывает, что граничные условия в этой схеме выполняются только для случая прессования прутка. При прессовании трубы граничные условия на поверхности иглы не выполняются, что не позволяет считать это поле кинематически возможным. Ниже будут приведены доказательства этого положения.

По методике, предложенной Л.Г. Степанским, в пластической зоне распределение компонентов девиатора скоростей деформации  $\xi_{ij}$  ( $i, j = r, \theta, \varphi$ ) при использовании сферической системы координат выглядит следующим образом:

$$\xi_{\varphi\varphi} = 2v \frac{b^2 - c^2}{(r^2 - c^2)^2} \rho \cdot \cos \theta; \quad (1)$$

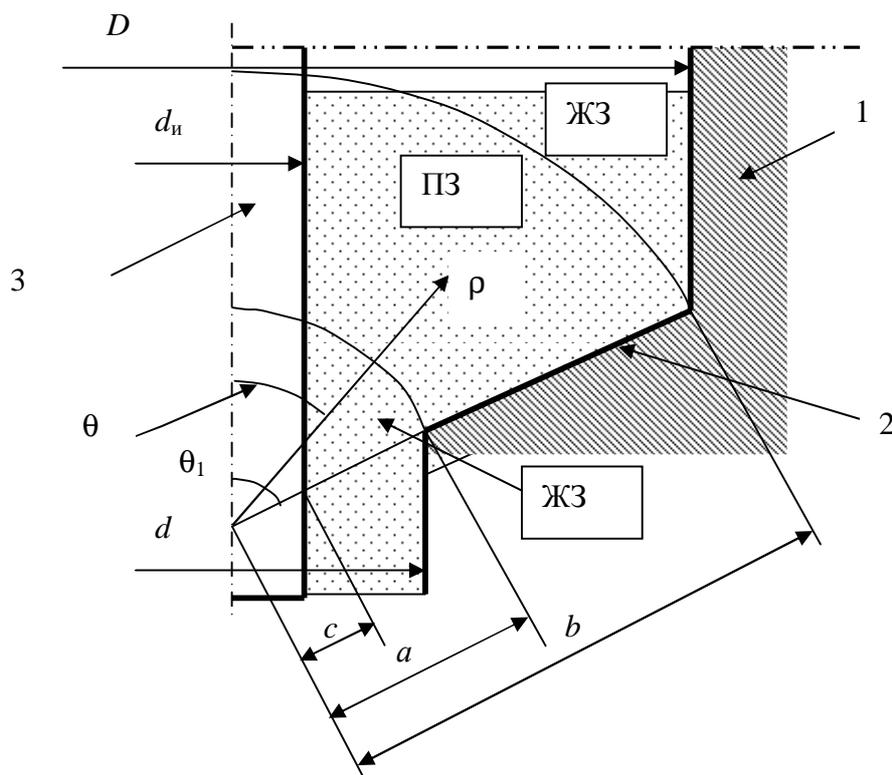
$$\xi_{\theta\theta} = -v \frac{(b^2 - c^2)(\rho^2 \sin^2 \theta + c^2 \sin^2 \theta_1) \cos \theta}{\rho(\rho^2 - c^2)^2 \sin^2 \theta}; \quad (2)$$

$$\xi_{jj} = -\xi_{rr} - \xi_{\theta\theta}; \quad (3)$$

$$\xi_{\rho\theta} = -v \frac{(b^2 - c^2)}{\rho(\rho^2 - c^2)^3 \sin \theta} [c^2(5\rho^2 - c^2) \sin^2 \theta_1 - \rho^2(3c^2 + \rho^2) \sin^2 \theta], \quad (4)$$

где  $a = \frac{d}{2 \cdot \sin \theta_1}$ ;  $b = \frac{D}{2 \cdot \sin \theta_1}$ ;  $c = \frac{d_n}{2 \cdot \sin \theta_1}$ ,  $v$  - скорость перемещения Пуансона.

Здесь использована система обозначений геометрических параметров очага деформации, отображенная на рисунке.



Очаг деформации прессования полой заготовки в сферической системе координат  $\rho\theta\varphi$ : ПЗ – пластическая зона; ЖЗ – жесткие зоны; 1 – контейнер; 2 – матрица; 3 - игла

Радиусы-векторы  $a$  и  $b$  ограничивают положение пластической зоны относительно жестких зон, а радиус-вектор  $c$  ограничивает эту зону относительно иглы пресса. Радиус-вектор  $\rho$  фиксирует текущую координату точки при угловой координате  $\theta$ . Угол  $\theta_1$  задает наклон образующей матрицы или угол естественного истечения металла.

Как видно из уравнения (3) условие несжимаемости в системе выполняется, т.е. по этому признаку система соответствует требованиям, предъявляемым к кинематически возможным полям. Выполнение другого требования – соответствия кинематическим граничным условиям, требует проверки.

Скорости деформации  $\xi_{\rho\rho}$  соответствует скорость перемещения  $v_\rho$ , определяемая формулой:

$$v_\rho = v \cdot \cos\theta \frac{b^2 - c^2}{(\rho^2 - c^2)^2}. \quad (5)$$

Очевидно, что область определения аргументов  $\rho$  и  $\theta$  должна находиться внутри пластической зоны, включая ее границы. Допустим  $\rho = b$ , тогда из последней формулы следует, что  $v_r = v \cdot \cos q$ . Перейдем от

сферических координат к цилиндрическим координатам и рассчитаем компоненту  $v_r$  через компоненту  $v_\rho$ :

$$v_r = v_\rho \cos\theta = v \cos^2\theta. \quad (6)$$

Одним из граничных условий является равенство нулю нормальной составляющей скорости на границе металла и инструмента. В частности, на границе с иглой  $v_r$  является нормальной составляющей. Вместе с тем, как это видно из последней формулы, функция  $v_r$  обращается в ноль только при  $\cos^2\theta = 0$ , т.е. при  $90^\circ$ . Угол  $\theta$  не может быть равен  $90^\circ$  ни в одной точке очага деформации, поэтому  $v_r$  не равно нулю ни в одной из точек очага деформации, в том числе и на поверхности иглы.

Последнее положение противоречит кинематическому граничному условию на поверхности иглы, поэтому в целом, данное поле скоростей не является кинематически возможным.

Можно показать, что на поверхности матрицы граничные условия выполняются. Поэтому ошибка при расчете реального поля скоростей равна нулю на поверхности матрицы и нарастает по мере удаления текущей точки от этой поверхности по направлению к игле.

Следует отметить, что при прессовании не полый заготовки, а прутка без отверстия, такой некорректности не возникает, поскольку в этом случае поверхность иглы отсутствует, и решение Л.Г. Степанского является корректным.

Витькин Д. А., аспирант  
Богатов А.А., проф., д-р техн. наук

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРАНСПОРТНОГО МЕТАЛЛА ОАО «НТМК» НА КАЧЕСТВО ВАГОННЫХ ОСЕЙ

В работе представлен анализ влияния технологической схемы и режимов производства транспортного металла ОАО «НТМК» на качество вагонных осей, производимых в условиях ОАО «НПК Уралвагонзавод». Для повышения эффективности производства и стабилизации качества исходных осевых заготовок и черновых железнодорожных осей ОАО «НТМК» совместно с ОАО «НПК Уралвагонзавод» исследовали возможность использования непрерывно-литой заготовки сечением 300×360 мм и круг диаметром 430 мм из конвертерной стали комбината.

На ОАО «НПК Уралвагонзавод» осуществляют крупносерийное производство вагонных осей радиальной ковкой катаной заготовки квадратного сечения 215×215 мм. Поскольку заготовку обжимают одновременно с четырех сторон, в очаге деформации создается благоприятная схема течения металла, уменьшающая вероятность возникновения или развития поверхностных дефектов. Ковку на РКМ ведут в условиях стабильного температурного режима. При правильном выборе режима ковки можно полностью компенсировать падение температуры разогревом за счет теплового эффекта пластической деформации.

Первоначально исходной заготовкой для вагонной оси являлась осевая заготовка сечением 215×215 мм и длиной 1650 мм из стали ОС по ГОСТ 4728-96, произведенной мартеновским способом. Технология получения включала разливку стали в изложницы и дальнейшую прокатку полученного слитка на блюминге «1150» и затем на рельсобалочном стане. При металлографическом исследовании образцов-шлифов забракованных чистовых осей обнаружены такие виды дефектов, как «корочка», макроструктура с участком повышенной травимости (скопление неметаллических включений), «раскатанная трещина» и «раскованное загрязнение».

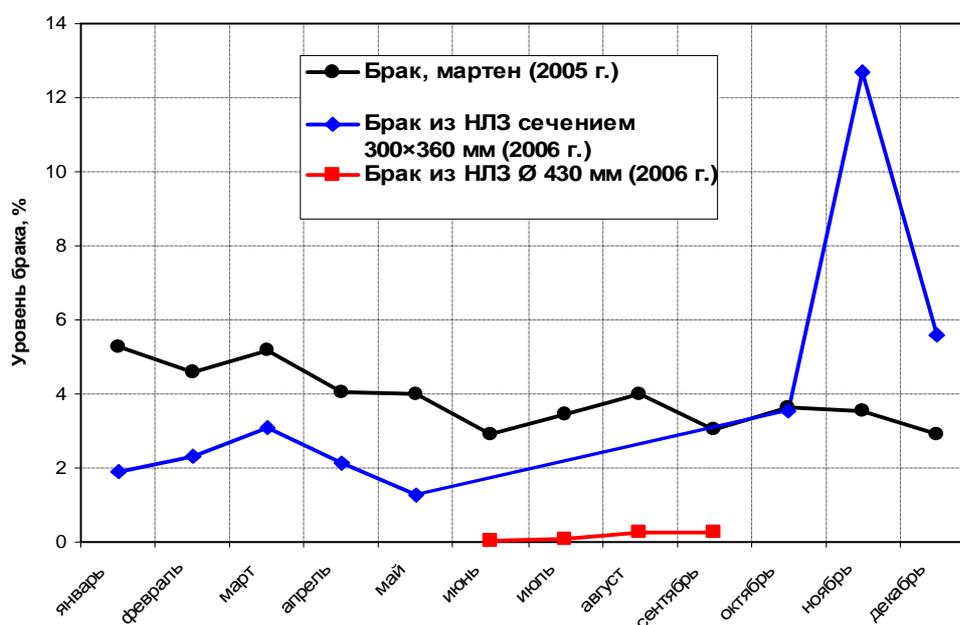
Более перспективной является технология производства осевой заготовки из непрерывно-литых слитков 300×360 мм, так как уменьшается расход металла на 190–200 кг/т и трудозатраты при прокатке, минуя обжимной стан, только на рельсобалочном стане. Применение десульфурации чугуна и внепечной обработки стали с вакуумированием способствует повышению качества макро- и микроструктуры металла.

Исходная сталь подвергалась вакуумированию на циркуляционном вакууматоре, удаление водорода в стали составляло до 90%, кислорода – 50–60%, азота – до 30%. Химический состав готовой стали представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали марки ОС										
Содержание химических элементов, %										
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	V
Химический состав стали по ковшевой пробе										
0,478	0,72	0,24	0,018	0,004	0,029	0,02	0,096	0,003	0,02	0,009
Химический состав стали ОС по ТУ 3100-069-01124328-2004										
0,42	0,60	0,15	не более		не более			-	0,015	-
-	-	-	0,025	0,025	0,300	0,300	0,250		-	
0,50	0,90	0,35							0,04	

При комиссионном осмотре заготовок опытной плавки отмечено отсутствие рисок и царапин, дефектов сталеплавильного происхождения, поверхность слитков была удовлетворительного качества – был получен положительный результат по качеству готовых осей. В результате было организовано серийное производство вагонных осей из осевых заготовок сечением 215×215 мм из непрерывно-литой заготовки сечением 300×360 мм. На рисунке представлены сравнительные данные по браку готовых осей из конвертерной и мартеновской сталей.



Динамика брака на готовых осях, выявленного на ОАО «НПК УВЗ»

В октябре-декабре 2006 г. в связи с ужесточением контроля качества по внутренним дефектам на ОАО «НПК УВЗ» начали возрастать объемы отсортировки готовых осей, изготовленных из непрерывно-литого металла. Причиной явилась повышенная центральная пористость из-за недостаточной проработки металла при прокатке в РБЦ. Коэффициент вытяжки составляет 2,34.

Проведенные работы, связанные с совершенствованием технологии производства осевой заготовки из НЛЗ сечением 300×360 мм, не дали результатов по снижению брака осей. В то же время использование непрерывно-литой заготовки диаметром 430 мм для производства осевой заготовки в июне-сентябре 2006 г. позволило существенно снизить уровень брака, но значительно усложнило технологическую схему производства (были задействованы мощности цеха прокатки широкополочных балок).

В 2007 г. была изготовлена партия осевой заготовки из непрерывно-литых слитков диаметром 430 мм, произведенная по новой технологической схеме с использованием мощности обжимного цеха. Нагрев слитков диаметром 430 мм осуществляли в нагревательных колодцах, а прокатку за пять пропусков в обжимной клетке «1150» до блюмов сечением 240×360 мм. При осмотре заготовок дефектов поверхности не выявлено.

Нагрев блюмов и прокатка заготовок сечением 215×215 мм осуществлялась в РБЦ. По результатам исследований макроструктуры образцов получено, что центральная пористость и осевая ликвация практически отсутствовали. Коэффициент вытяжки составил 3,14.

Таким образом, в результате длительной целенаправленной работы на ОАО «НТМК» удалось разработать и внедрить оригинальную технологию производства осевой заготовки для ОАО «НПК Уралвагонзавод» из конвертерной вакуумированной стали в объеме 5–6 тыс. т/мес. Однако разработанная технология изготовления осевой заготовки из круглых слитков диаметром 430 мм по схеме КЦ – ОЦ – РБЦ не является оптимальной для условий ОАО «НТМК» из-за увеличения числа промежуточных подогревов блюмов, что неминуемо приводит к потерям годного металла. Предусмотренный вывод из эксплуатации мартеновского цеха повлечет за собой демонтаж обжимного цеха. Поэтому актуальной является разработка новой схемы производства исходной литой заготовки 420х350 мм<sup>2</sup> и последующей прокатки на широкополочном стане блюма сечением 215х215 мм<sup>2</sup>.

Ильиных Р.А., аспирант  
Богатов А.А., проф., д-р техн. наук

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА НА ОАО НПК «УРАЛВАГОНЗАВОД»

Грузовые вагоны парка России, стран СНГ и Балтии, а также предприятий-собственников подвижного состава эксплуатируются на базе трёхэлементной тележки модели 18-100, рассчитанной на скорость движения 120 км/ч, состоящей из двух колёсных пар с четырьмя буксовыми узлами, двух литых рам, литой надрессорной балки, двух комплектов центрального подвешивания с фрикционными гасителями колебаний и тормозной рычажной системой.

Традиционная технология производства ответственных деталей тележек грузовых железнодорожных вагонов – боковых рам и надрессорных балок – предусматривает выплавку (в электрических и мартеновских печах) стали, выпуск металла в разливочный ковш, заливку форм и термообработку литых изделий. Согласно требованиям ОСТ 32.183-2001, эти изделия должны иметь высокие значения прочностных и пластических характеристик. Получение комплекса требуемых механических свойств обеспечивается формированием в готовых изделиях мелкодисперсной феррито-перлитной структуры, отсутствием грубых неметаллических включений и т.д. Однако качество исполнения литых деталей, прежде всего боковой рамы, на настоящий момент находится не на должном уровне. Выплавленная на заводе сталь отличается высоким содержанием неметаллических включений. По техническим требованиям раскисление стали осуществляется алюминием, без перемешивания стали при продувке аргоном. В результате в стали помимо пластичных железо-марганцовистых сульфидов и силикатов присутствуют хрупкие оксиды  $A_2O_3$  и шпинели  $FeO \cdot Al_2O_3$ ,  $MnO \cdot Al_2O_3$ , являющиеся причиной накопления поврежденности металла и последующего разрушения боковой рамы при эксплуатации. Окончательный химический анализ, согласно технологическому регламенту, осуществляется после разливки стали в формы, что при отрицательных результатах требует забраковки всей плавки. Использование песчано-глинистых формовочные смесей приводит к загрязнению стали шлаковыми включениями, повышенной концентрации газов и образованию пористости в отливке. Технология изготовления форм не обеспечивает равномерного остывания металла, особенно в зоне радиуса R-55. В этой зоне происходит наибольшее количество случаев разрушения рамы из-за загрязнений металла и утяжин толщины стенок при кристаллизации. Исправление литейных дефектов электросваркой, практикующееся на заводе, также приводит к ухудшению служебных характеристик боковой рамы, тем более, что после заварки дефектов не осуществляется повторная термообработка для снятия концентрации напряжения.

Анализ сложившейся технологии отливки детали «боковая рама» показывает, что брак в среднем по году составляет около 30%, кроме того при дополнительной инспекции детали при приемке ОАО «РЖД» выявляется еще до 7% бракованных боковых рам. Тем не менее система жесткого контроля качества литых боковых рам не обеспечивает гарантии безопасной перевозки грузов, т.к. аварии чаще всего связаны с разрушением боковой рамы тележки грузового вагона.

На кафедре «Обработка металлов давлением» УГТУ-УПИ подготовлено техническое предложение по технологии изготовления боковых рам из экономичных профилей проката и труб. Реализация нового технического решения позволит уменьшить массу боковой рамы на 16-20%, отходы производства в виде брака и повысить коэффициент использования металла. Одновременно повысится эксплуатационная надежность наиболее нагруженной детали тележки грузового вагона.

Брынских Я.А., студент  
Буркин С.П., проф., канд. техн. наук

## ВАРИАНТ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ ШТАБИКОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Технологический процесс производства изделий из тугоплавких металлов и сплавов начинается с изготовления из порошков расходуемых электродов для последующей вакуумно-дуговой плавки. Электроды комплектуются из спеченных штабиков-стержней чаще всего квадратного поперечного сечения. Штабики из порошков тугоплавких металлов формуется в традиционной технологической схеме в щелевых штампах. Трение порошка о боковые стенки щелевого штампа порождает существенную неоднородность плотности по сечению штабика. В итоге, происходит изгиб штабиков при спекании из-за неоднородной усадки. Так же этот метод обладает невысокой производительностью.

Предлагаемая конструкция оснастки позволяет существенно упростить и ускорить процесс получения штабиков. Из практических соображений, сформированных во время эксплуатации установки в лаборатории ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», были сконструированы приспособления, которые снижают трудоемкость и продолжительность процесса формования штабиков, повышая тем самым производительность. Схематическое описание работы установки приведено ниже.

Предлагаемое устройство для формования длинномерных заготовок из порошковых материалов включает корпус 1, внутри которого с возможностью осевого перемещения и поперечного смещения по плоским направляющим поверхности установлены формующие элементы 2, образующие в сопряжении замкнутый контур 3 сечения рабочего канала и смещаемые в поперечном направлении посредством шарнирно закрепленных в корпусе и формующих элементах шатунов 4 под действием осевых сил, приложенных к верхнему 5 и нижнему 6 пуансонам (рис.1). Последний в случае прижатия его к торцам формующих элементов замыкает пространство рабочего канала.

Корпус устройства посредством вертикальных стоек 7 жестко закреплен на плите 8, которая в свою очередь закреплена на столе прессы 9. Нижний пуансон снизу подпирается опорой 10, установленной над бойком толкателя 11. Боек толкателя жестко соединен со штоком толкателя 12.

Для подачи порошка в рабочий канал используется направляющий желоб. Верхний пуансон 5 жестко закреплен на ползуне прессы, механически связанном с рабочим гидроцилиндром. Для удобства отвода опоры 10 при нижнем извлечении штабика используется поворотный механизм 13. Вставки 14 и 15 используются для изменения расположения штампа над столом прессы в этапах прессования и распрессовки соответственно. Для удобства проведения

этапа распрессовки используется поворотный боек 16, установленный на верхнем фланце 17 штампа.

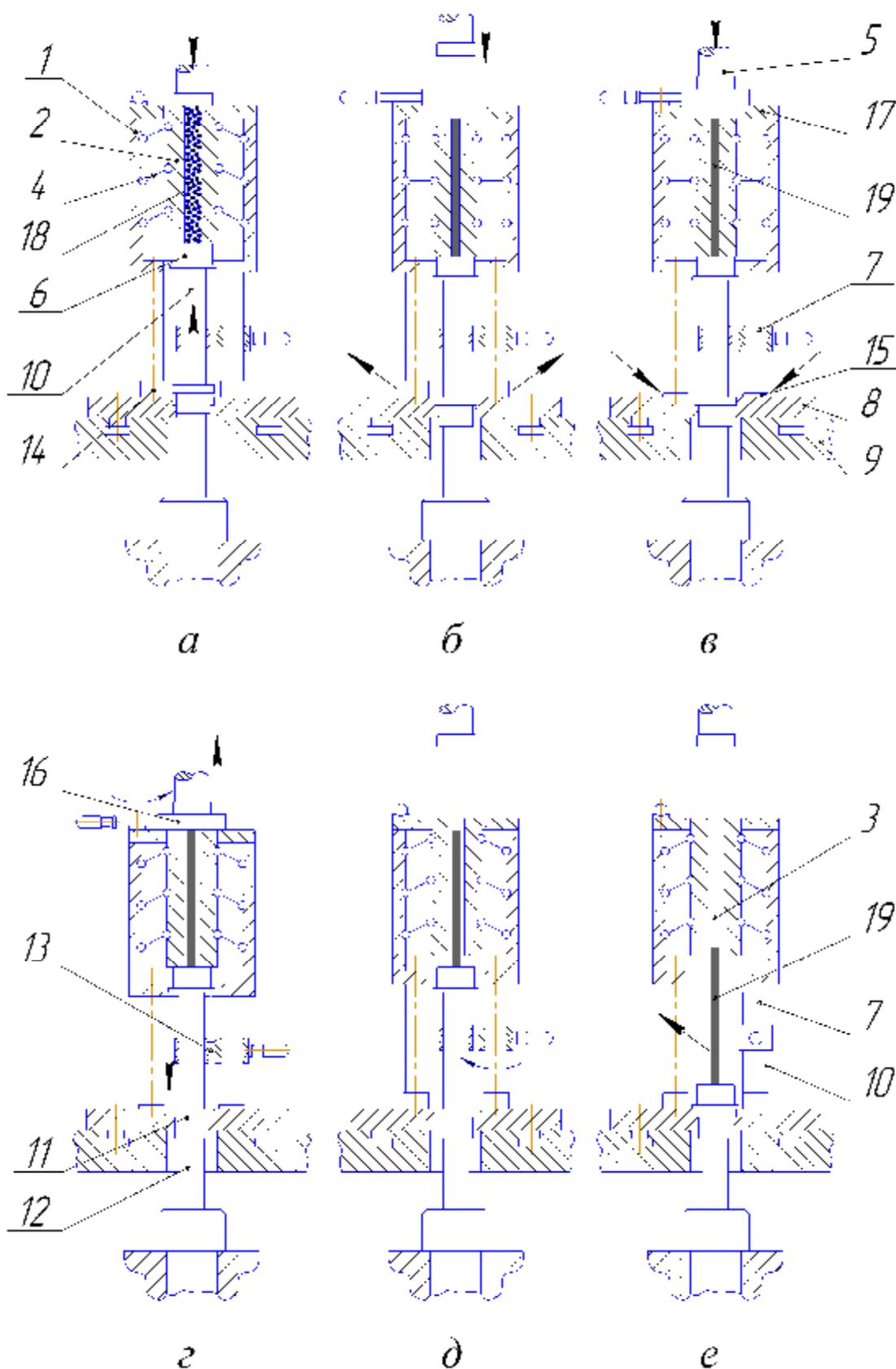


Рис. 1. Схематическое изображение основных этапов работы установки формирования штабиков

Предлагаемое устройство работает следующим образом. В исходном состоянии устройство после прочистки рабочего канала от просыпей порошка приводится переводом всех формующих элементов 2 в верхнее крайнее положение за счет давления рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра толкателя и подъема штока толкателя 12, бойка толкателя 11, опоры 10 и нижнего пуансона 6, который при этом упирается в нижние торцы формующих элементов 2. При этом верхний пуансон 5 поднят вверх на высоту, достаточную для установки направляющего желоба в положение подачи порошкового материала. Формующие элементы 2 полностью разведены.

Навеска порошкового материала 18 подается в рабочий канал, заполняя его полностью, с плотностью насыпки. Верхний пуансон 5 опускается вниз (а), закрывая своим торцом рабочий канал между формующими элементами 2 и при дальнейшем ходе вниз перемещает формующие элементы. Шатуны 4 при этом поворачиваются, смещая формующие элементы в поперечном направлении. При приходе шатунов в мертвые точки сечение рабочего канала уменьшается до конечного размера, сжимая порошковый материал. Во время движения вниз формующих элементов нижний пуансон 6 прижат штоком толкателя 12, через опору 10 и боек толкателя 11, к нижнему торцу формующих элементов 2 и создает противодействие, препятствующее вытеснению порошка в зазоры между торцами формующих элементов и нижним пуансоном 6. Минимальное усилие противодействия определяется, исходя из функции уплотнения и коэффициента бокового давления конкретного порошкового материала. В момент перевода формующих элементов 2 в мертвое положение в рабочем канале формируется спрессованный до заданной плотности штабик 19 (б).

В этот момент боек толкателя 11 упирается в плиту 8, и процесс прессования завершается. Верхний пуансон 5 отводится вверх, поворотный боек 16 поворачивается и устанавливается соосно с осью прессования. После верхний боек 5 опускается вниз (в).

Вставки 15 извлекаются, и на их место устанавливаются вставки 16. Начинается этап распрессовки.

Верхний пуансон 5 давит на поворотный боек 16 и выводит формующие элементы 2 из мертвого положения, высвобождая сформованный штабик (г). Стойки 7 упираются на вставки 15, и процесс распрессовки завершается.

Верхний пуансон 5 поднимается, боек 16 возвращается в исходное положение. Вставки 14 устанавливаются вместо вставок 15 на исходное положение (д).

С помощью поворотного механизма 13 отводится опора 10, при этом сформованный штабик 19 и нижний пуансон 6 опускаются на плиту 8, после чего штабик удаляется (е).

Далее осуществляется прочистка рабочего канала 3. Затем нижний пуансон 6 устанавливается в исходное положение. Опора 10 возвращается в

исходное положение поворотным механизмом 13. Устройство возвращается в исходное положение.

Описанный выше порядок формования штабика оказывается высокопроизводительным.

Был проведен прочностной расчет наиболее нагруженных деталей оснастки. В качестве примера здесь приведены результаты конечно-элементного анализа напряженного состояния плиты (рис. 2), соединяющей верхний пуансон 5 (рис. 1) с ползуном пресса.

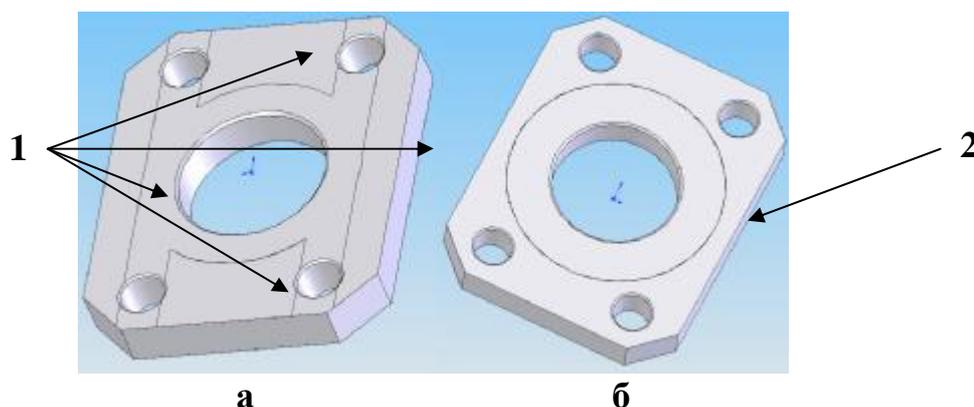


Рис. 2. Плита: а – вид сверху; б – вид снизу

Максимальное осевое усилие, создаваемое прессом, составляет 2,5 МН. Плита воспринимает полное усилие, создаваемое прессом. Материал плиты – коленчатая сталь Ст.50. Предел текучести 1000 МПа. На поверхности 2 (рис. 2) действует напряжение  $p = 166,7$  МПа.

Для расчета упругих деформаций был использован конечно разностный пакет SolidWorks/CosmosWorks. Для детали были заданы ограничения в перемещении и нагрузки. На рис.2 цифрой 1 указаны площадки-ограничения, создаваемые ползуном пресса. Цифрой 2 указана поверхность контакта плиты с верхним пуансоном.

Эпюра распределения напряжений показана на рис. 3. Рассчитанный минимальный коэффициент запаса прочности в объеме тела составил 1,1.

Способ формования штабиков и описанное устройство пригодны для любых порошковых материалов.

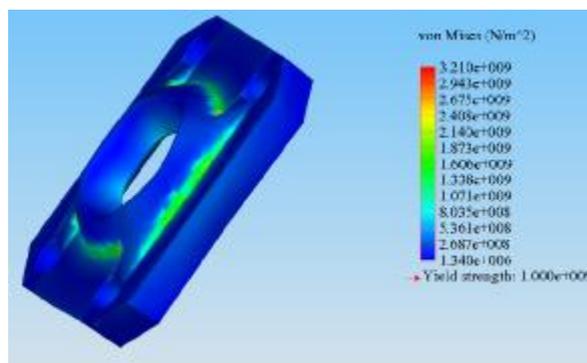


Рис. 3. Эпюра распределения напряжений Von Mises

Спроектированная оснастка позволила осуществить серийное изготовление штабиков из порошков сплава ЦМ-2А на промышленном участке с использованием гидравлического прессы 2,5 МН.

Епишин А. Ю., студент  
Зайнуллин Л. А., проф., д-р техн. наук

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ «ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ – БАРАБАННЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ» ДЛЯ ОБЖИГА ЛИСАКОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Лисаковское месторождение (Кустанайская область, Казахстан) имеет запасы железной руды более 6 млрд. тонн: Fe 34,8%, S 0,03%, P (0,7 – 0,9)%. На базе его функционирует Лисаковский горно-обогатительный комбинат, продукцией которого является гравитационно-магнитный концентрат. Рудные пласты залегают обычно почти горизонтально и обнажаются на дневной поверхности в виде полосы шириной 200 – 700 м. Мощность рудного пласта изменяется от 0,5 до 37 м, в среднем 12 м. К периферии залежей мощность руд уменьшается, и богатые руды сменяются более бедными песчанистыми, а затем переходят в пески.

Ведется открытая разработка месторождения, что обеспечивает более дешевую добычу руды. Но наряду с этим существует проблема трудности обогащения руд и сложности их комплексного использования, так как из-за высокого содержания фосфора в сталеплавильном производстве требуется двойной переплав. Разработана технология удаления фосфора из концентрата, в основе которой заложен обжиг концентрата с последующим сернокислотным выщелачиванием. Большинство фосфорсодержащих минералов в Лисаковском железорудном концентрате являются гидратами. Из исходного концентрата, содержащего гидратные фосфористые минералы, фосфор практически не выщелачивается. В процессе обжига минерал, в котором находится фосфор, разлагается. При этом фосфор переходит в свободную окисленную форму и легко реагирует с серной кислотой.

Обжиг железорудного концентрата в промышленных условиях производят на установке «Вращающаяся печь – Барабанный охладитель». Вращающаяся печь представляет собой полую металлическую трубу длиной 110 м, внутренним диаметром 4,5 м, футерованную на длине 71 м со стороны разгрузочной части шамотным огнеупорным кирпичом. Производительность вращающейся печи по обожженному концентрату составляет 80 т/ч. Установлена проектная температура нагрева материала, равная 920°C. Обжиг концентрата осуществляют за счет продуктов сгорания природного газа, сжигаемого с помощью торцевой горелки в разгрузочной части печи. Продукты сгорания газа двигаются противотоком по отношению к движению концентрата вдоль вращающейся печи. После обжига концентрат через перегрузочный узел передается в барабанный охладитель, длиной 60 м, диаметром 3,6 м, который также футерован шамотным огнеупорным кирпичом на длине 30 м от загрузочной части холодильника. Концентрат, продвигаясь по охладителю, охлаждается потоком воздуха. Для окончательного охлаждения концентрата предусмотрен наружный полив

корпуса барабана, а также внутренний полив воды на испарительное охлаждение.

Качество обожженного концентрата определяется степенью удаления гидратной (связанной) влаги, то есть остаточными ПМПП (потери массы при прокаливании), которые не должны превышать 0,4%. Это условие позволяет в дальнейшем производить выщелачивание фосфора и достигнуть его содержания в железорудном концентрате 0,18 – 0,2%.

Величина остаточных ПМПП для наиболее глубокого удаления фосфора из железорудного концентрата в процессе выщелачивания должна составлять 0,2%, что невозможно достичь во вращающейся печи из-за недостаточного времени пребывания материала в зоне обжига. В связи с этим на имеющемся производстве значение остаточных ПМПП снижают за счет повышения температуры обжига материала, вплоть до 950 °С. Но при этом не учитывается негативное влияние высокой температуры на материал. Концентрат уплотняется и в процессе выщелачивания серная кислота не может проникнуть в глубь частички, что затрудняет процесс удаления фосфора из руды.

Процесс разложения фосфорсодержащего минерала протекает с некоторой скоростью, которая зависит от температуры. Тогда, если учесть влияние времени выдержки материала на качество обожженного концентрата, то величину остаточных ПМПП 0,2% можно получить и при меньшей температуре обжига. Поэтому предлагается в перегрузочной части между вращающейся печью и барабанным охладителем установить томильную шахту, изображенную на рисунке, которая представляет собой вертикальный футерованный канал прямоугольного сечения.

Габаритные размеры шахты можно определить следующим образом:

$m_v$  – объемная масса обожженного концентрата, равная 2400 кг/м<sup>3</sup>,

$P$  – производительность вращающейся печи по готовому концентрату, равная 80 т/ч или 22,22 кг/с;

$\tau$  – время выдержки концентрата при заданной температуре, с.

Объем шахты равен:

$$V = (P \times \tau) / m_v, \text{ м}^3.$$

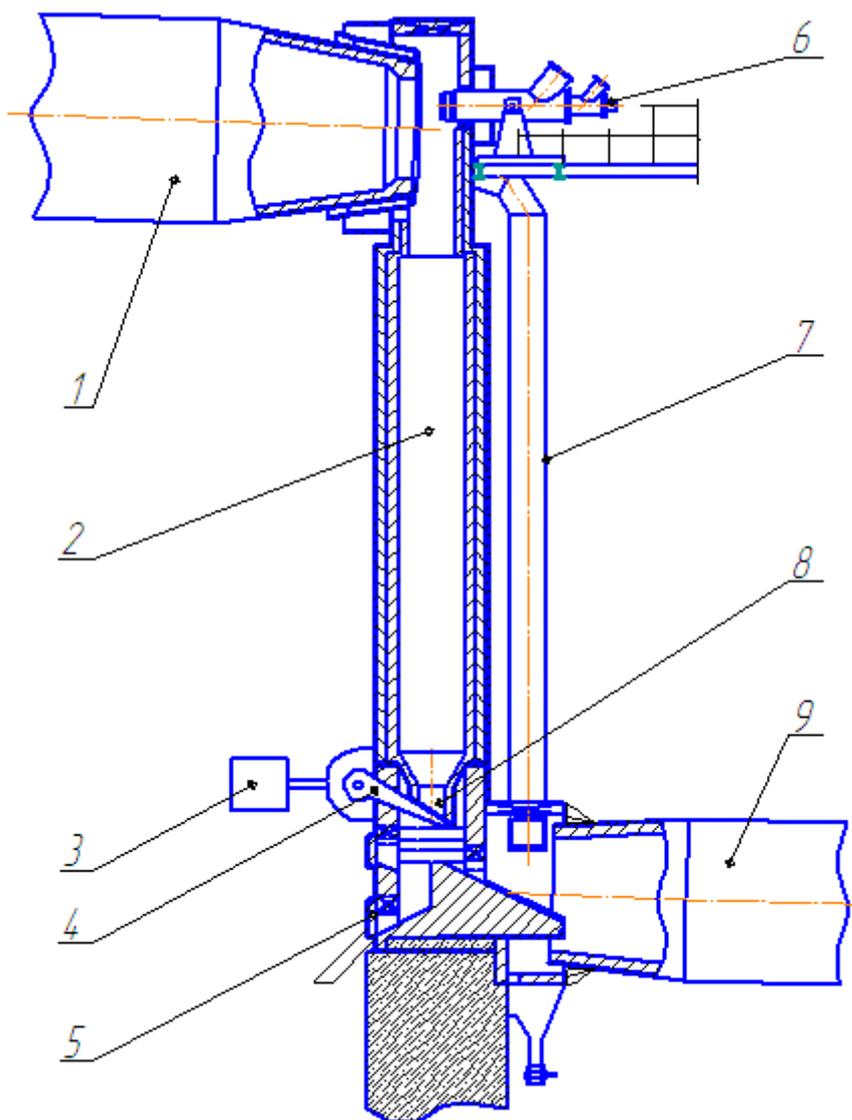
Тогда, выбрав сечение томильника ( $a \times b$ ), получим его высоту:

$$h = V / (a \times b).$$

Например, при температуре обжига 875°С и выдержке материала в течение 60 минут получим для поперечного сечения шахты 1500 мм × 2000 мм высоту томильника, равную 11 метров. При этом величина остаточных ПМПП составит 0,158%.

Температура выдержки материала в шахте будет обеспечиваться за счет собственного тепла обожженного концентрата, поступающего из вращающейся печи. Поэтому шахта должна быть футерована шамотным огнеупорным кирпичом и слоем шамота легковеса для максимально возможного исключения тепловых потерь в окружающую среду. Внизу вертикального канала следует предусмотреть переход на металлическую футерованную разгрузочную трубу, по которой материал будет поступать в

перегрузочный канал и далее в барабанный охладитель. Регулирование расхода концентрата можно производить при помощи поворотной мигалки, которую следует установить на выходе из разгрузочной трубы. При помощи электрического привода мигалка будет приводиться в движение, при этом площадь сечения щели между разгрузочной трубой шахты томильника и самой мигалкой будет изменяться.



Томильная шахта в перегрузочном узле установки «Вращающаяся печь – барабанный охладитель»: 1 – вращающаяся печь, 2 – томильная шахта, 3 – привод мигалки, 4 – поворотная мигалка, 5 – люк аварийной выгрузки концентрата, 6 – горелочное устройство, 7 – трубопровод подогретого воздуха, 8 – футерованная разгрузочная труба, 9 – барабанный охладитель

Еремеева К.В., аспирантка  
Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук

## ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРУТКА С ПОРОЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

В практике волочения известно появление одиночно расположенных внутренних разрывов прутка или проволоки при неудачном назначении параметров процесса. В зарубежной литературе такие дефекты получили название *central bursts* – центральные разрывы. Эти разрывы при продолжении процесса волочения преобразуются в поры, имеющие специфическую конфигурацию, в отечественной производственной практике они описываются как макропоры. При дальнейшей деформации заготовок с такими дефектами возможно различное развитие событий: от залечивания дефекта до его раскрытия и обрыва по месту его расположения.

Для моделирования поведения пор, расположенных в центре очага деформации, при волочении применили программный комплекс РАПИД-2D, разработанный сотрудниками Уральского государственного технического университета – УПИ и предназначенный, в основном, для математического моделирования процессов горячейковки и штамповки. Расчет основан на применении метода конечных элементов. При этом выявлены трудности применения этого программного продукта для расчета процесса волочения.

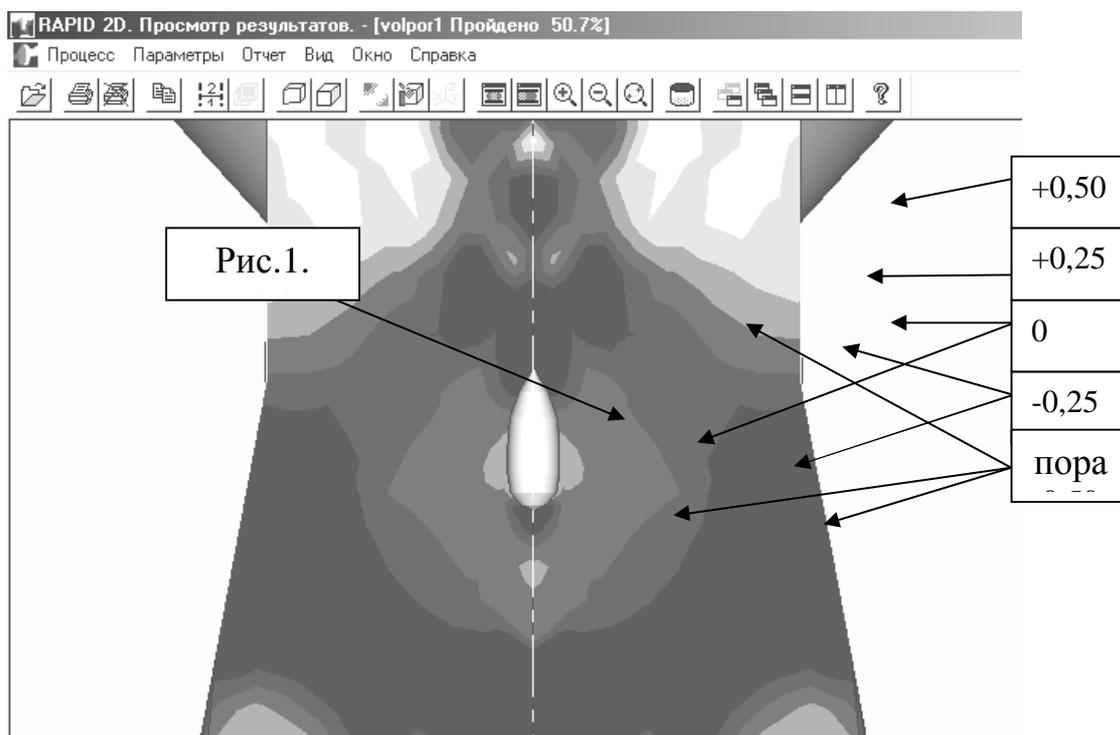
Задание растягивающей силы, характерной для процесса волочения, в качестве граничного условия, не возможно. Силу пришлось имитировать, изобразив в качестве инструмента захваты, сжимающие переднюю часть заготовки.

Для достижения стационарного состояния перемещения переднего конца заготовки оказываются довольно значительными, при этом большая часть конечных элементов уходит далеко за пределы очага деформации и участвует в расчете в качестве «балласта», снижая точность решения. В этом аспекте задача волочения является аналогом задачи прессования. Эта трудность преодолена сокращением числа лишних элементов, вышедших слишком далеко за пределы очага деформации. Тем самым повышена точность решения.

Примененный метод разработан для решения задач пластической деформации вязко-упругопластической среды. Как правило, волочение – это процесс холодной деформации, при которой вязкие свойства не учитываются, но принимается во внимание процесс холодной нагартовки металла. Эту трудность удалось обойти при моделировании формоизменения заготовок из меди. Исследования показывают, что медь и в холодном состоянии проявляет вязкие свойства, т.е. ее сопротивление деформации зависит как от степени, так и от скорости деформации. Для решения применили соответствующие кривые упрочнения, переведя графическое изображение функций в табличные значения.

Опорное решение задачи выполнили для случая волочения заготовки, не содержащей пору, на примере деформации катанки из меди марки М00 диаметром 8 мм с коэффициентом вытяжки 1,5 (относительное обжатие 33%) при показателе трения по Зибелю 0,1 и скорости волочения 1,98 м/с. Повышенное обжатие характерно для первого прохода волочения, в том случае, если протягивается отожженный металл, обладающий большим ресурсом пластичности и характеризуемый участком кривой упрочнения с высоким темпом нагартовки. Угол наклона образующей волоки назначили равным  $10^\circ$ , что характерно для технологии предприятий, использующих не твердосплавные, а алмазные поликристаллические волоки даже при волочении заготовки таких крупных размеров.

Поставлена задача с расположенной в центре заготовки круглой порой начальным диаметром  $d_{п0} = 1$  мм. Результат решения представлен на рисунке в виде линий равного уровня показателя напряженного состояния. Как видно из рисунка, пора в продольном сечении приобрела форму овала, измеренный по результатам решения коэффициент вытяжки составил величину 1,8. Таким образом, удлинение поры превысило на 20% удлинение окружающего ее металла. В периферийных слоях заготовки внутри очага деформации сохранились сжимающие напряжения, чего нельзя сказать об области, окружающей пору.



Распределение показателя напряженного состояния (числа в таблице) по очагу деформации при волочении с коэффициентом вытяжки 1,5 в присутствии поры

С боковой поверхности пору окружают зоны действия растягивающих напряжений (максимальное значение  $\sigma/T$  составляет величину +0,14). Это

говорит о повышении вероятности разрушения металла вблизи места расположения такого дефекта.

Варьирование условий постановки задачи привело к следующим выводам.

1. Внутренние разрывы металла или поры, расположенные в центре заготовки, при волочении имеют возможность увеличиваться в размерах из-за повышенного уровня растягивающих напряжений.

2. В технологии волочения следует не допускать проектирования малых обжатий, поскольку это создает опасность увеличения в размерах внутренних разрывов, пор, расположенных в центре заготовки.

3. При наличии в центре заготовки поры, ее линейные размеры изменяются быстрее, чем линейные размеры заготовки.

4. Поры, расположенные в периферийных слоях заготовки, при волочении не имеют тенденции к раскрытию и уменьшаются в размерах.

Ерыкалова Н.А., студент  
Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОКОВОК С МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ИЗ СЛИТКОВ ПЛОСКОГО СЕЧЕНИЯ БЕЗ ФРЕЗЕРОВКИ ГРАНЕЙ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»

При производстве крупногабаритных поковок прямоугольного сечения используются плоские слитки с фрезеровкой их узких и широких граней. К недостаткам такой технологии можно отнести потери металла в стружку и длительный цикл подготовки слитка. С целью снижения себестоимости продукции и экономии расхода металла была проведена опытная работа по изготовлению поковок прямоугольного сечения из сплава 7075 Т652 из нефрезерованных слитков сечением 400x1630 мм. Цели работы:

- на основании полученных результатов по уровню механических свойств, макро-, микроструктуре и твердости сделать вывод о возможности изготовления поковок из нефрезерованных слитков;
- повысить выход годного за счет использования нефрезерованных слитков.

Экспортные поковки из сплава 7075 в состоянии поставки Т652 (высокотемпературный нагрев, закалка и обжатие от 1 до 5%, искусственное старение) изготавливают по ASTM В 247М-02а «Технические условия для штамповок, поковок и раскатных колец из алюминия и алюминиевых сплавов».

Для изготовления поковок с чистовыми размерами 254x1200x2400 мм из сплава 7075 нужны гомогенизированные слитки с фрезерованной поверхностью, имеющие размеры 380x1580x1760 мм и массу 2910 кг. При очередном запуске в производство поковок были запущены два нефрезерованных слитка с размерами 400x1630x1580 мм и массой 2910 кг. Технологический процесс изготовления поковок осуществлялся согласно карте технологического процесса (КТП). Нагрев под деформацию слитков производился в электрической печи конвейерного типа. Ковка проводилась на вертикальном гидравлическом прессе усилием 60 МН. Температура нагрева металла по КТП 380 - 410°C; температура металла в процессековки должна быть 410 - 350°C; температура инструмента (бойков) в интервале температур 200 - 300°C. Дляковки поковок использовались плоские бойки. Бойки обильно смазывались смазочным материалом, состоящим из индустриального масла И-20А по ГОСТ 20799 с коллоидным графитом марки С1 по ГОСТ 8295 в соотношении 80 - 90% графита и 10 - 20% масла.

Нагрев поковок под закалку проводился в печи шахтного типа при температуре 465 - 475°C с выдержкой при этой температуре 12 часов. Закалка происходила в воде с температурой до 40°C. Перенос садки из печи в воду не более 1,5 минут, нахождение поковок в воде не менее 1 часа. После закалки поковки подвергались обжатию на прессе усилием 300 МН со

степенью деформации по толщине поковки 2% (6 мм). Для старения использовались печи старения. Температура старения 115 - 125°C с выдержкой 24 часа.

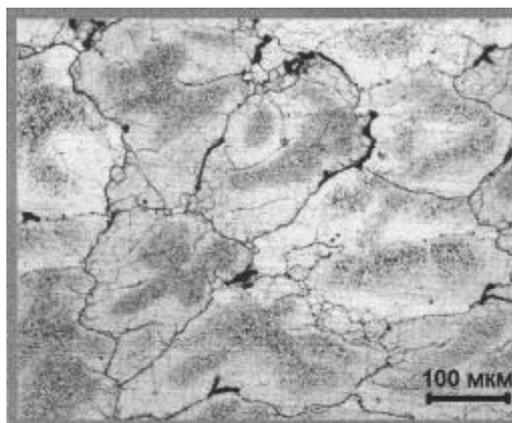
Из поковок, направленных для исследования в лабораторию, вырезались образцы для контроля механических свойств, макро-, микроструктуры и твердости. Полученные механические свойства приведены в таблице.

Механические свойства образцов

$\sigma_B$ , МПа			$\sigma_T$ , МПа			$\delta$ , %			Твердость, НВ
1	2	3	1	2	3	1	2	3	
532,0	504,0	444,0	456,0	414,0	344,0	10,5	10,0	10,0	147,0
457,0	452,0	423,0	366,0	366,0	294,0	10,0	8,5	10,0	
468,0	428,0	407,0	382,0	335,0	279,0	10,0	8,7	9,5	

Примечание: образец №1 - продольное направление; №2 – поперечное по ширине; №3 – высотное.

Макроструктура поковок однородная и мелкозернистая, но на поверхности поковки можно увидеть ободок глубиной до 1 мм. Поковки поставляются с механической обработкой, следовательно, при фрезеровке ободок удаляется. Микроструктура поковок удовлетворяет требованиям SAE AMS 2772 «Термическая обработка сырьевых материалов для алюминиевых сплавов». На рисунке приведена микроструктура поковки с чистовыми размерами 254x1200x2400 мм.



Микроструктура поковки с чистовыми размерами 254x1200x2400 мм, х 200

Результаты испытаний показывают, что уровень механических свойств и качество макроструктуры поковок из сплава 7075 соответствуют требованиям стандарта ASTM B 247 – 02a и спецификации. Следовательно, изготовление поковок из слитков плоского сечения без механической обработки граней возможно. При производстве поковок из нефрезерованного слитка весовой выход годного увеличивается на 7,1%.

Калинина Н. А., студентка  
Железняк Л. М., доц., канд. техн. наук

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМА НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ ПЛИТ И ЛИСТОВ ИЗ СПЛАВА МАРКИ 6061 В УСЛОВИЯХ «ОАО КУМЗ»

Задача исследования – научно обоснованное сокращение времени выдержки при закалке полуфабрикатов, апробация его в промышленных условиях и определение механических свойств образцов на заключительной стадии технологического процесса производства плит из сплава марки 6061.

До последнего времени каждое предприятие было ориентировано на создание и контроль конечного продукта, чтобы отбраковать изделие, не соответствующее требованиям. Различные виды потерь (времени, запасов, в виде брака) считались неустранимыми. В условиях рынка при высокой конкуренции ужесточились требования заказчиков не только к качеству выпускаемых изделий, но и к срокам изготовления продукта. В связи с этим следует уходить от внутренних потерь и сокращать цикл изготовления продукта. Разработке устранения одного из этих видов потерь – времени – посвящена эта работа.

Коррозионно-стойкий сплав повышенной пластичности 6061 относится к деформируемым алюминиевым сплавам, его российский аналог – АД33. Закаленные сплавы системы Al-Mg-Si упрочняются при старении. Естественное старение протекает достаточно медленно, прирост прочности продолжается в течение двух недель после закалки. Чаще применяют искусственное старение, т.к. оно дает больший прирост прочности. Механические свойства искусственно состаренных сплавов системы Al-Mg-Si чувствительны к перерыву между закалкой и искусственным старением, который приводит к снижению  $\sigma_B$  и  $\sigma_T$  состаренного сплава на 20–30 МПа. Таким образом, для получения максимальной прочности сплавов необходимо проводить старение сразу после закалки. Увеличивая выдержку при искусственном старении, можно частично компенсировать снижение прочности, обусловленное перерывом между закалкой и старением.

В настоящее время пропускная способность селитровых ванн не обеспечивает полную загрузку правильно-растяжной машины ПРМ-1000. Для представления наиболее полной картины сложившейся ситуации был проведен хронометраж работы участка закалки и ПРМ-1000 для отдельно взятой партии плит толщиной 25,4 мм. Получены следующие данные: норма выработки на участке закалки на плите толщиной 25,4 мм составляет 32 плиты в смену (8 часов) при норме выработки на ПРМ-1000 на том же типоразмере 40 плит в смену.

Было предложено сократить нахождение плит на участке закалки путем уменьшения времени нагрева под закалку. Следующим шагом по реализации идеи стало проведение соответствующей опытной работы.

Закалка плит и листов проводится с температуры 533°C:

- толщиной от 5,01 до 10,0 мм в течение 15 минут;

- толщиной от 10,01 до 20,0 мм в течение 20 минут;
- толщиной от 20,01 до 30,0 мм в течение 25 минут;
- толщиной от 30,01 до 50,0 мм в течение 35 минут.

В плане опытных работ была предложена несколько иная разбивка:

- толщиной от 5,01 до 10,0 мм в течение 10 минут;
- толщиной от 10,01 до 12,7 мм в течение 12 минут;
- толщиной от 12,71 до 20,0 мм в течение 15 минут;
- толщиной от 20,01 до 30,0 мм в течение 20 минут;
- толщиной от 30,01 до 35,0 мм в течение 25 минут;
- толщиной от 30,01 до 50,0 мм в течение 30 минут.

Согласно плану опытных работ в цехе были определены 26 партий плит толщинами от 6,35 до 45,0 мм. Изготовление этих партий плит необходимо было провести по серийной технологии за исключением операции закалки. После искусственного старения следовало отобрать темплеты и отправить их на проведение механических испытаний на соответствие требованиям. Время нахождения в селитровой ванне сократилось на 5-7 минут. Анализ результатов закалки партий, обработанных по сокращенному режиму, показал, что сокращенное время нагрева обеспечивает механические свойства, соответствующие нормативной документации. Для набора статистических данных в течение месяца в условиях цеха было проведено исследование на всем объеме обрабатываемых плит и листов; отслеживалось следующее:

- 1) увеличилась ли отбраковка по несоответствию механических свойств;
- 2) как изменилась пропускная способность селитровых ванн;
- 3) имеется ли полная загрузка ПРМ-1000;
- 4) изменился ли выход годного, отбраковка в целом;
- 5) изменились ли объемы выпускаемой (обрабатываемой) продукции.

После получения положительных результатов работы на опытно-промышленных партиях плит и листов было принято решение о внесении изменений в нормативно-технологическую документацию. Таким образом, режим закалки был утвержден в качестве серийной технологии нагрева под закалку.

В заключение отметим следующее.

1. Сокращенный режим нагрева плит и листов под закалку обеспечивает свойства, соответствующие требованиям нормативной документации.
2. Пропускная способность селитровых ванн на промышленных объемах металла увеличилась на 15%.
3. Выход годного по всем позициям остался на том же уровне, поскольку работа была направлена на увеличение объема выпускаемой продукции за счет сокращения времени изготовления изделия.
4. Рассматривается возможность подобного сокращения времени нагрева под закалку плит из сплава марки 6082; идет подготовка плана опытных работ, будут проводиться исследования в лабораторных условиях.

Карова Е.Г., студентка  
Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ ИЗ СПЛАВОВ 5083, 5086, 5052 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МОРСКОМ СУДОСТРОЕНИИ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»

ОАО «КУМЗ» освоил производство плит из сплавов марок 5083 и 5086 в состояниях поставки H116 и H32 по ASTM B928 и плит сплава 5052 в состоянии поставки H32 для применения на морском транспорте. Анализируя рынок, можно предположить, что в ближайшие 5 лет спрос на данный вид продукта будет превышать предложения. Следовательно, имеет смысл развивать и совершенствовать технологию производства «морских» плит, учитывая тот факт, что в мире действуют всего три производителя данного продукта, включая ОАО «КУМЗ». Уровень полученных механических свойств свидетельствует, что «морская» плита обладает и высокой прочностью, и очень вязкой структурой, которую имеют катаные полуфабрикаты с нерекристаллизованной полигонизованной структурой, крупным зерном и четко выраженной текстурой прокатки, а также высокую коррозионную стойкость под напряжением за счет более равномерного распределения  $\beta$ -фазы ( $Al_3Mg_2$ ). Для детального изучения качества «морских» плит и возможностей их применения провели исследование плит.

Первые запуски морских плит из сплава 5083 толщиной от 6,35 до 25,4 мм показали, что плиты имеют в ряде случаев недостаточный уровень коррозионной защиты и механических свойств. Учитывая природу сплава 5083 (присутствие сложных нерастворимых интерметаллических соединений скелетообразной формы, возможность кристаллизации фазы Fe-Mn в виде первичных интерметаллидов или сростков дендритов) и структурное различие между поверхностными и центральными слоями слитков, одной из причин, приводящей к неудовлетворительным результатам, может быть структура плит, наследуемая от слитка. Для анализа взаимосвязи между механическими характеристиками и структурой плит отобраны плиты, показавшие разный уровень свойств. Дополнительно в работе приведены результаты исследования влияния скорости нагрева плит-заготовок под теплую прокатку на коррозионные характеристики плит. Горячая прокатка при температуре 440°C фрезерованных заготовок проводилась по серийным схемам обжаты на плиты-заготовки под теплую прокатку.

После прокатки горячекатаные полосы на ножницах подводящего рольганга разрезались в меру длиной 3000-3500 мм. Нагрев плит-заготовок под теплую прокатку осуществлялся в печи струйного нагрева. В течение одного часа с момента загрузки плиты были нагреты до температуры 250°C, и далее температура поддерживалась в интервале 240-260°C.

Теплую прокатку проводили на свежоотшлифованных прогретых рабочих валках с профилем «бочка» 0,3 мм, с обжатием за проход от 2 до 8 мм. При теплой прокатке измеряли температуру раскатов. Она за два прохода

увеличивалась на 40-45°C. При повышении температуры до 270°C раскат охлаждался на рольганге, и при охлаждении до температуры 240-260°C прокатка продолжалась. После теплой прокатки полосы на гильотинных ножницах разрезали в меру, затем плиты прошли правку растяжением с  $\varepsilon_{\text{ост}}=1,3-3\%$ .

Анализ показал, что испытания на расслаивающую коррозию (РСК) не проходят в основном плиты толщиной 25,4 мм. Предположили, что скорость нагрева плит-заготовок под теплую прокатку влияет на коррозионные характеристики, поэтому решили продолжить исследования. Работа проводилась в два этапа:

- 1) определение коррозионных характеристик горячекатаной плиты-заготовки с различным временным интервалом нагрева под теплую прокатку;
- 2) то же самое, что в п.1, но с последующей прокаткой до требуемой толщины.

Исследование микроструктуры проводилось на долевых микрошлифах, вырезанных из периферийных и центральных слоев плиты-заготовки, нагретой по различным режимам. Микроструктура образцов удовлетворительная и представляет собой  $\alpha$ -твердый раствор с раздробленными пластинчатыми включениями серого цвета (фаза  $\text{Al}_6(\text{MnFe})$ ) и прожилками черного цвета (фаза  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ). Металлографическим анализом изменений в микроструктуре образцов в зависимости от скорости нагрева не обнаружено. Испытания на чувствительность к межкристаллитной коррозии (МКК) проводились в  $\text{HNO}_3$   $\text{pH} = 0,42$  при температуре  $30 \pm 0,1^\circ\text{C}$  в течение 24 часов на плоских образцах, вырезанных в поперечном направлении. Оценка результатов - по потере массы и установлению характера коррозии металлографическим методом. Испытания на РСК проводились при температуре  $65 \pm 0,1^\circ\text{C}$  в растворе  $53,5 \text{ г/дм}^3 \text{ NH}_4\text{Cl} + 20 \text{ г/дм}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + 10 \text{ мл}$  дистиллированной воды,  $\text{pH} = 5,4$  в течение 24 часов на плоских образцах, вырезанных в поперечном направлении.

В заключение выделим основные результаты.

1. При металлографическом анализе микроструктуры влияния скорости нагрева плит-заготовок под теплую прокатку не обнаружено, микроструктура соответствует требованиям ASTM: В 928. При испытании образцов на МКК влияния той же скорости не обнаружено, чувствительность к МКК соответствует требованиям ASTM: В 928.

2. При испытании на РСК образцов без последующей прокатки в нужный размер влияния скорости нагрева плит-заготовок под теплую прокатку не обнаружено, склонность к РСК соответствует требованиям ASTM: В 928. При испытании на РСК образцов с последующей прокаткой до требуемой толщины с увеличением скорости нагрева плит-заготовок под теплую прокатку склонность к РСК возрастает до несоответствия требованиям ASTM: В 928. Следовательно, при теплой прокатке плиты должны прокатываться до готового размера толщины, так как повторная прокатка приводит к повышению склонности к РСК.

Конева Е.С., студентка  
Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук

## ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ НАНОТЕХНОЛОГИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В современном мире основным фактором успешного роста национальной экономики является активное применение в производстве перспективных технологий и выпуск на их основе новых материалов. Одно из неперенных условий перспективности применяемой технологии заключается в ее инновационной привлекательности и эффективности. Инновационная стратегия, влияя на качественные параметры роста производства, формирует новый уровень спроса, повышает эффективность самого производства и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Перспективность современных технологий оцениваются в соответствии с ультрасовременной парадигмой – соотношением к научно-техническим направлениям – нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии, развитием когнитивной составляющей науки (общепринятая английская аббревиатура – NBIC- conception). Традиционно используемый Россией мощный административный ресурс для развития прорывных технологий, достижения тотального лидерства по всем направлениям технологического прогресса в конкуренции с США для настоящего времени самый сложный и рискованный для нашей страны. Однако для принятия правильных решений в инновационной стратегии необходимо помимо предложения перспективных технологий, их технических проработок дать научно обоснованную оценку их инновационной привлекательности и пересеченности с реальными потребностями, производственной эффективностью и рыночной конкурентностью. При оценке предложений в области нанотехнологий необходим экспертный анализ ее соотношения с соответствующими концептуальными признаками, такими как проектирование, разработка и контролирование процессов в наномасштабном диапазоне. Та же проблема возникает и в отношении новых материалов, выделении из них относящихся не только по наномасштабу, но и обладающих свойствами революционно выделяющими их наноэффектами в сравнении с традиционными материалами, имеющих на порядки более высокие характеристики, оправдывая тем самым огромные затраты на их разработку и сложнейшие операции в нанодиапазоне, на совершенствование измерительной и диагностической техники для контролирования и оценки требуемых эффектов. Развитие нанотехнологий и изучение нанокристаллических материалов – перспективные направления современной междисциплинарной науки физикохимии и физического материаловедения, с диагностической и измерительной техникой высочайшей точности исполнения, контроля и уровня разрешающей способности. Повышенный интерес к наноструктурным материалам связан с их уникальными

свойствами практически важными для развития электроники, биомеханики, информационных технологий, т.е. с встраиванием разработки этих материалов в общую реализацию концепций NBIC. Развитие нанотехнологии связано с эффективностью контроля формированием структуры материала на атомно-молекулярном уровне с учетом квантовых эффектов хотя бы и в одном измерении, а также способностью наноразмерных фрагментов или кластеров к самоорганизации. Результативное управление свойствами материалов может быть достигнуто только в термодинамически неравновесных условиях при получении специфических диссипативных структур, однородных в макроскопическом масштабе. Именно таковыми являются наноматериалы, обладающие уникальными характеристиками, а также металлические стекла и аморфные полупроводники, полученные в результате применения экстремальных технологий при целенаправленном управлении процессами тепло- и массообмена (сверхбыстрая закалка, интенсивный кластеринг, ионо-плазменная обработка, «нанокластерная сборка» и т.д.). Принципиально то, что наноскопические материалы отличаются свойствами от свойств материалов атомного масштаба (свойства газов) и протяженных структур от микро до макроразмеров.

В металлургии традиционно производятся конструкционные материалы, однако от использования нанотехнологий в этом сегменте промышленности пока еще далеко до появления способных к самопроизводству наносистем-репликаторов, нанопреобразователей энергии или нанороботов-манипуляторов. Тем не менее активно инвестируется наноматериаловедение, которое в самом ближайшем будущем позволит значительно улучшить потребительские свойства металлургической продукции и прежде всего композиционных сплавов с высокой дисперсностью частиц. При анализе технологии и установлении признаков отнесения к нанотехнологиям попутно решается проблема патентования и оценки инновационной ценности. На выставке нанотехнологий, проходившей в этом году в УГТУ–УПИ, были представлены различные новинки в области нанотехнологий. Но как показывает анализ, большинство этих новинок не представляло инновационной ценности и не имело отношения к нанотехнологиям. Так, повышение зернистости фотоснимков, получение цветных стекол – не обладали инновационными признаками. Хотя они имеют отношение к нанотехнологиям.

**Самосборка – признак нанотехнологий.** При самосборке молекулы стремятся на нижний уровень энергии, который является доступным для них. Методы самосборки основаны на создании материалов при их самоорганизации, соответствующей требуемой технологической задаче. А при наносборке атомы или молекулы составляются при помощи наноконструктора на поверхность или собранную ранее наноструктуру. В результате последующей самоорганизации атомы формируют структуры с разным типом связи, минимизируя полную энергию наносистемы.

## 1. Размерная классификация материалов в зависимости от их агрегатного состояния и дисперсности

На сегодняшний день в изучении и производстве дисперсных систем используется очень много терминов. Если структурные и морфологические элементы материала размером от 10 до 100 нм, то его называют такими понятиями, как наноматериалы, нанокристаллы, наночастицы, нанокомпозиты, нанофазы, наноразмерные среды, а также кластеры, микрокластеры; малые, ультрамалые, коллоидные и субколлоидные частицы; ультрадисперсные, высокодисперсные, субмикрочеталлические, ультратонкие порошки. Можно встретить другие понятия: молекулярные агрегации, четаллические кластеры, металлофлюиды; молекулярно-дисперсные, коллоидно-дисперсные, микрогетерогенные системы. А также можно применять и терминологию коллоидной химии: золь, гель, аэрозоль, аэрогель. В дисперсной системе хотя бы одна из фаз должна быть распределена в виде мелких частиц в другой, сплошной, фазе. Распространенным является определение: к нано- (ультрадисперсным) относятся системы, в которых размер составляющих элементов (частиц, зерен, четаллитов) менее 100 нм. Данный класс дисперсных систем можно назвать нанопорошками, наноразмерными средами, наночеталлическими материалами. Если в веществе размеры составляющих его морфологических элементов соразмерны или меньше физических параметров, которые имеют размерность длины, то изменение соответствующих свойств позволяет говорить о принадлежности материала к наносистемам. Чаще эти эффекты характерны для дисперсной фазы размеры частиц, которой менее 100 нм (свойства наноматериала при уменьшении размеров частиц резко меняются или осциллируют) и для каждого свойства существует индивидуальный размер, с которого начинаются резкие изменения (рис. 1).

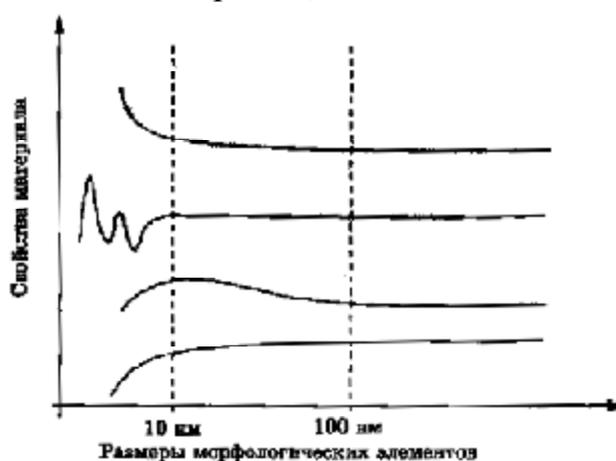


Рис. 1. Схематическое представление наноразмерной зависимости условных свойств материала

Наночеталлические материалы, не являясь дисперсными системами, характеризуются зеренной структурой в нанодиапазоне, полученной в результате контролируемой четаллизации.

**Мерность.** Систематизация дисперсных систем по мерности основана на геометрии или числе измерений пространственных форм, характерных для дисперсной фазы. Размеры и дисперсность, характерные для трехмерных тел, можно определить в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Нульмерным дисперсным системам или квантовым точкам соответствуют нано - (ультрадисперсные) порошки и наночастицы. Для двумерных тел дисперсность определяется двумя размерами, находящимися в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а от третьего размера дисперсность не зависит. Одномерными являются нанонити и -провода (к примеру, окисленные металлические нити – оксид меди). К двумерным системам или квантовым ямам относят гетероструктурные материалы, в основном полученные эпитаксиальными методами. В них функциональными свойствами обладают поверхности раздела. Это материалы (пленки, мембраны, покрытия, их толщина имеет нанометровый диапазон, а другие два измерения макроскопических размеров).

## 2. Размерные эффекты в характеристиках наноматериалов

Изменение свойств зависит от соизмеримости геометрических размеров материалов с величиной какого-либо из физических свойств, к примеру длина свободного пробега носителей заряда, длина волны де Бройля, длина пути диффузии. Свойства материалов могут изменяться в результате увеличения вклада поверхностных эффектов. Изменяются практически все механические и физические свойства вещества при уменьшении его размеров, включая температуру плавления (рис. 2).

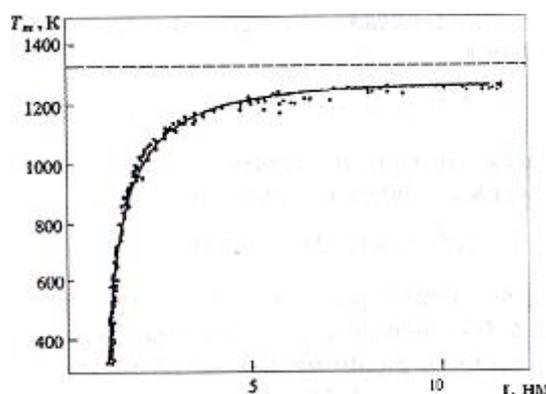


Рис. 2. Зависимость температуры плавления от радиуса наночастиц золота. Сплошная линия – расчет; штриховая – температура плавления макроскопического образца золота

Если геометрические размеры материала (малых частиц, диаметра проволоки, толщины пленки) сравнимы с длиной волны де Бройля электронов, то наблюдаются квантовые размерные эффекты.

**Нанополиморфизм.** Температурный интервал, в котором стабильна плотноупакованная структура, сдвигается в сторону более низких температур. В результате происходит изменение температуры полиморфных превращений и можно зафиксировать метастабильные состояния или образование фаз, не типичных для массивных образцов.

Так, в качестве примера приведем результаты экспериментов с чистым железом, где теряется стабильность  $\gamma$ -фазы с зерном нанометрового диапазона, потому что аллотропическое превращение происходит при более низких температурах, чем —  $911^{\circ}\text{C}$  для обычного железа. При пиролизе газов был получен нанопорошок железа с размером частиц 20—40 нм, содержащий 70,6% ГЦК- нанофазы, остальное — нанофазы  $\alpha$ - Fe.

**Аномальный характер механических свойств в нанодиапазоне.** Экспериментально доказано, что твердость зависит от величины зерна  $H(d)$  по закону Холла-Петча:

$$H(d) \approx H_0 + Kd^{-1/2}, \quad (1)$$

где  $H_0$  — твердость тела зерна, Па;  $K$  — коэффициент;  $d$  — размер зерна, м. Из этого соотношения видно, что если уменьшить размер зерен, то это должно привести к упрочнению материала. При уменьшении размера зерна увеличивается твердость.

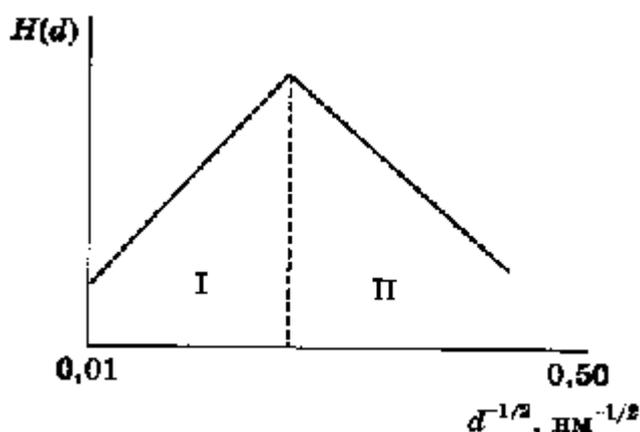


Рис. 3. Схематическое представление размерной зависимости твердости материала: I – область, подчиняющаяся закону Холла – Петча; II – область аномальной зависимости

При достижении определенного критического наноразмера кристаллов твердость (как и предел прочности) резко уменьшается (рис. 3). Для металла это нежелательно, в то время как для получения нанокерамики необходимо, поскольку приобретаются сверхпластичность и ударная вязкость при исчезновении хрупкости, сохраняется химостойкость.

Кудряшова О.В., аспирант  
Гервасьев М.А., проф., д-р техн. наук  
Худорожкова Ю.В., доц., канд. техн. наук

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТПУСКЕ ЗАКАЛЕННЫХ НА МАРТЕНСИТ ВАЛКОВЫХ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА

Цель работы состояла в том, чтобы оптимизировать режимы окончательной термической обработки сталей с повышенным содержанием хрома для валков холодной прокатки.

Изучили влияние режимов отпуска на структуру и фазовый состав валковых сталей с повышенным содержанием хрома, закаленных на мартенсит.

В качестве исследуемого материала были взяты стали 9Х5СМФ и 65Х5СМФ. Образцы для исследования отобраны на ОАО «Уралмаш» от поковки, предназначенной для изготовления рабочего валка холодной прокатки. Масса поковки 9360 кг. Выплавка производилась в электропечи; кристаллизация осуществлялась в шестигранной изложнице. Образцы изготавливались из темплета, отрезанного от заготовки валка. Образцы закаливали от разных температур: 950, 1000, 1050, 1100°C. Закалка проводилась в воду. Отпуск проводили от различных температур: 120, 150, 180, 200, 300, 400, 500°C, с различными временными интервалами от 20 минут до 60 часов.

Основными методами исследования являлись: дюрометрия, резистометрия, металлография, магнитный фазовый анализ, измерение коэрцитивной силы.

В результате работы было показано:

Стали с 5% хрома обладают высокой устойчивостью к разупрочнению при отпуске. При низком отпуске сохраняется высокая твердость до 55-57 HRC.

Магнитометрические исследования показали, что в процессе исследуемых температур отпуска до 400°C намагниченность насыщения не меняется, при более высоких температурах наблюдается ее рост, что связано с распадом остаточного аустенита.

С повышением температуры закалки увеличивается количество остаточного аустенита, причем при закалке от 1000°C в стали 65Х5СМФ оно больше, чем в стали 9Х5СМФ.

При повышении температуры отпуска наблюдается снижение коэрцитивной силы, что связано со снятием напряжений, при отпуске выше 500°C резкое снижение может быть вызвано распадом остаточного аустенита.

На начальной стадии низкого отпуска изменение физических свойств (коэрцитивной силы и резистометрии) может быть вызвано выделением мелкодисперсных фаз, когерентно связанных с матрицей.

Повышение температуры закалки увеличивает обнаруженный эффект.

Кырчиков А.В., аспирант  
Логинова И.В., доц., канд. техн. наук

## КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТОГО БОКСИТОВОГО СЫРЬЯ

Бокситы являются главным сырьем для производства глинозема – продукта для получения алюминия. В результате переработки боксита на глинозем получают побочный продукт – красный шлам, который отводится в отвал. Для хранения откачиваются миллионы тонн шламов ежегодно. Красные шламы являются техногенными отходами и несут серьезную экологическую угрозу.

При переработке высокожелезистых бокситов существует возможность комплексного использования сырья.

Такие бокситы характеризуются большим содержанием оксида железа, более 30%. Согласно предлагаемой технологии, высокожелезистый боксит вскрывается спеканием со щелочью с добавлением известняка. Добавка этих компонентов производится в расчете получения соединения типа железистый гидрогранат:  $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

В лаборатории, при производстве глинозема, используя такого вида бокситы, был получен красный шлам с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  до 50-58%.

Химический состав шлама

Fe	Ni	Cr	Ti	Al	Mn	V	Si	S	P	Ca	K
58,71	0,17	0,2	4,84	4,23	0,83	0,13	2,57	0,04	0,00	0,30	0,19

Наличие соединения железистого гидрограната было подтверждено методом ИК-спектроскопии. Для сравнения использовались ранее полученные данные ИК-спектров из литературы.

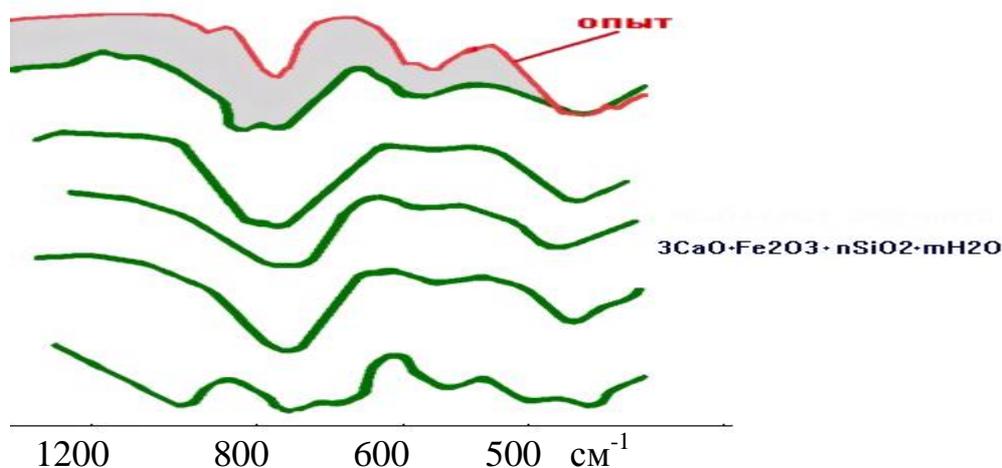


Рис. 1. ИК-спектры соединений типа железистый гидрогранат

Такие шламы предлагается использовать в качестве нового сырья для производства чугуна в черной металлургии.

Шлам рекомендуется отправлять в трубчатые печи для получения металлизированных окатышей, окатыши – на производство легированного чугуна. Весь титан и редкоземельные металлы при восстановительной плавке переходят в шлак, который можно отправить на дальнейшую переработку.

Из полученных образцов шлама были изготовлены пробные отливки чугуна (рис. 2)



Рис. 1. Образец чугуна, полученного из шлама

С целью определения состава отливок проводился химический анализ проб. Содержание элементов следующее: V – 0,12%; Cr – 0,046; Mn – 0,93; Co – 0,048; W – 0,6. В процессе плавления ценные легирующие компоненты из шлама переходят в состав чугуна – получается так называемый природно-легированный чугун.

Полученные в работе данные свидетельствуют о возможности использования красных шламов в качестве альтернативного товарного сырья для доменного производства. Так же решается проблема складирования красных шламов и проблема комплексной переработки высокожелезистого бокситового сырья.

Продолжая проблему комплексного использования глиноземсодержащего сырья, был предложен метод получения скандиевого концентрата из красных шламов, анализ пробы концентрата показал эффективность предложенного метода.

Мальцева Ю.О., студентка  
Логинов Ю.Н., проф., д-р техн. наук

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МЕДНОГО СЛИТКА ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Современный уровень развития вычислительной техники позволил создать комплексы расчетных программ для описания напряженно-деформированного состояния заготовок при обработке давлением. В качестве примера таких систем можно упомянуть программные модули ПЛАСТ, DEFORM, QFORM, РАПИД и др. Часть из этих программных средств ориентированы на решение задач горячей обработки давлением, к этому классу относится, как правило, и задача прессования.

Проблема работы расчетного аппарата механики деформируемого тела частично решена разработкой упомянутых пакетов программ, но для постановки задач в них необходима формулировка граничных условий, в том числе по теплопередаче. Если можно считать, что такой инструмент, как сам способ решения задачи методом конечных элементов или аналогичные способы, является разработанным, хотя нуждается в определенных усовершенствованиях, то гораздо более трудоемким является процесс создания баз данных по константам или зависимостям, описывающим теплопередачу. Ситуация усложняется тем, что существующие в физике данные иногда мало подходят для описания теплопередачи в процессах обработки металлов давлением, из-за высоких напряжений, существования ювенильных и, наоборот, окисленных поверхностей с учетом возможности изменения степени окисленности в течение технологического процесса.

Как известно, теплопередача осуществляется тремя способами: излучением, конвекцией, теплопроводностью. Обычно разделяют металлы и сплавы по интенсивности теплоотдачи, которая осуществляется тем или иным способом в условиях обработки давлением. Например, для обработки алюминиевых сплавов значимым является конвективный теплообмен, и процессы излучения можно не учитывать, поскольку температура обработки их достаточно невелика. При температурах обработки выше  $600^{\circ}\text{C}$ , что характерно для меди и ее сплавов, на первое место выходит лучистый теплообмен до момента соприкосновения заготовки с инструментом пресса, когда на первый план выходит процесс теплопроводности. Решение задачи перераспределения температуры на стадии распрессовки и прошивки слитков из медных сплавов ранее рассматривалось в технической литературе, но в качестве постулата было принято допущение о равномерном распределении температуры по истечении времени переноса слитка в контейнер пресса.

В соответствии с законом Стефана–Больцмана удельный (на единицу площади) лучевой поток реального тела пропорционален четвертой степени его абсолютной температуры и степени черноты излучающего тела. Отсюда следует, что в случае приближения степени черноты тела к нулю, лучевой поток также стремится к нулю, а при приближении величины степени

черноты к единице поток максимален. Из закона сохранения энергии следует, что чем больше окажется лучевой поток, тем быстрее остынет тело.

Значения степени черноты  $k_{\text{ч}}$  для меди в зависимости от температуры и состояния поверхности приведены на рис. 1.

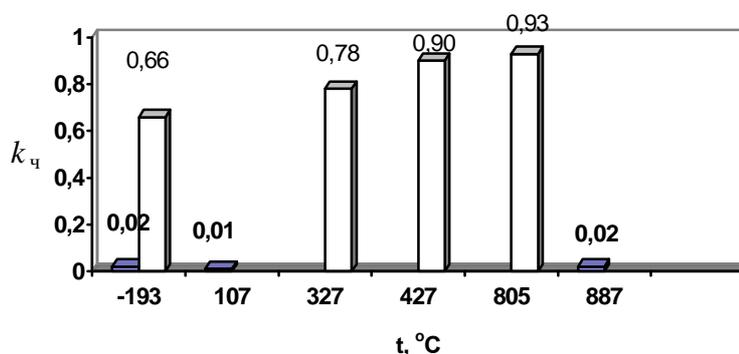


Рис. 1. Значения коэффициента теплового излучения в направлении нормали к поверхности для неокисленной меди (низкие темные столбцы) и для окисленной меди (высокие светлые столбцы)

Как видно из графика, интервал колебаний параметра  $k_{\text{ч}}$  оказывается велик, он составляет 0,01...0,93, что дает ошибку при неправильном назначении в 9000%. При этом основным параметром, влияющим на его величину, является даже не температура, а состояние поверхности, точнее, наличие на ней окислов.

Как это следует из приведенных данных, медная заготовка с неокисленной поверхностью тепло не теряет, а с окисленной поверхностью активно отдает тепло окружающему пространству. При прессовании медных заготовок возможны несколько вариантов состояния их поверхности.

Слиток, предназначенный для прессования, нагревают в печи, используя либо индукционный, либо пламенный нагрев. Во избежание водородной болезни стараются использовать слабоокислительную атмосферу. В результате поверхность заготовки окислена, и в таком виде слиток передают на прессование. Во время транспортной операции слиток частично теряет тепло за счет излучения. При окисленной поверхности излучение максимально и максимально снижение температуры, возникает градиент температур по сечению слитка. Для окисленной поверхности степень черноты  $k_{\text{ч}}$  следует принимать на уровне 0,9, как это следует из приведенного выше графика.

Слиток перед прессованием нагревают и для удаления дефектного поверхностного слоя подвергают скальпированию. На поверхность выходят ювенильные (чистые от окислов) слои металла. Неокисленная поверхность характеризуется низкой степенью черноты, потеря тепла излучением затруднена, слиток сохраняет тепло, градиент температур небольшой. Для неокисленной поверхности степень черноты должна быть меньше 0,9. В то же время достижение степени черноты минимального значения, равного 0,01, вряд ли возможно, поскольку оно относится к полированной поверхности. При прессовании поверхность заготовки унаследует шероховатость

прессового инструмента и имеет риски, царапины от налипшего на него металла. Как компромиссный вариант можно рассмотреть возможность применения значения  $k_4$  на уровне 0,2. В то же время необходимо учесть динамику процесса окисления, т.е. в улучшенных решениях эта величина оказывается переменной.

В отличие от других процессов обработки металлов давлением прессование ведется с интенсивными внутренними сдвигами в металле. При наличии вблизи матрицы мертвой (жесткой) зоны вдоль этой поверхности происходит срез металла, и на поверхность изделия попадает не окисленный поверхностный слой слитка, а внутренний слой, образуя новую ювенильную (чистую, свободную от окислов) поверхность. Для этой поверхности степень черноты может оказаться очень малой величиной до тех пор, пока заготовка не окислится. Отпрессованная заготовка прямо из отверстия матрицы попадает в воду (безокислительный метод прессования) и остается в приемном лотке прессы, заполненном водой, пока весь металл слитка не будет выпрессован. На первый взгляд, термически тонкое тело должно быстро остыть в проточной холодной воде. Однако, несмотря на очень высокую теплопроводность, медная заготовка продолжает светиться под слоем воды во время всего цикла ее выпрессовывания из контейнера прессы. Это можно объяснить ее ювенильной поверхностью, имеющей очень низкую степень черноты. До сих пор это явление объяснялось исключительно поддержанием паровой рубашки, обладающей малой теплопроводностью, вокруг раскаленного металла.

При окислительном прессовании (в воздушной атмосфере) пресс-изделия могут быстро окислиться, за счет чего повышается степень черноты, и потерять тепло, несмотря на то, что воздух является теплоизолятором.

Значимость влияния степени черноты на процесс остывания медной заготовки проверена в последующих расчетах. Допустим, что слиток диаметром 200 мм и длиной 400 мм (соотношение длины к диаметру 2) нагрет достаточно равномерно и имеет температуру 860°C, характерную для производственных условий. Зададим время переноса слитка и подготовки его к прессованию на уровне 30 с.

При указанной температуре теплопроводность меди составляет 335 Вт/(м\*град), а удельная теплоемкость 425 (Дж/кг\*град). Для расчета распределения температуры по сечению слитка использовали программный модуль РАПИД-2D, предназначенный для расчета напряженно-деформированного состояния при кузнечных операциях, и имеющий подсистему расчета динамики охлаждения заготовки за счет процесса излучения. С помощью этого пакета решены некоторые краевые задачи прессования, но постановка этих задач предполагала равномерное распределение температуры перед загрузкой слитка в контейнер прессы.

На рис. 2 представлены результаты расчета при назначении степени черноты на двух уровнях: для окисленного металла 0,9 (а), для малоокисленного металла 0,2 (б). В нижней части изображения представлена сетка конечных элементов, с помощью которой выполнен расчет.

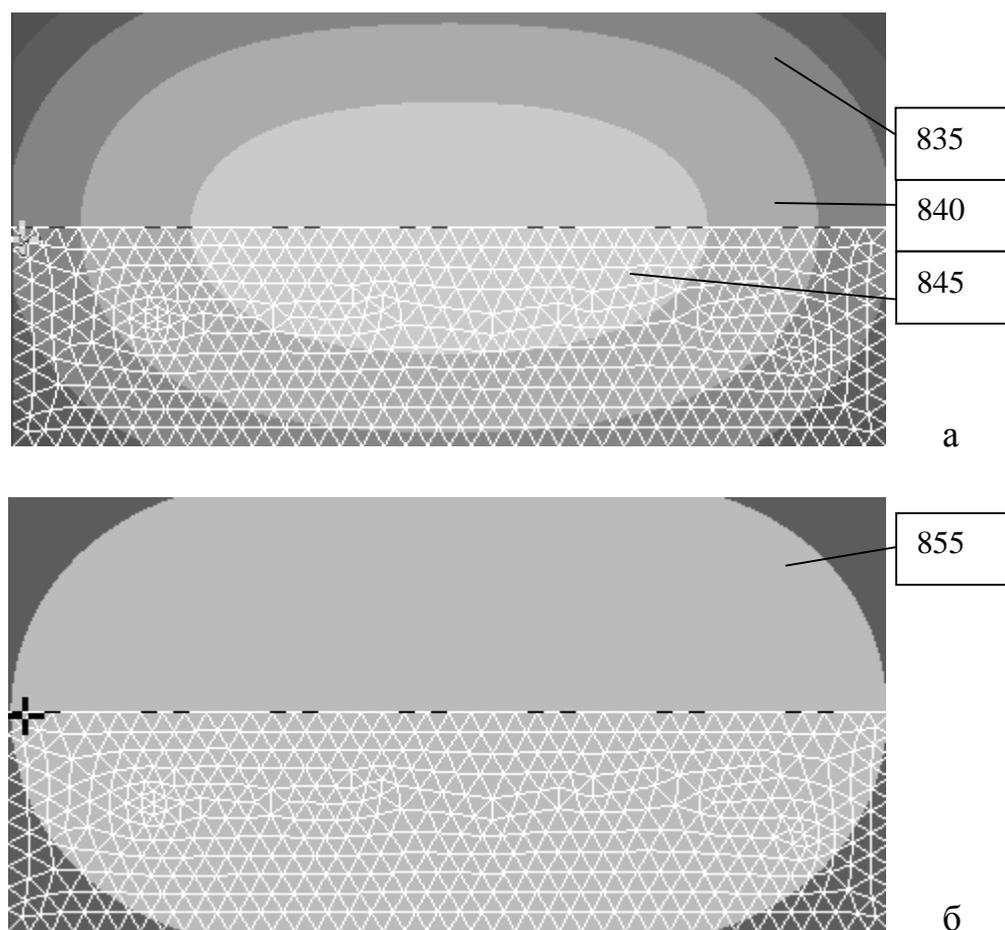


Рис. 2. Распределение температуры в медном слитке при начальной температуре нагрева  $860^{\circ}\text{C}$ , времени излучения 30с, степени черноты 0,9 (а) и 0,2 (б)

Как видно из рисунка, при степени черноты 0,9 градиент температур достаточно значителен и составляет  $25^{\circ}\text{C}$ , а при степени черноты 0,2 он настолько мал, что его можно не принимать во внимание. Из рисунка видно, что наиболее холодными оказались кромки слитка, что не противоречит физике процесса, поскольку кромки отдают тепло как со стороны боковой поверхности цилиндра, так и со стороны его торца.

Процесс теплопередачи внутри самого слитка осуществляется за счет теплопроводности. Медь является одним из самых теплопроводных материалов, поэтому процесс теплопередачи в ней осуществляется быстро.

Дальнейшие расчеты показали, что для менее теплопроводных материалов, например латуни, ситуация изменяется не очень значительно. Расположение изотерм для меди и латуни отличаются друг от друга, у латунного слитка поверхностные слои остывают больше, чем у медного слитка, что объясняется меньшей теплопроводностью латуни. В результате скорость передачи тепла от центральных слоев оказалась ниже, и периферийные слои латунного слитка оказались ненамного холоднее, чем у медного слитка. Снижение степени черноты до 0,2 вызывает меньший

теплоотвод с поверхности латунного слитка, и распределение температур становится более равномерным, как и в случае остывания медного слитка.

Форма изотерм для медного и латунного слитка оказалась различной: в первом случае это овал, а во втором случае – плоский овал. Это различие объясняется тем, что для более теплопроводного материала – меди, характерна ускоренная передача тепла во всех направлениях. Очевидно, что при приближении теплового сопротивления к нулю, наблюдалось бы приближение формы изотерм к окружности.

Вместе с тем, как можно оценить из анализа всех решений, при учете излучения величина теплопроводности мало сказывается на характере распределения температуры, гораздо большее влияние оказывает степень черноты материала.

Выводы.

1. Скорость остывания поверхности заготовки за счет излучения зависит от степени окисленности материала.

2. Для ювенильной поверхности, характерной для безокислительного прессования и скальпирования, снижение температуры поверхности заготовки за счет излучения минимально.

3. При передаче заготовки на ось прессования окисленная поверхность слитка промышленных размеров из меди или медного сплава за счет излучения может остыть на 25...30°C.

Первухин Е.В., студент  
Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА СТАРЕНИЯ ПРЕССОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ ШИФРА НП4161 ИЗ СПЛАВА АД33

В последнее время значительно возросли заказы на поставку прессованных профилей НП 4161 из сплава АД33Т1, основным заказчиком которых является ФГУП «Миасский машиностроительный завод», применяющий их для монтажа в качестве купольных крышек резервуарных конструкций.

Помимо разработки инструмента для операции прессования, одним из наиболее важных факторов является старение. Выбор оптимального режима старения позволяет получить необходимый уровень механических свойств изделия. Задача состояла в доработке и оптимизации технологического процесса изготовления профиля для получения заданных механических свойств и удовлетворения требований заказчика.

Анализируя механические свойства, полученные после термообработки образцов в лабораторных условиях, можно отметить, что наиболее высокий их уровень получен при старении образцов по серийному режиму:  $T = 175 \pm 5^\circ \text{C}$ ,  $\tau_{\text{выд}} = 10$  ч. Наиболее низкие механические свойства получены при режиме:  $T = 182 \pm 5^\circ \text{C}$ ,  $\tau_{\text{выд}} = 3$  ч –  $\sigma_{\text{в}}$  ниже требуемого по нормали;  $\sigma_{0,2}$  – соответствовал нормали, но находится близко к нижнему пределу. Значения  $\delta$  – очень высокие. Низкие прочностные характеристики (особенно, когда значения  $\sigma_{0,2}$  приближены к  $\sigma_{\text{в}}$ ) при высокой величине  $\delta$  свидетельствуют о неоднородности структуры. Действительно, при исследовании макроструктуры на всех партиях, состаренных по режиму  $T = 182 \pm 5^\circ \text{C}$ ,  $\tau = 3$  ч, наблюдалось крупное зерно. На профилях, состаренных по режиму  $T = 190^\circ \text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч, получены удовлетворительные значения  $\sigma_{\text{в}}$  и  $\sigma_{0,2}$  и самые низкие значения  $\delta$ .

При неравновесной кристаллизации сплава АД33, помимо первичных  $\alpha$ -кристаллов, обнаруживается эвтектическая составляющая – двойная эвтектика  $\alpha + \text{Mg}_2\text{Si}$ . Она имеет вырожденное строение, ее мало и металлографически она выявляется как включения силицида магния  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , который является основной упрочняющей фазой сплава АД33.

Считается, что небольшая добавка меди ( в среднем 0,25%) полностью находится в  $\alpha$ -растворе, а примесь железа допускается в значительных количествах ( до 0,7%) и образует железистую фазу  $\text{FeAl}$  или, вероятнее, одну из тройных фаз–  $\alpha$  (Al-Fe-Si) (при отношении  $\text{Fe}:\text{Si} > 1$ ) или  $\beta$  (Al-Fe-Si) (при  $\text{Fe}:\text{Si} < 1$ ). Небольшая добавка хрома (0,25%) частично находится в  $\alpha$ -растворе, а частично – в железистой фазе, которую часто обозначают как (Al,Cr,Fe,Si). Титан выполняет роль модификатора. В структуре горячедеформированных и закаленных полуфабрикатов включения  $\text{Mg}_2\text{Si}$  не обнаруживаются, так как они полностью переходят в  $\alpha$ -раствор. Нерастворимая железистая фаза дробится при деформации и выявляется в

виде мелких частиц. В процессе старения происходит выделение из твердого раствора  $Mg_2Si$ . При первоначальном режиме старения ( $T = 175 \pm 5^\circ C$ , 10 ч)  $Mg_2Si$  выделяются в небольшом количестве – не хватает энергии, а благодаря длительной выдержке происходит значительный рост объема каждой частицы. В процессе пластической деформации дислокации обтекают частицы  $Mg_2Si$ , заметного упрочнения не наблюдается и, как следствие, – высокие значения  $\delta$ , значительно превышающие заданные по нормали.

При старении профилей при  $T = 190 \pm 5^\circ C$  и  $\tau = 4$  ч происходит значительное выделение частиц  $Mg_2Si$ , но в связи с небольшой выдержкой заметного роста размеров этих частиц не происходит, и при последующей деформации дислокации не обтекают их, а останавливаются. За счет этого происходит рост прочности и значительное снижение  $\delta$ .

На всех профилях макроструктура имеет крупное зерно, поэтому при последующих плавках необходимо повысить содержание Ti до верхнего предела по НД. В исследуемых плавках содержание Ti = 0,4..0,7% , а так как он является модификатором, то его высокое содержание приведет к уменьшению размера зерна. В заключение выделим следующее.

1. Повышение температурных параметров прессования не оказывает существенного влияния на механические свойства профиля НП 4161.

2. Старение сплавов 6061 и 6082 по режиму:  $T = 182 \pm 5^\circ C$ ,  $\tau_{\text{выд}} = 3$  ч нельзя использовать для профилей сплава АД33, т.к. полученные значения механических свойств ниже требуемых по нормали.

3. Значения  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$ , полученные при старении по режимам:  $T = 175 \pm 5^\circ C$ ,  $\tau_{\text{выд}} = 10$  ч и  $T = 182 \pm 5^\circ C$ ,  $\tau_{\text{выд}} = 5$  ч, соответствуют требуемым по нормали, значения  $\delta$  превышают требуемые значения.

4. На всех профилях независимо от режима старения имеет место неоднородность механических свойств и крупнозернистая макроструктура.

5. В результате сокращения времени старения профилей на 6 часов (с 10 до 4 ч) получена экономия электроэнергии в размере 2400 кВт·ч с каждой садки, загруженной на старение; сокращен цикл изготовления профилей.

Попов Е.В., студент  
Хамматов И.М., аспирант  
Дружинин Г.М., проф., д-р техн. наук

## АСУ ПЕЧИ С РЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ГОРЕЛОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Система автоматики предназначена для контроля и управления работой печи стана 300.

АСУ печи реализует следующие функции:

- сбор информации от датчиков на печи программируемым логическим контроллером (ПЛК);
- обмен информацией ПЛК с операторскими панелями (ОП), установленными в помещении КИП, на местном посту управления;
- установка заданий и настроек для контуров регулирования на ОП в помещении КИП;
- установка заданий для контуров регулирования с местного поста управления;
- выполнение программы управления работой печи;
- визуализация и архивирование параметров технологического процесса;
- формирование на выходных блоках ПЛК сигналов на управление регулирующими органами;
- самодиагностика состояния АСУ.

Структурно система управления печи состоит из следующих локальных АСУ:

- 1) зоны 1;
- 2) зоны 2;
- 3) зоны 3;
- 4) автоматики безопасности;
- 5) общепечная.

В системах отопления локальных зон нагрева 1 и 2 печи используются автоматизированные регенеративные горелки REGEMAT M350, расположенные попарно на боковых стенках печи, по четыре на каждую зону. Функционирование каждой из горелок обеспечивается индивидуальным блоком управления горелкой REGEMAT M350. Блок управления по команде с управляющего контроллера осуществляет включение и выключение горелки, перевод в режим работы горелки BOOST или FLOX®; ионизационный контроль факела, контроль диффдавления воздуха; параметрирование минимального времени горения, времени паузы, выбег воздуха; конфигурирование поведения при ошибке (повторная попытка запуска, повторный старт продувки воздухом после аварийного отключения).

АСУ 1-й и 2-й зон отопления строятся однотипно. АСУ зоны отопления 1(2) обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение и контроль температуры;
- ПИ-регулирование температуры.

Структурная схем АСУ 3-й зоны отопления печи стана 300 приведена на рис. 1. В системе отопления локальной зоны нагрева 3 печи используются автоматизированные регенеративные горелки, расположенные попарно на боковых и торцевой стенках печи. Горелки работают цикличнопоочередно в двух режимах.

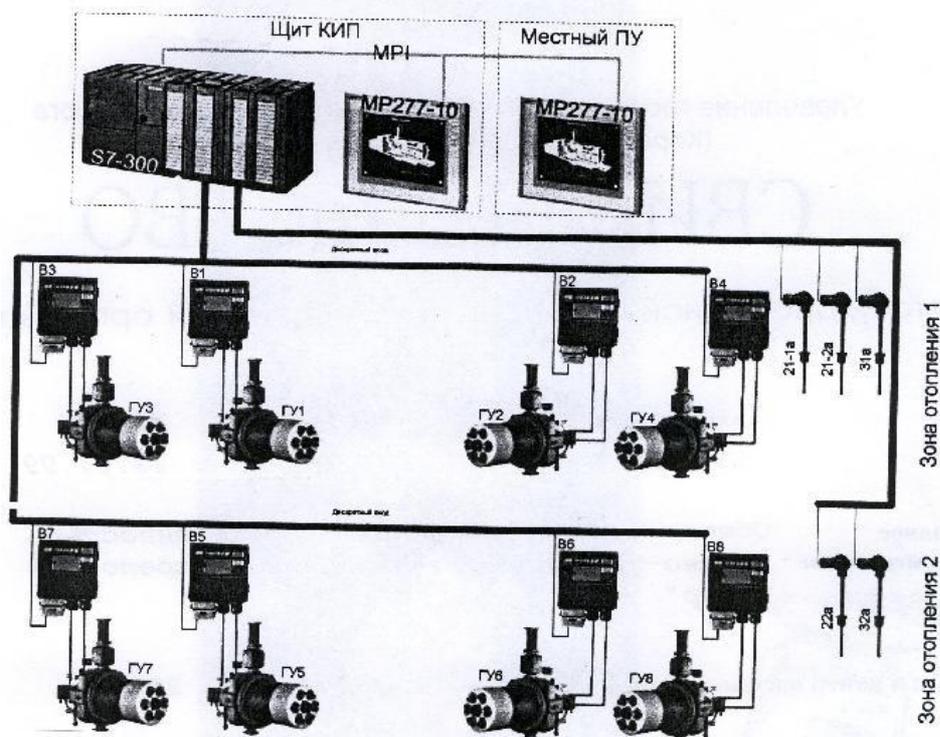


Рис. 1. Структурная схема АСУ 1 и 2 зоны отопления печи стана 300

Розжиг горелочных фурм ГУ9...ГУ12 осуществляется по команде с пульта оператора с помощью запальных горелок. По команде с контроллера подается искра с трансформатора розжига (поз. 9а..2а) на запальный электрод, при этом открывается газовый клапан запальной горелки (поз. 9г..12г). При успешном розжиге факел запальной горелки фиксируется фотодатчиком (поз. 9б..12б), в противном случае попытка розжига повторяется. После второй неудачной попытки розжиг прекращается и выдается сигнал о неисправности. Новый розжиг производится по команде с пульта оператора.

После розжига запальных горелок система отопления зоны 3 переходит в рабочий режим, при котором сначала две фурмы (ГУ9 и ГУ11) работают в режиме нагрева, а другие две фурмы (ГУ10 и ГУ12) работают в режиме дымоудаления. Схема режимов происходит по заданному времени, по истечении которого осуществляется перекидка клапанов подачи воздуха и дымоудаления (поз. 9з..12з), снятие напряжения с газовых клапанов горелок ГУ9 и ГУ11 (поз. 9ж, 9д, 9с и 11ж, 11д, 11с) и открытие газовых клапанов горелок ГУ10 и ГУ12 (поз. 10ж, 10д, и 12ж, 12д, 12е). Контроль температуры отходящих газов осуществляется на термопаре (поз. 9в..12в). При превышении

предельной температуры дымовых газов после регенератора происходит отсечка газа на неисправной фурме, а также на фурме, работающей в противофазе, выдается сообщение о неисправности.

Функционирование горелок обеспечивается управляющим контроллером S7-300, выполняющим следующие функции:

- измерение и контроль температуры;
- ПИ-регулирование температуры;
- розжиг и контроль факела запальной горелки;
- управление чередованием включения горелочных фурм и перекидкой клапанов.

Оперативное управление технологическими режимами печи производится с рабочего места оператора выдачи, где размещается местный пульт управления печью.

Общепечная АСУ обеспечивает функции:

- измерение и поддержание заданного давления в воздушном коллекторе зоны отопления 1 и 2;
- измерение расхода газа на зоны отопления 1 и 2;
- измерение и поддержание заданного разрежения в коллекторе дымоудаления зоны отопления 1 и 2;
- измерение и поддержание заданного разрежения в коллекторе дымоудаления зоны отопления 3;
- измерение расхода газа на зону отопления 3;
- измерение расхода воздуха на зону отопления 3;
- поддержание заданного давления в газовом коллекторе зоны отопления 1 и 2;
- поддержание заданного давления в газовом коллекторе зоны отопления 3;
- поддержание заданного давления в газовом коллекторе запальных горелок;
- поддержание заданного давления в воздушном коллекторе запальных горелок;
- измерение и поддержание давления в печи;
- измерение температуры отходящих газов из печи.

В проекте предполагается использование двух систем воздухо-снабжения с двумя коллекторами подачи воздуха к печи: к горелкам REGEMAT M350, обеспечивающие отопление 1 и 2 зоны печи и к регенеративным горелкам, отапливающих 3 зону печи. Подачу воздуха к печи обеспечивают 2 вентилятора, по одному на каждую систему, изолированные друг от друга дроссельными заслонками. Кроме того, предусмотрен резервный вентилятор, включение которого производится после остановки рабочих и перекрытия необходимых дроссельных заслонок.

В каждой системе воздухо-снабжения реализуется контур регулирования давления воздуха. Чувствительные элементы в контуре - датчики давления в 1-м коллекторе и 2-м коллекторе, в качестве

регулирующих органов применяются вентиляторы с частотными приводами. В 1-й системе воздухообеспечения расчет количества продуваемого воздуха производится путем пересчета от значения давления воздуха в коллекторе, поступающего от соответствующего датчика давления. Во 2-й системе воздухообеспечения расход воздуха рассчитывается на напорной трубке датчиком дифференциального давления и пересчитывается контроллером в зависимости от значения давления воздуха в коллекторе (от датчика).

Запуск вентиляторов производится вручную с силового шкафа ШС.

В проекте предполагается использование трех систем удаления дымовых газов из печи:

- через дымовой коллектор горелок REGEMAT M350;
- через дымовой коллектор регенеративных горелок;
- через дымовой канал печи.

Удаление дымовых газов в первых двух случаях обеспечивается работающими независимо друг от друга дымососами, работающими на дымовую трубу. Третья система дымоудаления работает через дроссельную заслонку непосредственно на дымовую трубу.

В системах дымоудаления регенеративных горелок и горелок REGEMAT M350 реализуется контур регулирования разрежения в дымовом коллекторе.

Чувствительные элементы в контурах регулирования разрежения - датчик разрежения в дымовом коллекторе горелок REGEMAT M350 и датчик разрежения в дымовом коллекторе регенеративных горелок. В качестве регулирующих органов используются дроссельные заслонки.

Запуск дымососов производится вручную с силового шкафа ШС.

В системе "дымоудаление через дымовой канал" реализуется контур регулирования давления-разрежения в печи, где в качестве чувствительного элемента используется датчик давления-разрежения, а в качестве регулирующего органа - дроссельная заслонка. Кроме того, в дымовом канале предусмотрен контроль разрежения после регулирующей дроссельной заслонки датчиком разрежения.

Проект системы автоматического управления работой печи стана 300 предусматривает выполнение требований безопасности, установленных ГОСТ 21204-01 "Горелки газовые промышленные" и "Правилами безопасности в газовом хозяйстве", утвержденными Постановлением Госгортехнадзора России от 30.11.98 № 71.

Структурная схема системы автоматики безопасности приведена на рис. 2.

Система АВ контролирует технологические параметры, от которых зависит безопасная эксплуатация печи. При их изменении за пределы допустимых значений система АВ производит аварийное отключение подачи газа на печь, фиксирует причину и время аварийного срабатывания системы, включает световую и звуковую аварийную сигнализацию.

Система автоматики безопасности (далее – система АВ) печи обеспечивает выполнение следующих функций:

- проверка готовности печи к розжигу, включающую автоматический контроль и блокировку начала розжига при аварийных значениях давления газа, воздуха и разрежения;

- контроль при розжиге горелок REGEMAT M350 в зонах 1 и 2, запальных горелок в 3-й зоне, закрытие природного газа к печи клапаном безопасности при аварийных значениях давления газа, давления воздуха и при прекращении подачи электроэнергии;

- аварийное отключение подачи природного газа к работающей печи в случаях:

- 1) погасания какой-либо из горелок зоны 3;
- 2) высокого или низкого давления газа;
- 3) низкого давления воздуха;
- 4) низкое разрежение перед дымососами;
- 5) низкого давления воды на охлаждение печи;
- 6) высокой температуры воды на входе и выходе на охлаждение печи;
- 7) увеличение температуры дымовых газов свыше 200°С (за регенеративными насадками для защиты перекидных клапанов);
- 8) прекращение подачи электроэнергии;

- автоматическое включение светозвуковой сигнализации при аварийном отключении подачи природного газа на печь.

При неисправностях перекидного клапана, обрыве термопары зоны, превышении аварийной температуры в зоне вырабатывается предупредительный сигнал.

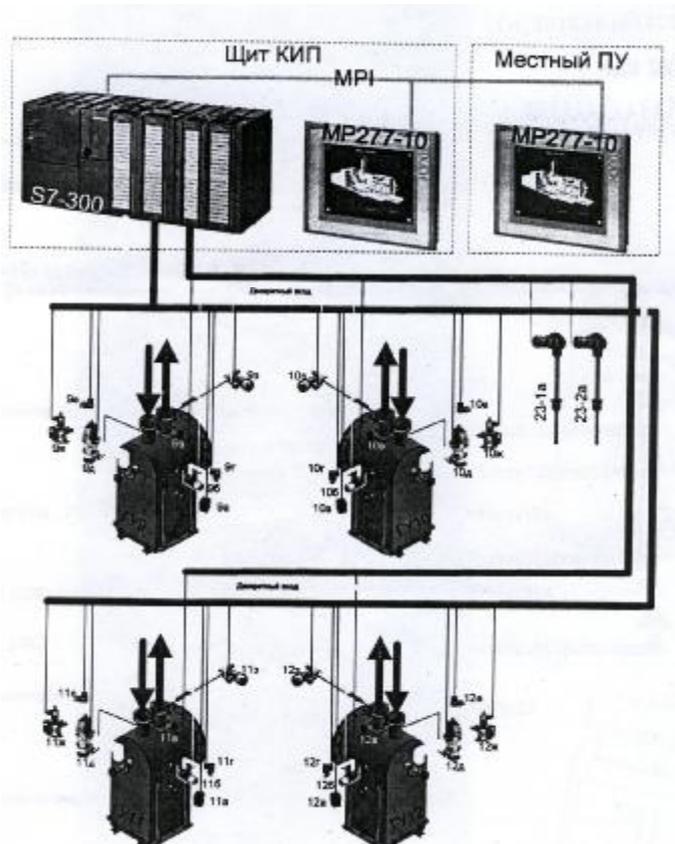


Рис. 2. Структурная схема АСУ 3 зоны отопления печи стана 300

Мальчуков А.О., студент  
Ярошенко Ю.Г., проф., д-р техн. наук

## БИОГАЗ – ПРОДУКТ УТИЛИЗАЦИИ БИООТХОДОВ

В мире все больше говорят о необходимости замены нефти, угля и газа на биотопливо. Отголоски уже доходят и до России, где, впрочем, пока немногие понимают, что же такое биотопливо. В прессе иногда можно встретить рассказы о чудесных веществах, совершенно не загрязняющих окружающую среду и более эффективных, чем бензин, керосин и дизельное топливо.

В действительности ничего принципиально нового в биотопливе нет. Биотопливо использовалось тысячелетиями и для многих остается единственным источником тепла и средством приготовления пищи.

В наше время под термином "биотопливо" редко подразумевают дрова. Речь, как правило, идет о более высокотехнологичных продуктах, получаемых из отходов сельскохозяйственных культур или отходов переработки растительного и животного сырья. Возобновляемость этих ресурсов вопросов не вызывает.

Одним из главных преимуществ биотоплива является то, что при сгорании любого вида биотоплива в атмосферу возвращается углерод, который ранее поглотили растения, поэтому углеродный баланс планеты остается неизменным.

Что же касается вредных выбросов, то биотопливо несколько выигрывает у нефтяного. Большинство исследований показывают, что биотопливо обеспечивает снижение выбросов монооксида углерода и углеводородов. Кроме того, биотопливо практически не содержит серы и золы. Вместе с тем, несколько увеличивается выброс оксидов азота, при неполном сгорании некоторых видов биотоплива в атмосферу попадают альдегиды. Но, в целом, по уровню вредных выбросов биотопливо обладает явными преимуществами перед нефтяным.

Из биопродуктов можно получать различные виды биотоплива. Это и биогаз - метан, продукт органических остатков (например, навоза), в образовании которого участвуют бактерии, это и этанол – продукт спиртового брожения органических продуктов, содержащих углеводы (виноград, плоды и т.п.), образующийся с участием ферментов дрожжей и бактерий. Большой интерес представляет биотопливо для автотранспорта в качестве заменителя сжиженного газа, бензина и дизельного топлива. Технологии получения биотоплива популярны на Западе, их также начинают обсуждать и в России.

*Современное состояние проблемы отходов в России.* В Российской Федерации накопилось около 50 млрд. т отходов, ежегодно к ним добавляется 2800 млн. т отходов, из которых используется и обезвреживается не более 51%. При этом объём токсичных отходов составляет более 90 млн. т, что превышает почти в 2 раза объём используемых и

обезвреживаемых таких отходов. Неиспользуемые отходы – это миллиарды тонн выведенных из хозяйственного оборота безвозвратно теряемых материальных ресурсов.

Под полигоны и свалки твёрдых отходов ежегодно отчуждается около 10 тыс. га пригодных для использования земель, не считая площади земель, загрязняемых многочисленными несанкционированными свалками. Размещать отходы можно временно или прибегать к их захоронению.

С традиционно применявшимися свалками обычно связано множество проблем – они являются рассадниками грызунов и птиц, загрязняют водоёмы, самовозгораются и т.д. В 50-х годах стали внедрять «санитарные полигоны», на которых отходы каждый день пересыпают почвой.

На свалках отходы из органических веществ природного происхождения (бумажные материалы, картон, волокнистые материалы из клетчатки или её производных, а также белковые материалы, в том числе разнообразные пищевые отходы) будут, в первую очередь, подвергаться воздействию биологических и биохимических факторов. Особенно это касается теплого периода времени (при плюсовых температурах).

В условиях биологического и биохимического разложения органических веществ на свалках происходит образование и патогенной флоры, то есть развиваются и размножаются бактерии, вызывающие инфекционные заболевания. Опасно старение твёрдых промышленных и биологических отходов из синтетических полимерных материалов, особенно тех, которые в результате разложения образуют канцерогенные вещества.

Атмосферные осадки помогают миграции химических элементов, их встрече друг с другом, взаимодействию, а также проникновению в грунтовые воды, что, естественно, негативно сказывается на состоянии окружающей среды и, в конечном итоге – на здоровье человека.

*Свалочный газ.* Разложение (гниение) мусора происходит под воздействием бактерий, принадлежащих к двум большим семействам: ацидогенов и метаногенов. Ацидогены производят первичное разложение мусора на летучие жирные кислоты, метаногены перерабатывают летучие жирные кислоты в метан -  $\text{CH}_4$  и диоксид углерода -  $\text{CO}_2$ . В результате свалочный газ состоит примерно из 50%  $\text{CH}_4$ , 50%  $\text{CO}_2$ , включая небольшие примеси  $\text{H}_2\text{S}$  и органических веществ.

Можно утверждать, что в среднем генерация газа заканчивается в свалочном теле в течение 10 – 50 лет, при этом удельный выход газа составляет 120 – 200 м<sup>3</sup> на тонну твёрдых биологических отходов. Наиболее интенсивно процесс протекает в первые 5 лет, в течение которых выделяется около 50% полного запаса свалочного газа.

Состав биогаза (см. таблицу) обуславливает ряд его специфических свойств. Прежде всего свалочный газ горюч, взрывоопасен, а в определённых концентрациях он может быть и токсичен. Также свалочный газ относится к числу парниковых газов, что придаёт ему глобальную значимость. В общем свободное распространение свалочного газа приводит к загрязнению

атмосферы токсичными и дурно пахнущими соединениями. Отсюда необходимость борьбы с неорганизованными выбросами свалочного газа.

Типичный состав биогаза			
Вещество	%	Вещество	%
Метан, CH <sub>4</sub>	50—75	Водород, H <sub>2</sub>	0—1
Углекислый газ, CO <sub>2</sub>	25—50	Сероводород, H <sub>2</sub> S	0—3
Азот, N <sub>2</sub>	0—10	Кислород, O <sub>2</sub>	0—2

Производство биогаза из различных городских отходов налажено во многих странах. Для организации сбора свалочного газа на полигонах используется следующая принципиальная схема: сеть вертикальных газодренажных скважин соединена между собой линиями газопроводов, в которых компрессорная установка создаёт разряжение, необходимое для транспортировки свалочного газа к месту использования. Установки по сбору и очистке биогаза монтируются на специально подготовленной площадке за пределами свалки. Оценка газопродуктивности толщи твёрдых биологических отходов и твёрдых промышленных отходов проводится в ходе предварительных полевых газогеохимических исследований.

В мировой практике известны следующие направления использования свалочного газа в качестве топлива в установках различного назначения:

- для получения тепловой энергии;
- для газовых двигателей с целью получения электроэнергии;
- для бытовых целей при доведении содержания CH<sub>4</sub> в свалочном газе до 94%.

Поиск возможностей получения и использования свалочного газа является перспективным направлением развития науки и техники. Природные ресурсы не бесконечны, а для развития цивилизации населению Земли требуется энергия. В настоящее время в России свалочный газ дороже природного в 2-2.5 раза, но в результате специальных исследований можно найти способы удешевления этого вида топлива. За рубежом уже существуют различные программы по исследованию и внедрению таких видов топлива, в России же подобные программы отсутствуют, что несомненно является сдерживающим фактором в развитии этого научно-технического направления.

Терентьев П.А., студент  
Железняк Л.М., доц., канд. техн. наук

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМОАДЪЮСТАЖНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛИТ ИЗ СПЛАВА МАРКИ В96Ц-3ПЧ В УСЛОВИЯХ ОАО «КУМЗ»

Задача исследования состояла в доработке и оптимизации химического состава слитков, подборе режимов термообработки, а также изучении их влияния на показатель вязкости разрушения  $K_{Ic}$ , апробации в промышленных условиях, изучении структуры и определении механических свойств образцов от слитков, а также от термообработанных плит на окончательных стадиях технологического процесса производства плит из сплава марки В96ц-3пч и сравнении результатов с аналогичными данными, полученными параллельно при исследовании процесса изготовления плит из слитков с первоначальным химическим составом. Объектом лабораторного исследования служили поперечные темплеты от литниковых частей гомогенизированных (450-470°C, 24 ч) слитков из сплава В96ц – 3пч, отлитых по действующей технологии с первоначальным химическим составом, и слитков, отлитых с новым, скорректированным химическим составом.

По сравнению с первоначальным химическим составом в предлагаемой технологии снижено содержание меди с 1,7 до 1,5%, а также уменьшено содержание легирующих примесей - железа и кремния с одновременным приведением их отношения 1,5 вместо прежнего 1,3.

Объектами промышленного исследования служили слитки сечением 355x1371 мм, отлитые с первоначальным химическим составом, и слитки сечением 300x1100 мм, отлитые с откорректированным химическим составом, а также изготовленные из них плиты, прошедшие полный цикл термоадьюстажной обработки. Химический состав сплава по сечению слитка определяли методом спектрального анализа с помощью спектрометра «Спектролаб». Элементный состав фазовых составляющих изучали с помощью микроанализатора САМЕВАХ.

Сравнительный анализ результатов оценки качества слитков сечением 355x1371 мм, отлитых без модифицирования расплава и с модифицированием расплава лигатурным прутком Al - 5 Ti - 1В, показал следующее.

1. Размер зерна слитка, отлитого без модифицирования расплава, увеличивается в 2,5 – 3,0 раза.

2. Влияние модифицирования расплава не проявилось в изменении значений  $\psi$ ,% в интервале температур деформирования 400 - 425°C, и  $\psi$  имеет значения 98,2 – 98,8% как для модифицированного, так и немодифицированного расплава.

3. Повышение значений  $\delta$ , % в интервале температур деформирования 400 - 425°C от 72 – 89% до 98 – 104%, а также значений ударной вязкости от

1,2 – 1,5 до 1,6 – 1,7 кДж/мм<sup>2</sup> в случае отсутствия модифицирования расплава нельзя однозначно отнести к влиянию модифицирования.

После проведения полного цикла термоадьюстажной обработки от плит были отобраны темплеты для проведения испытаний, а также изучено соответствие полученных результатов требованиям технических условий. Анализируя механические свойства плит, полученных по действующей и предложенной технологии, сделали вывод, что плиты, изготовленные по новой технологии, по своим показателям превосходят плиты, полученные по действующей технологии, и удовлетворяют требованиям нормативной документации не только по  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{02}$ ,  $\delta$ , но и по показателю вязкости разрушения  $K_{1c}$ .

Степанов С.И., аспирант  
 Гадеев Д.В., студент  
 Илларионов А.Г., доц., канд. техн. наук  
 Демаков С.Л., доц., канд. техн. наук

## ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОТЕКАНИЕ ФАЗОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЗАКАЛЕННОМ ( $\alpha+\beta$ ) ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ16

Титановый сплав ВТ16 относится к высокопрочным сплавам ( $\alpha+\beta$ ) мартенситного класса, характеризуется повышенной пластичностью в отожженном и закаленном состояниях и соответственно высокой технологичностью в горячем и холодном состоянии. В данной работе рассматривается влияние степени холодной деформации при протекании термомеханической обработки на фазовые и структурные превращения. Исследование проводилось на прутках диаметром 12 мм.

Химический состав слитка, из которого были изготовлены прутки, приведен в таблице.

Содержание легирующих элементов в сплаве ВТ16

Содержание элементов, мас.%									
Ti	Al	Mo	V	Fe	Si	O	H	C	N
осн.	2,9	4,8	5,1	0,07	0,01	0,12	0,002	0,06	0,04

Данные полуфабрикаты были получены в промышленных условиях на предприятии ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Используемая в исследовании схема термической обработки образцов приведена на рис. 1.

Нагрев образцов производился до температуры 850°C с выдержкой 40 мин и последующей закалкой в воду. После чего образцы подвергаются холодной прокатке со степенями деформации 8,8; 15,9; 31 и 44%.

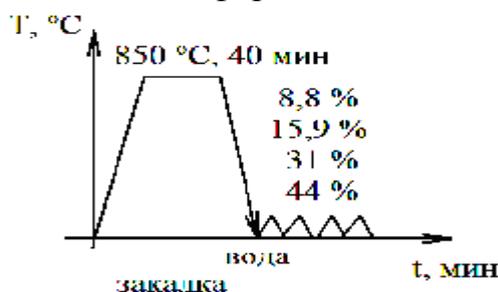


Рис. 1. Схема обработки сплава ВТ16

В работе использованы методы: рентгеноструктурный фазовый анализ, оптическая, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, дюротметрия, дифференциальный термический анализ.

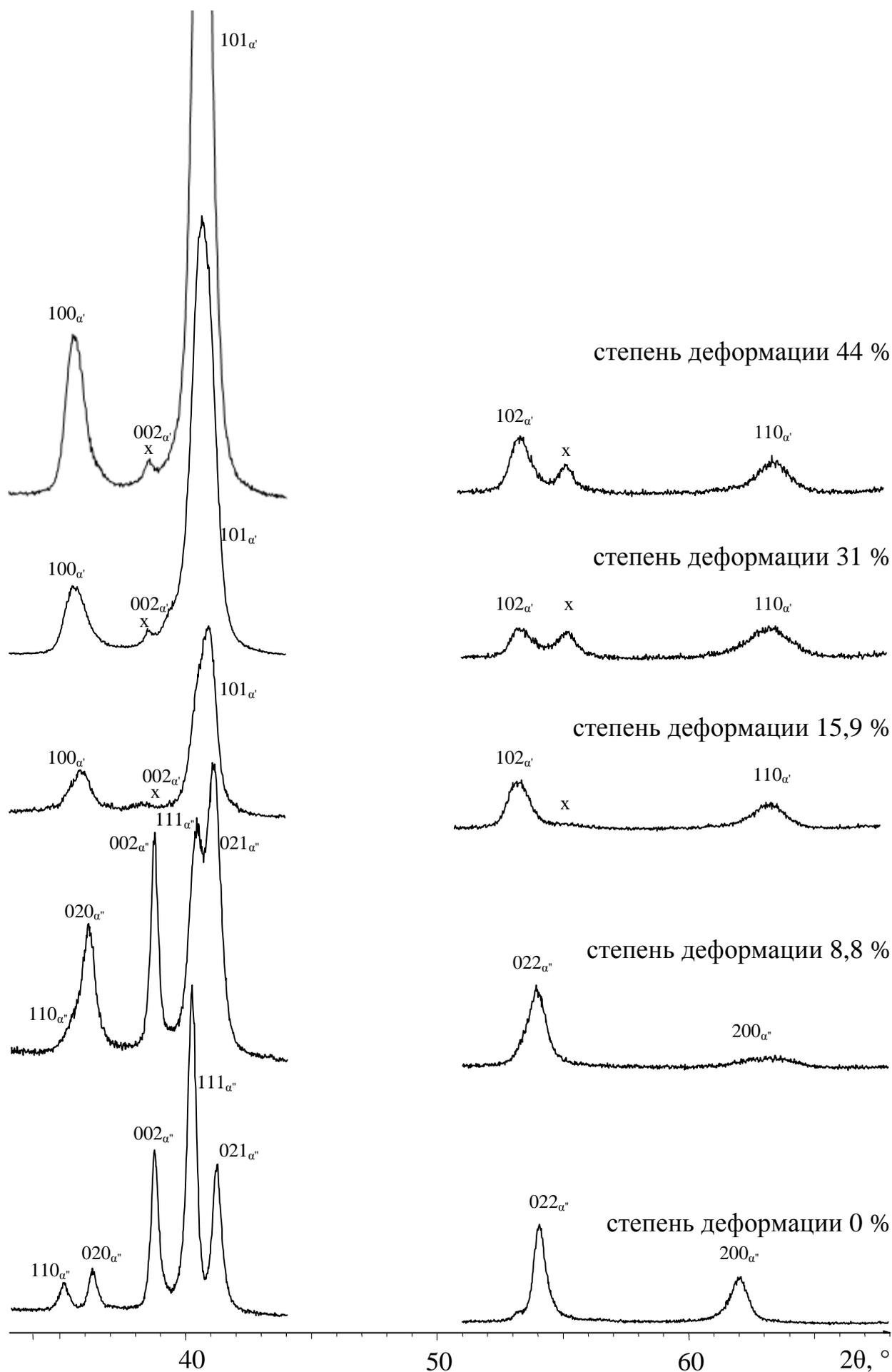


Рис. 2. Дифрактограмма закаленных деформированных образцов

В ходе исследования установлено, что холодная деформация приводит к изменению фазового состава закаленного сплава ВТ16, который определяли методом РСФА (рис. 2). Дифрактограмма недеформированного закаленного образца имеет вид, типичный для ортогональной решетки  $\alpha''$ -мартенсита.

При деформации 8,8% происходит существенное изменение вида дифрактограммы (рис. 2): наблюдается усиление линий (020) и (021); при соответствующем ослаблении линий (111) и (200) также несколько усилилась линия (002). Дуплеты линий (110) – (020) и (111) – (021) начинают сливаться в одну линию, а именно: дальние линии (020) и (021) смещаются в сторону меньших углов, а ближние линии (110) и (111) – в сторону больших углов.

Увеличение степени деформации до 15,9% способствует развитию процессов, происходящих во время деформации 8,8%. Дублет мартенситных линий  $(110)_{\alpha''}$  и  $(002)_{\alpha''}$  полностью преобразуется в одну линию, которую уже можно трактовать как линию  $(100)_{\alpha'}$  - мартенсита. Таким же образом трансформируется дублет  $(111)_{\alpha''}$  –  $(021)_{\alpha''}$  с образованием линии  $(101)_{\alpha'}$ . На меньших углах произошло смещение линии  $(022)_{\alpha''}$  в сторону больших углов до положения соответствующей линии  $(102)_{\alpha'}$ . То же самое можно сказать о переходе линии  $(200)_{\alpha''}$  в  $(110)_{\alpha'}$ . То есть по мере накопления деформации происходит деформационно-индуцированный переход  $\alpha''$ -мартенсита в  $\alpha'$ -мартенсит, причем минимальная степень деформации, необходимая для такого перехода, составляет 15,9% (рис. 3).

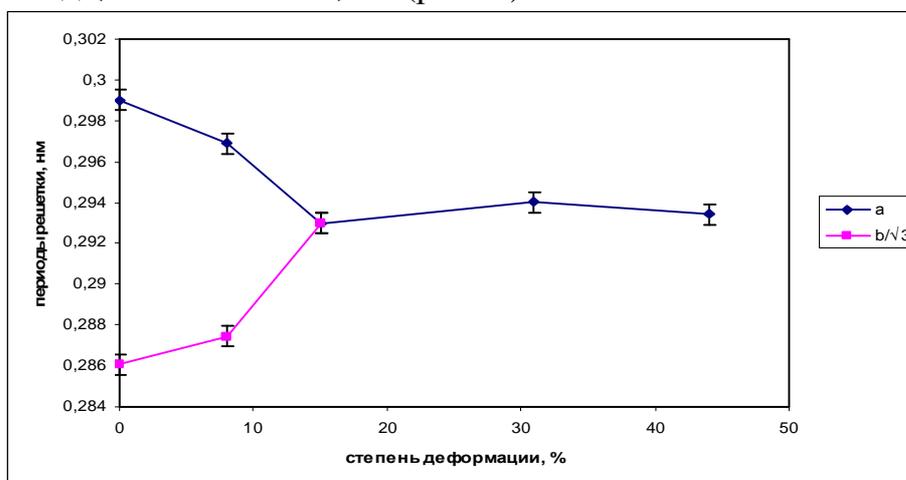


Рис. 3. Зависимость изменения периодов решетки мартенсита от степени деформации в закаленных образцах

Кроме того, на дифрактограмме обнаружено наличие слабой линии в районе угла  $2\theta \sim 55,5^\circ$ . Линия в этом диапазоне не может быть линией  $(022)_{\alpha''}$ , а отнести ее к линии  $(002)_{\beta}$  фазы без проведения дополнительных исследований затруднительно, поскольку в этом случае ее период составляет около 0,33 нм, что выше значений, встречающихся в обычных титановых сплавах. Увеличение степени деформации (31% и 44%) приводит к тому, что ранее линия неизвестной фазы увеличивает свою интенсивность.

Чтобы разобраться с природой новой фазы закаленный и холоднодеформированные образцы сплава ВТ16 были нагреты в ячейке ДСК

в инертной атмосфере аргона со скоростью 20 °/мин до температуры 1100°C с целью установления температурных интервалов фазовых превращений. Кривые нагрева приведены на рис. 4.

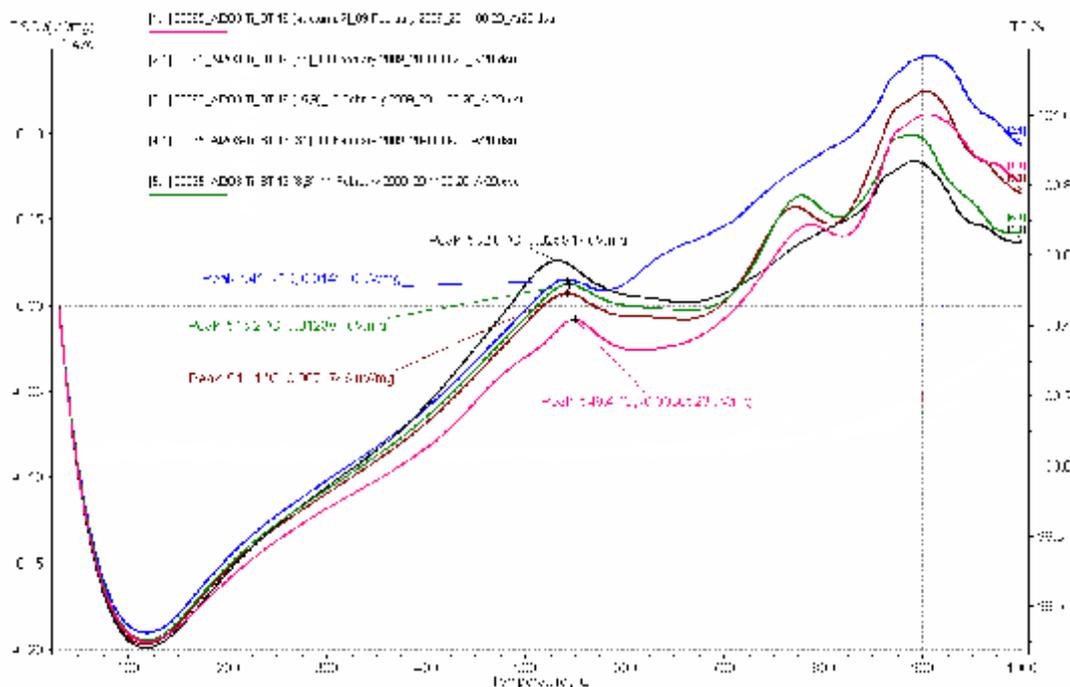


Рис. 4. Данные дифференциального термического анализа

При нагреве закаленного недеформированного образца на кривой ДСК фиксируется два ярко выраженных эффекта до температуры полиморфного превращения; один экзоэффект в области температур 350...650°C и один эндоэффект в температурном интервале 775...870°C. Исходя из анализа литературных данных первый экзоэффект связан с процессом распада  $\alpha''$  ( $\alpha'$ )-мартенсита при нагреве вплоть до формирования равновесной  $\alpha+\beta$ -структуры, а эндоэффект определяет протекание обратного  $\alpha+\beta \rightarrow \beta$  превращения при нагреве в однофазную область.

Из общей зависимости влияния степени деформации на величину и форму экзоэффекта выпадает образец после холодной деформации на 44%. Для него характерно не увеличение площади под экзоэффектом, а, наоборот, уменьшение. Кроме того, и эндоэффект, связанный с обратным  $\alpha+\beta \rightarrow \beta$  превращением, у этого образца меньше, чем у закаленного и образцов после холодной деформации на 8,8; 15,9%, и сопоставим с эндоэффектом для холоднодеформированного образца со степенью деформации 31%. Сопоставление этих данных с изменением фазового состава образца при деформации позволяет утверждать, что наблюдаемый и аномальный вид кривой ДСК для образца после холодной деформации на 44% может быть связан с появлением в структуре новой фазы с ОЦК-решеткой, имеющей более высокий период, чем обычный  $\beta$ -твердый раствор в титановых сплавах. Следует отметить, что аналогичная фаза зафиксирована и после деформации на 31%, правда интенсивность ее линий была в этом случае несколько меньше. Проведенные опыты со старением этих образцов показали, что фиксируемая фаза может сохраняться в структуре и после нагрева до 550°C,

правда непродолжительное время (до 0,5..1 ч). На основании этих данных можно предположить, что причиной уменьшения экзоэффекта на кривых ДСК после деформации 44% является уменьшение объемной доли метастабильных фаз, испытывающих превращение в интервале 400...650°C за счет стабилизации новой фазы с решеткой  $\beta$ -твердого раствора. Вероятнее всего, при более высоких температурах данная фаза по сути становится обычным  $\beta$ -твердым раствором с меньшим периодом (за счет снятия упругих напряжений) и в результате этого эта фаза не дает вклад в тепловой эндоэффект при нагреве до  $T_{пп}$ , что и является причиной снижения величины этого эффекта по сравнению с образцами, в которых этой фазы нет. Присутствие этой фазы в образце после деформации на 31% также способствует снижению эндоэффекта при нагреве, но так как объемная доля ее меньше, чем после 44% деформации, то на величине экзоэффекта ее влияние практически не сказывается.

### **Выводы**

1. Показано, что по мере накопления деформации происходит деформационно-индуцированный переход  $\alpha''$ -мартенсита в  $\alpha'$ -мартенсит. Определено, что минимальная степень деформации, необходимая для такого перехода, составляет 15,9%.

2. При 15,9% деформации обнаружено появление фазы с ОЦК решеткой с периодом около 0,33 нм. При увеличении степени деформации интенсивность дифракционных линий от обнаруженной фазы увеличивается.

3. Исходя из данных термического анализа закаленного и холоднодеформированного образцов следует, что обнаруженная фаза скорее всего является твердым раствором на основе ОЦК-решетки (типа  $\beta$ -фазы), имеющим аномально высокий период из-за деформационного характера получения, как побочный результат деформационно-индуцированного  $\alpha''$ -  $\alpha'$ -перехода.

Шарапова В.А., аспирантка  
Левина А.В., студентка  
Храмцова К.Д., студентка  
Озерец Н.Н., преподаватель-стажер, канд. техн. наук  
Мальцева Л.А., проф., д-р техн. наук

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЗУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА Fe-Cr-Ni ОСНОВЕ НА РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СОСТОЯНИЯ

Для производства особо высокопрочной проволоки тонких и тончайших сечений, предназначенной для производства упругих элементов и мединструмента, широкое применение в промышленности нашли метастабильные аустенитные стали. Однако не все метастабильные стали отличаются оптимальной технологичностью и пластичностью. Так, метастабильная аустенитная сталь 12X18H10T, являющаяся одной из основных промышленных марок стали для производства коррозионностойкой холоднотянутой проволоки, имеет серьезные недостатки: низкую износостойкость, низкий уровень прочностных механических свойств (даже в деформированном состоянии) и недостаточную пластичность.

Учитывая вышесказанное, на кафедре металловедения УГТУ-УПИ была разработана практически безуглеродистая ( $C \leq 0,03\%$ ) высокопрочная коррозионностойкая аустенитная сталь на Fe-Cr-Ni основе, дополнительно легированная Co, Mo, Ti и Al, предназначенная для изготовления высокопрочной проволоки тонких и тончайших сечений.

Применительно к высокопрочным коррозионностойким сталям с аустенитной структурой, используемым в производстве тонкого стержневого медицинского инструмента и упругих элементов, одним из оптимальных технологических процессов является:

1) получение степени пересыщения твердого раствора на заготовках крупного сечения аустенитизацией с последующей закалкой в воду. После закалки должно быть сформировано аустенитное состояние стали с деформационно-нестабильной структурой, являющейся основой получения высокой пластичности материала при волочении;

2) последующая деформация волочением в сочетании с деформационным превращением должны обеспечить получение максимальной фрагментации (дефектности) структуры как базовой основы высокопрочного состояния;

3) дальнейшее старение должно обеспечить необходимый вид и форму упрочняющих дисперсных частиц без существенного изменения фазового состава матрицы, т.е. без возобновления появления нового аустенита.

В данной работе рассматривается изменение механических и физических свойств аустенитной стали 03X14H11K5M2ЮТ на всех этапах обработки.

На первом этапе рассматриваемой технологии – аустенитизации – установлено, что микроструктура исследуемой стали 03X14H11K5M2ЮТ после закалки от температур 800-1300 °С состоит практически из 100% аустенита. Наилучшей температурой нагрева под закалку с точки зрения оптимального сочетания прочностных и пластических свойств является температура 1000 °С. Механические свойства после закалки составляют:  $\sigma_B = 540$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 245$  МПа,  $\delta = 65\%$ ,  $\psi = 85\%$ .

Дальнейшей технологической операцией является деформирование волочением. Особенностью легирования исследуемой аустенитной стали является низкое содержание углерода и легирование такими элементами как, Ni и Co, уменьшающее степень закрепления дислокаций, что позволяет проводить высокие суммарные пластические деформации. Наличие деформационно-метастабильного аустенита, протекание мартенситных превращений и ТРИП-эффекта позволило проводить холодную пластическую деформацию с чрезвычайно высокими степенями обжатия ( $\epsilon = 2,32$ ;  $3,20$ ; и порядка 5) и получать в структуре нанокристаллическое состояние. Электронно-микроструктурные исследования метастабильной аустенитной стали позволили установить причину её высокой пластичности, обусловленную совместным действием равномерного скольжения, микродвойникования и мартенситных превращений с интенсивностью, обеспечивающей образование субмикрочастиц мартенсита. Так, исследуемая сталь была протянута с диаметра 14,3 мм на диаметр 2,77 мм; с диаметра 7,0 мм на диаметр 0,5 мм; с диаметра 3,0 мм на диаметр 0,15 мм без промежуточных смягчающих обработок, при этом прочностные свойства составляли:

- $\sigma_B = 1480$  МПа  $\sigma_{0,2} \approx 1200$  МПа,  $\delta \approx 4\%$  на диаметре 2,77 мм;
- $\sigma_B \approx 2000-2150$  МПа,  $\sigma_{0,2} \approx 1000-1400$  МПа,  $\delta \approx 2\%$  на диаметре 0,5 мм;
- $\sigma_B \approx 2200-2150$  МПа,  $R_{uzl} \approx 50\%$  на диаметре 0,15 мм.

Таким образом, интенсивной холодной пластической деформацией удаётся повысить прочностные свойства более чем в 4 раза. Дополнительно увеличить прочностные свойства и сформировать высокий комплекс физико-механических свойств на проволоке или готовых изделиях позволяет последеформационное старение. Старение деформированной стали вызывает дополнительное повышение механических свойств, которое связано с процессами распада мартенсита деформации.

Получение повышенного количества аустенитной фазы в образцах исследуемой стали может привести к занижению степени упрочнения при последующем старении. Так, на рис. 1 представлены результаты влияния температуры старения на твердость исследуемой стали для случая различного фазового состава перед старением. Естественно изменение твердости связано в первую очередь с процессом распада пересыщенных твердых растворов. Из рис. 1 видно, что аустенитная сталь 03X14H11K5M2ЮТ в закаленном состоянии практически не старится, следовательно, выделение упрочняющей интерметаллидной фазы

происходит из ОЦК-фазы (мартенсита деформации), которая, по данным дифференциально-термического анализа, при нагреве выше температуры 550°C испытывает обратное  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение.

Мобильной методикой оценки состояния структуры металла проволочных образцов является измерение электросопротивления. В данной работе измерение электросопротивления проводилось в зависимости от температуры нагрева при старении как на закаленных образцах, так и на образцах, прошедших последующее деформирование (рис. 2). Обращают на себя внимание различия в уровнях для мартенситного и аустенитного состояний вплоть до температур старения  $\approx 500^\circ\text{C}$ , общая тенденция снижения этих уровней с повышением температуры нагрева и реакция на процессы выделения фаз при распаде пересыщенных твердых растворов.

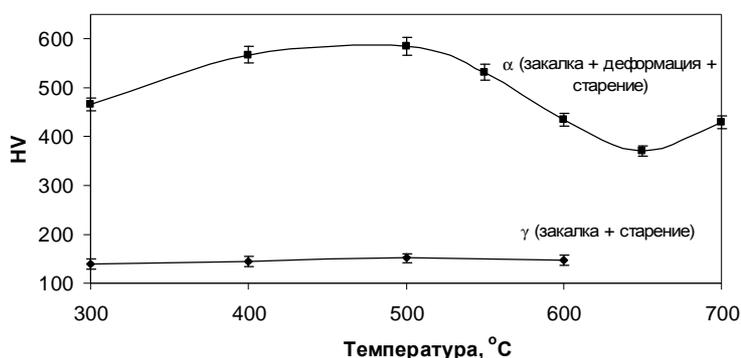


Рис. 1. Изменение твердости закаленной и деформированной ( $\epsilon = 2,32$ ) стали при старении

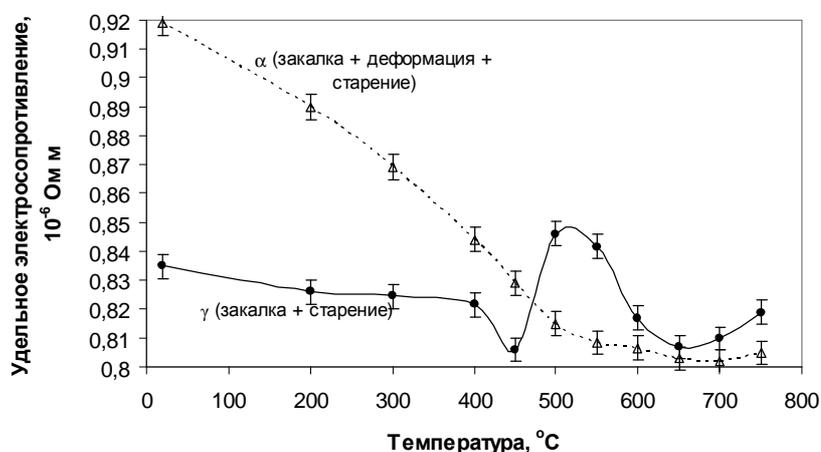


Рис. 2. Зависимость удельного электросопротивления закаленной и деформированной стали 03X14N11K5M2ЮТ от температуры старения

Изменение уровня дефектности любого металла всегда сказывается на его плотности. В связи с этим для серий исследованных образцов было проведено измерение плотности в зависимости от температуры старения (рис. 3). Обращает на себя внимание то, что общий ход полученных кривых соответствует изменению кривых электросопротивления (рис. 2), но в противоположной зависимости. Так, уровень плотности для деформированных состояний ниже, чем у закаленных, также наблюдается общая тенденция увеличения плотности с увеличением температуры

старения с выравниванием при снижении различий в фазовом составе исследованных состояний. Это вполне совместимо с представлениями об уменьшении плотности дефектов в процессе повышения температуры старения на фоне изменения коэффициента упаковки  $\gamma$  и  $\alpha$  фаз. Рассогласование в ходе изменения кривых после старения выше  $650^{\circ}\text{C}$ , очевидно, связано с различием в формировании ревертированного остаточного аустенита и выделением или растворением продуктов распада пересыщенных твердых растворов.

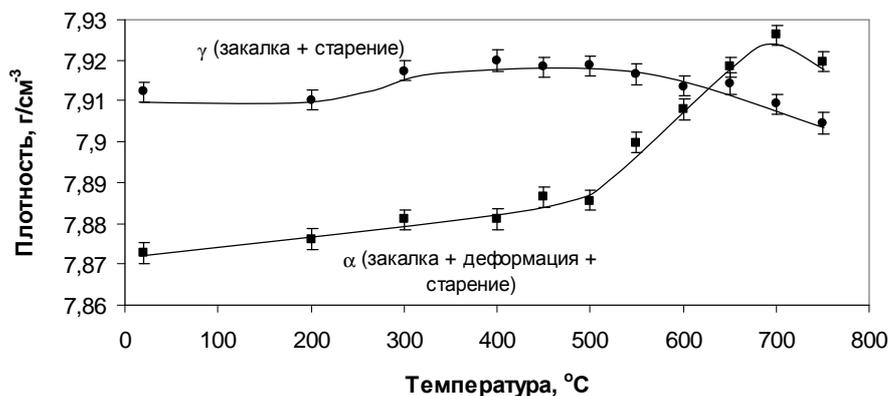


Рис. 3. Зависимость плотности для закаленной и деформированной стали 03X14N11K5M2ЮТ от температуры старения

Таким образом, проведены измерения ряда зависимостей, отражающих изменения в структуре сплава в процессе технологии изготовления длинномерных медицинских инструментов. Показано, что результаты измерений физических свойств материала заготовок могут быть использованы для оптимизации технологии упрочнения сплава взамен трудоемких методик оценки структурного состояния металла.

После закалки, деформации  $\epsilon = 2,32$  и старения при  $500^{\circ}\text{C}$  механические свойства составляют:  $\sigma_{\text{в}} = 2480$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 1900$  МПа,  $\psi = 45\%$ ,  $\delta = 2\%$  на диаметре 2,77 мм;  $\sigma_{\text{в}} = 2850\text{-}3000$  МПа,  $P_{\text{уэл}} > 50\%$  на диаметре 0,15 мм.

Электронно-микроструктурные исследования показали, что фазой ответственной за упрочнение деформируемой исследуемой метастабильной алюминийсодержащей стали является интерметаллидная фаза типа NiAl. Образовавшиеся выделения интерметаллидной фазы типа NiAl имеют нанокристаллические размеры (6-10 нм), что является чрезвычайно важным фактором при получении проволоки тончайших диаметров, так как размер частиц упрочняющей фазы должен быть много меньше диаметра проволоки.

Проведенные испытания на коррозионную стойкость показали, что исследуемая сталь не уступает по коррозионной стойкости промышленной стали 12X18H10T.

Отработана технология получения высокопрочной проволоки для медицинструмента, в том числе и наитончайшей для микроинструмента, обладающей высокой технологичностью, что позволило сократить число промежуточных термических операций при производстве проволоки.

Изготовлена опытная партия, проведено успешное промышленное испытание в ПТО «Медтехника», г. Казань.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке гранта Попечительского совета ГОУ ВПО УГТУ-УПИ и гранта «У.М.Н.И.К. 2008».

Иванова М.А., студентка  
Файзулина Ю.З., студентка  
Водолазский Ф.В., аспирант  
Медведева И.В., аспирант  
Демаков С.Л., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОСАДКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА 10-2-3

Высокопрочный титановый сплав Ti-10-2-3 является перспективным для использования в различных областях науки и техники благодаря сочетанию высокой конструктивной прочности и технологичности.

В процессе изготовления изделия сплав может подвергаться горячей деформации с последующим отжигом для формирования регламентированной зеренной структуры. Следует отметить, что процесс деформации может протекать неоднородно по сечению полуфабриката, в частности, при осадке. Следовательно, и последующие процессы рекристаллизации при отжиге могут идти неравномерно по сечению образца. Необходимо учитывать, что данные об исследовании этих процессов для сплава Ti-10-2-3 ограничены. Неравномерно могут протекать процессы формирования структуры сплава и при охлаждении. В связи с этим целью работы явилось изучение протекания процессов рекристаллизации в сплаве Ti-10-2-3 после горячей деформации осадкой и последующего отжига.

Исходя из этого поставлены следующие задачи:

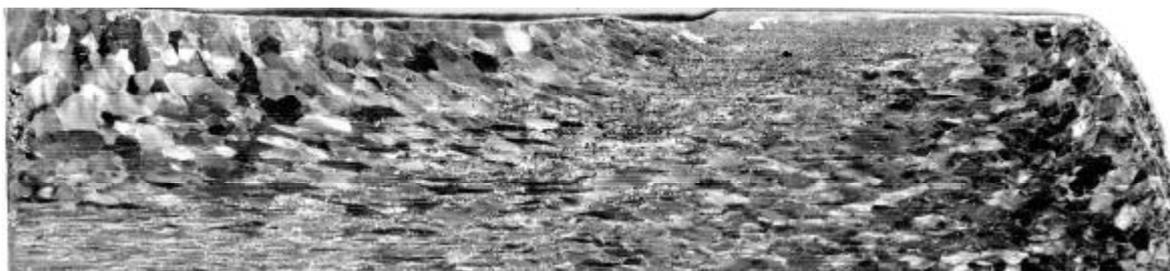
- исследование процессов деформации при осадке сплава;
- проанализировать особенности формирования текстуры деформированных зерен;
- изучить развитие процессов рекристаллизации в зависимости от продолжительности последующего отжига.

На рис. 1. представлена макроструктура полуфабриката, деформированного при температуре  $T_{\text{пл}} + 20$  °С на 60% и закаленных сразу после осадки.

Деформированные образцы имеют бочкообразную форму.

Анализ макроструктуры показывает наличие зональной неоднородности по сечению слитков. Четко видны зоны с отсутствием деформации («мертвые» зоны) и зоны с сильно деформированными зернами (так называемый «деформационный крест»).

По направлению вытяжения (деформации зерен) можно выделить три основные зоны. Первая зона – зерна, вытянутые в направлении, перпендикулярном оси образца (радиальное направление). Вторая зона – зерна, вытянутые в направлении, отличном от прямого угла относительно оси образца. Третья зона – равноосные зерна, как деформированные, так и недеформированные.



x1,3

Рис. 1. Макроструктуры полуфабрикатов, деформированных на 60% при температуре  $T_{\text{пл}} + 20^{\circ}\text{C}$  (время выдержки в печи после деформации 0 мин)

Для первой зоны следует особо отметить так называемые области затрудненной деформации на боковых гранях. Несмотря на то, что эти зерна являются равноосными, их средний размер явно отличается от среднего размера зерен приконтактной области. Их средняя площадь в 1,5..2 раза меньше. Исходя из общего сохранения объема можно сделать вывод, что в этой зоне зерна вытянуты в тангенциальном направлении в 1,5..2 раза. По сути, эту зону можно выделить в отдельную четвертую зону. Схематически эти зоны показаны на рис. 2.



Рис. 2. Схема деления образца на зоны при деформации

Подробный анализ текстуры деформированных зерен проведем на образце, деформированном при температуре  $T_{\text{пл}} + 20^{\circ}\text{C}$  с отсутствием выдержки. На рис. 3 приведена маркировка этого образца. Красными точками показаны участки, где проводилась съемка.

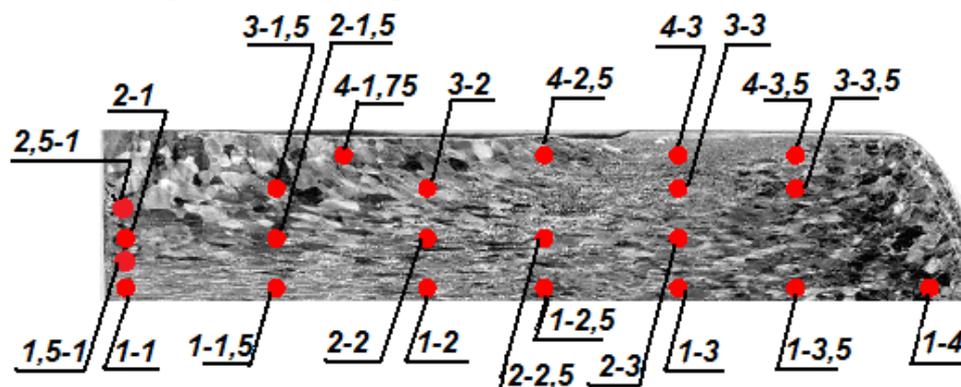


Рис. 3. Маркировка образца, деформированного при температуре  $T_{\text{пл}} + 20^{\circ}\text{C}$  с отсутствием выдержки

Анализ текстур в высотном направлении – по оси  $Y$  – позволил проследить изменения текстуры по мере увеличения степени деформации.

На участке 2,5-1 с наименьшей степенью деформации наблюдаются начальные этапы формирования двухкомпонентной аксиальной текстуры. В направлении  $Y$  уже отсутствуют ориентировки 101, соответственно, происходит увеличение полюсных плотностей 111 и 001. При этом наиболее сильно деформированные зерна имеют текстуру 001. Особо отметим, что в пределах одного зерна происходит формирование двух устойчивых текстур, как 111, так и 001. Промежуточные участки имеют последовательный разворот между двумя этими направлениями. Можно предположить, что подобного рода процессы могут приводить к формированию высокоугловых границ непосредственно во время деформации. Увеличение деформации способствует формированию более острой текстуры.

На участке 2-1 зерна, имеющие текстуру 001, имеют деформацию только в поперечном направлении. В центральном крупном зерне наблюдается переориентация от осевого направления 101 в 111. Кроме того, можно наблюдать наличие оборванной границы в зерне, имеющем кубическую ориентацию. Оборванная граница представляет собой границу наклона дисклинационного типа, образовавшуюся из-за изгиба зерна. Ее вид приближается к виду ОПФ участка 1-1.

Для участка 1,5-1 процессы аналогичны, как и в предыдущем случае. Но здесь следует выделить наличие границы поворота также дисклинационного типа, когда в пределах одного исходного зерна формируются две основные текстуры.

Конечным этапом является текстура участка 1-1, в которой полностью сформирована острая аксиальная текстура с наличием разворота только в горизонтальной плоскости с наличием дисклинационных границ поворота (в крупном зерне с текстурой 111). Возможно, дисклинационные границы наклона преобразовались в высокоугловые границы (рис. 4).

Анализ участка 1-1 показывает, что зеренная структура этого участка представляет собой зерна, вытянутые в строго радиальном направлении со степенью деформации около 90%. Кроме того, наблюдаются отдельные рекристаллизованные зерна. На изображениях, приведенных на рис. 4, наиболее показательным является направление  $Y$  (высотное), в котором четко прослеживается двухкомпонентная текстура осадки – радиальная текстура. Основными компонентами являются 001 – красный цвет и 111 – синий цвет (рис. 4,в). Ориентация рекристаллизованных зерен может частично совпадать с текстурой деформации (что наиболее характерно для направления 001), так и иметь ориентацию, отличную от текстурной. В направлениях  $X$  и  $Z$  ориентация решеток зерен является перпендикулярной основным направлениям текстуры, при этом не удается выделить ярко выраженных направлений. То есть на участке 1-1 наблюдается характерная аксиальная текстура радиального типа. Сделанные выводы подтверждаются ППФ (рис 4,д). Зона полюса и экватора соответствует текстуре 001, полосы  $\pm 35^\circ$  соответствуют текстуре 111 при съемке линии 001.

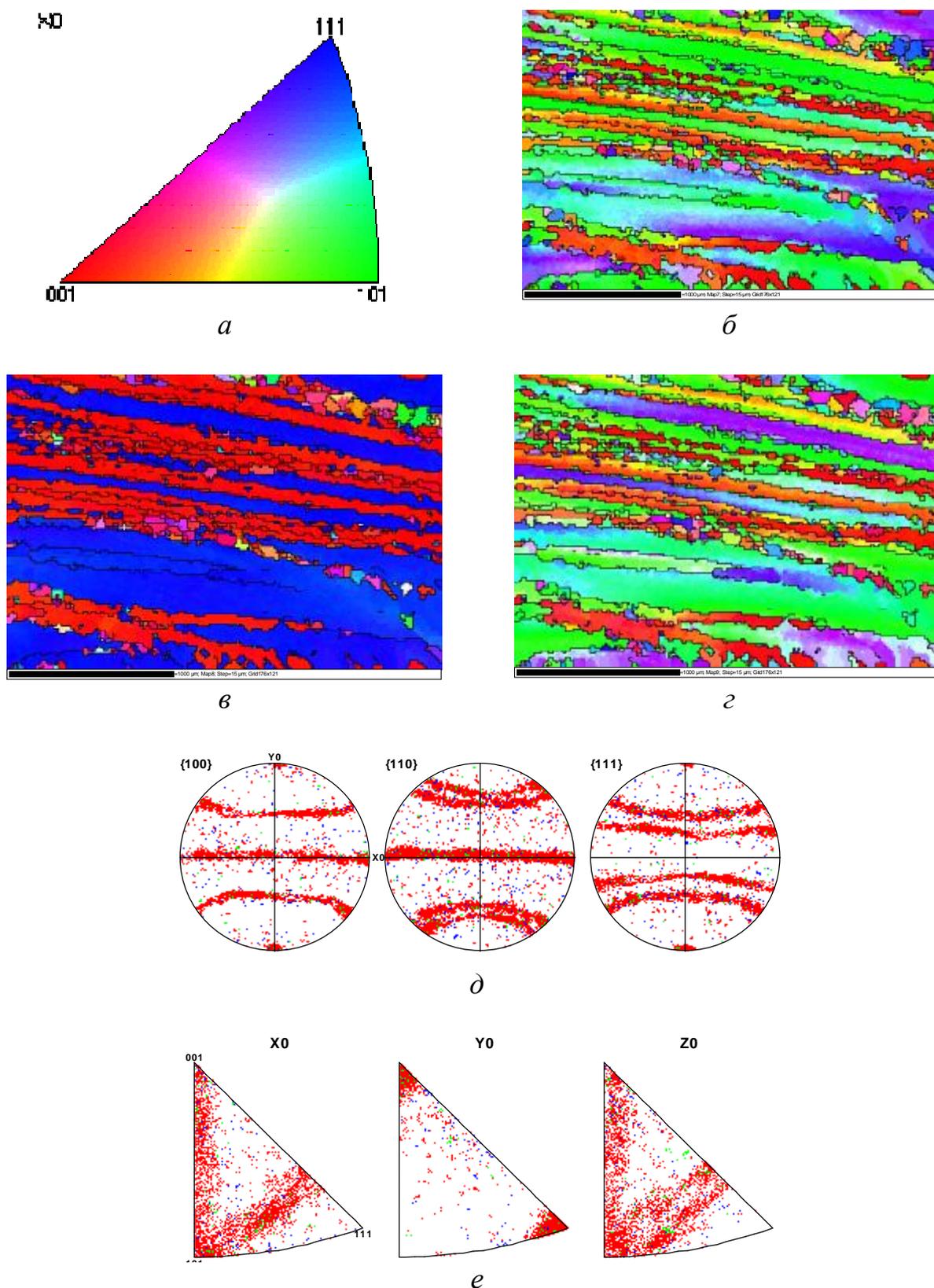


Рис. 4. Данные ДОЭ-исследования для участка 1-1

При съемке линии 101 зона экватора и полосы  $\pm 45^\circ$  соответствует текстуре 001, а линии  $\pm 55^\circ$  соответствуют текстуре 111. При съемке линии 111 зона полюса и линий  $\pm 19,5^\circ$  соответствует текстуре 111, а линии  $\pm 35^\circ$  соответствуют текстуре 001 (рис. 4,д). Острота обеих текстур очень высокая.

На ОПФ в направлении  $Y$  наиболее высокую полюсную плотность имеют направления 001 и 111. Направления  $X$  и  $Z$  похожи между собой. Текстуре 001 соответствует вертикальная сторона, содержащая направления от 001 до 101. В свою очередь, текстуре 111 соответствует полоса направлений от 101 до 112.

В направлении  $Y$  в пределах одного зерна цветовой тон практически не изменяется, то есть в пределах одного зерна сохраняется строгая аксиальная текстура (рис. 4, в). Соответственно на ППФ не наблюдается меридианально вытянутых тяжей. В других направлениях в пределах одного зерна ориентация может изменяться в достаточно широких пределах (рис. 4, б, г). Например, в зернах, текстурированных по 111, перпендикулярные направления могут изменяться от направления 101 до 112 (зеленый – фиолетовый), что соответствует углам до  $30^\circ$ . В текстуре 001 изменение от 001 до 101 (красный – зеленый) соответствует углам до  $45^\circ$ . Эти разориентировки соответствуют широтным направлениям и укладываются в общую полосу аксиальной текстуры. На рис. 5 приведена схема разворота зерна относительно оси текстуры.

Проанализируем участки зоны 1 (1-1,5...1-2,5), рис. 2.

На участках 1-1,5, 1-2, 1-2,5 также формируется двухкомпонентная текстура 001 и 111, но острота текстуры снижается. В направлении  $Y$  в отдельных приграничных областях ориентировка отклоняется от основного направления текстуры. Этому явлению отвечают тяжи на ППФ в меридианальных направлениях.

В целом в рассмотренных участках можно отметить, что зерна с текстурой 111 деформированы меньше, чем зерна с текстурой 001, по всей видимости, текстура 001 находится в более «мягкой» ориентировке по отношению к приложенному напряжению.

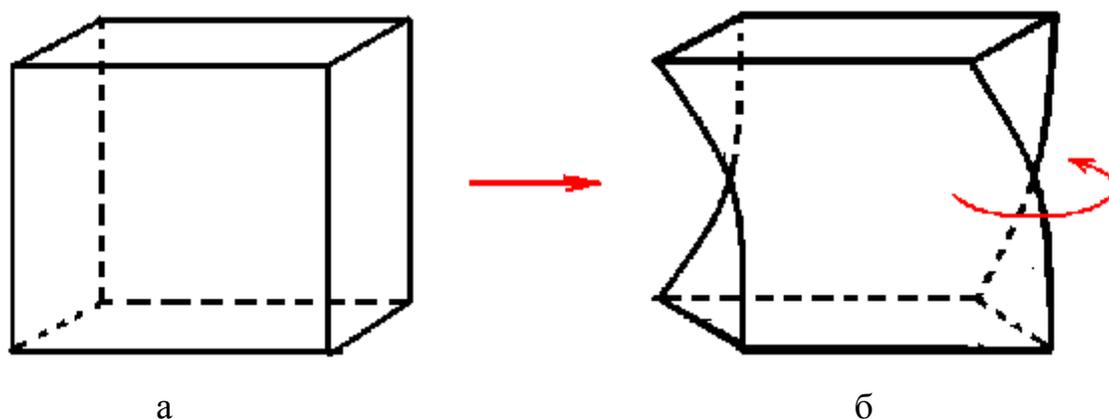


Рис. 5 Схема разворота зерна относительно оси текстуры:  
а – исходное зерно; б – после разворота

На участках 1-3, 1-3,5 можно наблюдать начальные стадии формирования текстур, аналогичных предыдущим. В направлении  $Y$  преобладают ориентации 001 и 111.

Зона 2 охватывает участки 1-2; 2-2,5; 3-3 и 4-3 (рис. 2 и 3).

На участке 2-2,5 в направлении  $Y$ , за исключением одного участка зерна, отсутствуют ориентировки, близкие к 101, в деформированных зернах наблюдается в основном двухкомпонентная текстура 111 и 001 с незначительным присутствием промежуточных ориентировок, близких к 112. При этом наиболее сильно деформированные зерна имеют кубическую текстуру 001. В поперечных направлениях  $X$  и  $Z$  в зерна с кубической текстурой развороты практически отсутствуют в отличие от зерен с текстурой 111.

На участке 3-3 возможна двойная трактовка ППФ. С одной стороны, можно определить наличие обычной двухкомпонентной текстуры в высотном направлении, с другой стороны, прослеживается аксиальная текстура 111 в тангенциальном направлении, что особенно ярко проявляется на ППФ 101, где наблюдаются характерные кольца, осью которых является направление  $Z$  с основной кристаллографической ориентацией 101. По всей видимости, в начальные этапы происходило образование двухкомпонентной текстуры сжатия с последующим удлинением в тангенциальном направлении, которое способствует формированию текстуры 101, характерной для вытяжки ОЦК-титана. В направлении  $X$  наблюдаются значительные изменения ориентировки решетки в пределах одного зерна.

На участке 4-3 из-за большого количества рекристаллизованных зерен анализ текстуры деформированных зерен затруднен. Следует лишь отметить, что в высотном направлении преобладают направления, близкие к 111 и 001, а в направлении  $Z$  ориентировки 101 и 112. Общая деформация крайнего участка ковочного креста меньше, чем в центре образца и составляет около 60%.

Относительно предыдущего случая на участке 3-3,5 усиливается компонента 101 в направлении  $Z$ . Текстура 111 в направлении  $Y$  или еще не сформирована или уже переформирована.

Общая схема данных по текстуре приведена на рис. 6.

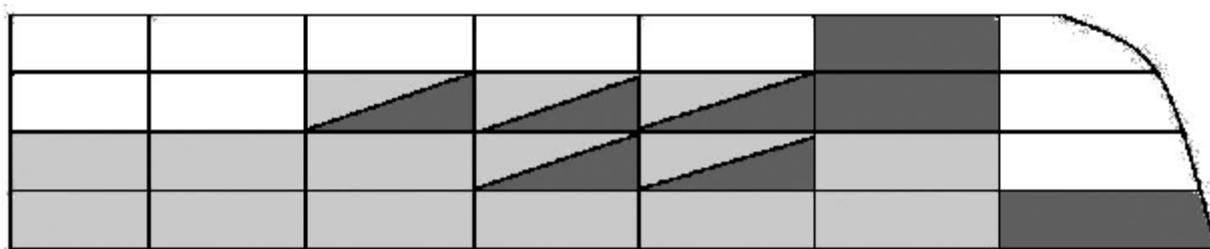


Рис. 6. Схема текстурного состояния полуфабриката

На рис. 6 серым цветом обозначена двухкомпонентная радиальная текстура 001 и 111. Темно-серым цветом обозначена однокомпонентная осевая текстура 101. Двойным цветом изображается промежуточное состояние с признаками обеих текстур. Белым цветом изображены участки, где данные отсутствуют.

## **Выводы**

Экспериментально выявлено распределение степени деформации по сечению цилиндрического образца, подвергнутого осадке на 60%. Отмечены характерные зоны с одинаковой деформацией. Выделены «мертвые» зоны с минимальной степенью деформации и «деформационный крест» в центре образца с наибольшими значениями деформации. Отмечено, что деформация нарастает от поверхности образца к центру при движении по оси шайбы и от центра к боковой поверхности при движении по радиусу.

С помощью ДОЭ-методики определено изменение текстурного состояния, характер течения металла в локальных участках по сечению деформированного полуфабриката. Обнаружено, что в центральных участках происходит формирование острой двухкомпонентной радиальной текстуры (текстуры осадки) 001 и 111. В среднем зерна, имеющие текстуру 001, имеют большую степень деформации, чем зерна, имеющие текстуру 111. В периферийных участках появляется компонента осевой текстуры 101, имеющей тангенциальное направление. В зоне перехода материала с боковых частей образца на контактную поверхность формируется осевая текстура 101 в тангенциальном направлении.

Обнаружены признаки формирования высокоугловых границ во время горячей деформации за счет изгиба или кручения отдельных зерен.

Показано, что скорость рекристаллизации имеет зависимость от текстурного состояния материала. Наибольшую скорость рекристаллизации имеют участки, в которых происходило постепенное изменение радиальной текстуры в тангенциальную. На участках с острой текстурой скорость рекристаллизации понижена – подтвержден факт наличия текстурного торможения рекристаллизации.

Чайкин Л.И., аспирант  
Логинова И.В., доц., канд. техн. наук  
Письмак В.Н., ст. преподаватель

## ИЗУЧЕНИЕ КОАГУЛИРУЮЩИХ-ФЛОКУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЗВРАТНОЙ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ОТДЕЛЕНИЯ СПЕКАНИЯ

На процесс отстаивания и уплотнения красного шлама, полученного после переработки бокситов на глинозем, в первую очередь влияют минералогический состав боксита, крупность частиц шламов, условия выщелачивания боксита и другие. Для ускорения сгущения и фильтрации пульп в последние годы применяются добавки, способствующие укрупнению агрегаций шлама. Особенно велико влияние на отстаивание шлама различных видов гидратированной окиси железа в боксите. Гетит, гидрагетит, лимонит и др. при процессе спекания полностью дегидратируют с образованием тонкодисперсной безводной окиси железа и легко растворимых в воде соединений феррита натрия. Этот процесс, однако, обратим почти для всех минералов железа, которые после выщелачивания спеков и длительного обескремнивания переходят в гидрофильную  $Fe_2O_3$ . Такой шлам может набухать, после чего он плохо отстаивается и уплотняется.

До недавнего времени добавкой, оказывающей положительное влияние на отстаивание и сгущение красного шлама, являлась ржаная мука. Установлено, что отдельные частицы красного шлама обладают положительным зарядом. Под влиянием крахмала, находящегося в ржаной муке, частицы шлама мгновенно теряют свой заряд и становятся электронейтральными. В данный момент используются различные, но, тем не менее, дорогостоящие, синтетические коагулирующие-флокулирующие добавки.

При исследовании состава возвратной пыли электрофильтров возникло предположение о возможных коагулирующих-флокулирующих свойствах данного полупродукта глинозёмного производства, который в данный момент является балластной фазой отделения спекания. Данные предположения возникли в результате рассмотрения технологии образования возвратной пыли электрофильтров (ВПЭ). Установлено, что в состав ВПЭ входят достаточное количество продуктов и полупродуктов получаемых в процессе спекания бокситов, при этом легко растворимых в водных растворах. Пыль попадает под коронирующий разряд, улавливаясь системой электрофильтра становится носителем статического заряда, за счет чего извлекается из газового потока отходящих газов. Опираясь на полученные данные, было принято решение провести серию экспериментов по применению ВПЭ в лабораторных условиях, при сгущении красного шлама отделения спекания ОАО «УАЗ СУАЛ» в качестве коагулирующей-флокулирующей добавки.

Красный шлам отделения спекания ОАО «УАЗ СУАЛ» был взят после стадии сгущения и репульпирован в соотношении ж:т = 2,5, разделен на два лабораторных стакана, в один из которых была добавлена произвольная навеска возвратной пыли, репульпированная в соотношении ж:т = 2,5 в дистиллированной воде, с учетом того, что ВПЭ состоит на  $\approx 50\%$  из легкорастворимых соединений. Эксперименты проводились при  $t = 95-97^\circ\text{C}$  в лабораторном термостате, по аналогии с системой пятикратной промывки красных шламов.

В результате проведенных экспериментов получены следующие результаты:

- при добавлении в лабораторный стакан репульпированной навески ВПЭ, чистый слив был получен при первой стадии промывки красного шлама (рис. 1). В лабораторном стакане с красным шламом без добавки навески ВПЭ слив был мутным, с явным наличием мелкодисперсных частиц. Скорость осаждения основного количества твёрдой фазы красного шлама при первой стадии промывки была одинаковой. Механизм взаимодействия мелкодисперсных частиц красного шлама отделения спекания с частицами ВПЭ осуществляется, предположительно, в первую очередь за счет нейтрализации заряда между положительно заряженными частицами красного шлама и отсорбированным электроном на поверхности частиц ВПЭ. Пыль проходит до попадания в электрофильтр достаточную термообработку (от  $700$  до  $220^\circ\text{C}$ ), частички боксита и других нерастворимых соединений приобретают достаточную поверхностную энергию, обуславливающую агрегацию. Наличие в составе ВПЭ такого универсального минерального соединения, как ГКАК (гидрокарбоалюминат кальция, ИК-спектр  $1430-1440\text{ см}^{-1}$ ), возможности которого описаны в работах, так же могут быть рассмотрены, как коагулирующие;



Рис. 1. Сливы после первой стадии промывки красного шлама

- полученные после пятикратной промывки шламы были отдельно отфильтрованы и высушены. Сделаны микрофотографии полученных шламов (рис. 2). При рассмотрении микрофотоснимков четко различимо видно, что красный шлам, полученный при сгущении с добавлением навески ВПЭ, обладает большей крупностью частиц;

- попытка применения вышеописанной технологии к операции сгущения красных шламов ветви гидрохимии ОАО «УАЗ СУАЛ» в лабораторных условиях к положительным результатам не привела, это объясняется другим вещественным составом красных шламов ветви Байера.

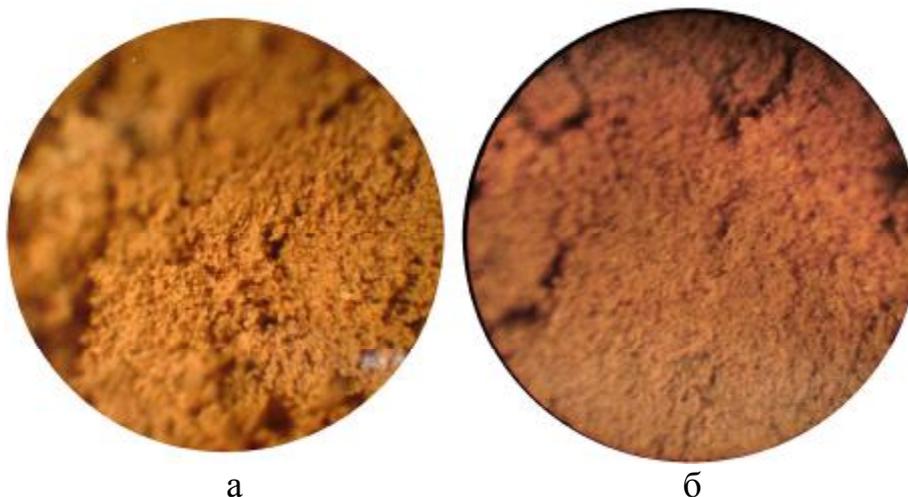


Рис. 2. Микрофотографии полученных шламов:

а - красный шлам, полученный при сгущении, с добавлением навески ВПЭ;  
б - красный шлам, полученный при сгущении, без добавления ВПЭ

Выводы:

1. Применение возвратной пыли электрофильтров в качестве коагулянта-флокулянта на стадии промывки положительно сказывается только при взаимодействии со шламами ветви спекания.
2. Получение чистого слива уже на первой стадии промывки снижает нагрузку при фильтрации промывки, а введение полезных растворимых компонентов (алюмината натрия и каустической щелочи) будет положительно сказываться в дальнейшей технологии производства глинозёма.
3. За счет выведения ВПЭ электрофильтров из системы пылевозврата, увеличивается КПД системы пылеулавливания, а за счет исключения мелкодисперсных частиц улучшается экологическая обстановка в регионе.

Старцева М.В., студентка

Эйсмондт К.Ю.

Липунов Ю.И., старший науч. сотрудник, канд. техн. наук, ОАО «ВНИИМТ»

Ярошенко Ю.Г., проф., д-р техн. наук

## ОХЛАЖДЕНИЕ В БАКЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ЗАКАЛКИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Разработка и внедрение в промышленность технологий, обеспечивающих производство металлургических изделий с повышенным уровнем механических свойств и служебных характеристик, во многом определяет качество и эффективность эксплуатации машин и оборудования. Современные технологии термоупрочнения позволяют обеспечить существенное повышение прочностных свойств изделий, повышенную вязкость разрушения, особенно при низких температурах, при сохранении достаточно высокого уровня пластичности. Служебные характеристики термоупрочненных изделий (долговечность, износостойкость, склонность к разрушению и т.д.) становятся значительно выше. Существенно снижается себестоимость продукции, так как необходимый уровень механических свойств обеспечивается без использования или при минимизации дорогостоящих легирующих добавок в металл.

Закалка – это вид термообработки металлов и сплавов, заключающийся в нагреве металла (сплава) выше критической температуры (температуры полиморфного превращения) и последующем охлаждении с заданной скоростью, осуществляемом либо методом погружения нагретой детали в бак с закалочной средой (вода, масло, полимерные растворы и т.д.), либо в устройствах контролируемого охлаждения спрейерного типа, в которых на поверхность изделия подаются из форсунок (спрейеров) потоки воды или водовоздушной смеси.

Закалка деталей из титановых сплавов на предприятии ВСМПО (Верхнесалдинском металлургическом производственном объединении) осуществляется погружением в баки, заполненные водой. Такая технология закалки и устройство для ее реализации в черной металлургии, алюминиевой промышленности использовались 30-60 лет назад. Из всех недостатков, присущих данному процессу, главный - это невозможность регулирования скорости охлаждения и коробление изделий. Практически на всех предприятиях этих отраслей от неё отказались. Современные линии термоупрочнения, в том числе в потоках прокатных станов, оборудованы различного типа устройствами контролируемого охлаждения.

Для обоснования возможности применения устройств регулируемого охлаждения при закалке изделий из титановых сплавов в Центре новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов ОАО «ВНИИМТ» разработана программа стендовых исследований. Предварительные исследования теплотехнических процессов, протекающих

при закалке, производятся на образцах из стальной плиты. На первом этапе промоделирована закалка плиты в водяном баке.

Известно, что при погружении в бак с водой закалка происходит в режиме кипения воды на поверхности образца. Различают два вида кипения - пузырьковое и плёночное. Первое характерно для сравнительно небольших градиентов температур поверхности и жидкости. Зарождение и формирование пузырьков пара возникает не в объёме кипящей жидкости, а только на твёрдых поверхностях, а точнее на впадинах, кавернах, трещинках, которые могут содержать пузырьки газа или воздуха. При плёночном кипении поверхность металла отделена от основного объёма жидкости паровой плёнкой. Это происходит при высоких градиентах температуры поверхности и жидкости. Необходимо отметить, что если в случае пузырькового кипения значительное количество теплоты снимается конвекцией жидкости, то при плёночном кипении тепло передаётся через паровую плёнку теплопроводностью, конвекцией пара и излучением через пар. Поскольку теплопроводность пара крайне мала, то теплоотдача от поверхности плиты объёму жидкости при плёночном кипении много меньше, чем при пузырьковом. Переход от пузырькового кипения к плёночному называется кризисом теплообмена при кипении.

Опыты на стенде ОАО «ВНИИМТ» по закалке стальной плиты в водяном баке проводились с целью определения зависимости снимаемого теплового потока от температуры поверхности образца и оценки неравномерности теплоотдачи по высоте образца.

Образец для проведения опытов представляет собой стальную плиту размерами 1000\*160\*20 мм. На поверхность плиты контактной сваркой приваривались 5 хромель-алюмелевых термопар. В ряде опытов дополнительно еще одна термопара заделывалась в центр образца. Спаи термопар изолировались. Плита нагревалась в печи до температуры 960°C и погружалась в бак с водой. В опытах изменялись время выдержки образца в баке и его ориентация относительно бака. В процессе проведения опыта показания термопар записывались с частотой, равной 0,1 с.

По результатам обработки опытных данных построены графики изменения температуры во времени, а также расчетным путём восстановлены тепловые потоки, снимаемые с поверхности образца.

Результаты обработки показаний поверхностных термопар показывают, что скорость охлаждения поверхности образца различна по его высоте (рис. 1), что свидетельствует о неравномерности охлаждения образца в баке. Поверхность плиты при погружении в бак находится в разных условиях теплообмена, в наиболее благоприятных условиях режима пузырькового кипения находится начало плиты, пока на поверхности образца не образовалась паровая пленка.

Для расчетного определения снятого теплового потока использовались показания как поверхностной, так и внутренней термопар. По показаниям поверхностных термопар определялся момент начала охлаждения водой. Спаи поверхностной термопары находится в условиях быстро протекающего

неравновесного процесса теплообмена, температура его быстро понижается при контакте с водой, и только когда скорость изменения температуры понижается, выравнивается до температуры поверхности образца. По показаниям термопары, заделанной в центре образца, рассчитывался снимаемый тепловой поток. Скорость изменения температуры центра образца значительно ниже, чем температуры его поверхности, поэтому температура спая термопары, заделанной в центре образца, с достаточной точностью равна температуре его центра.

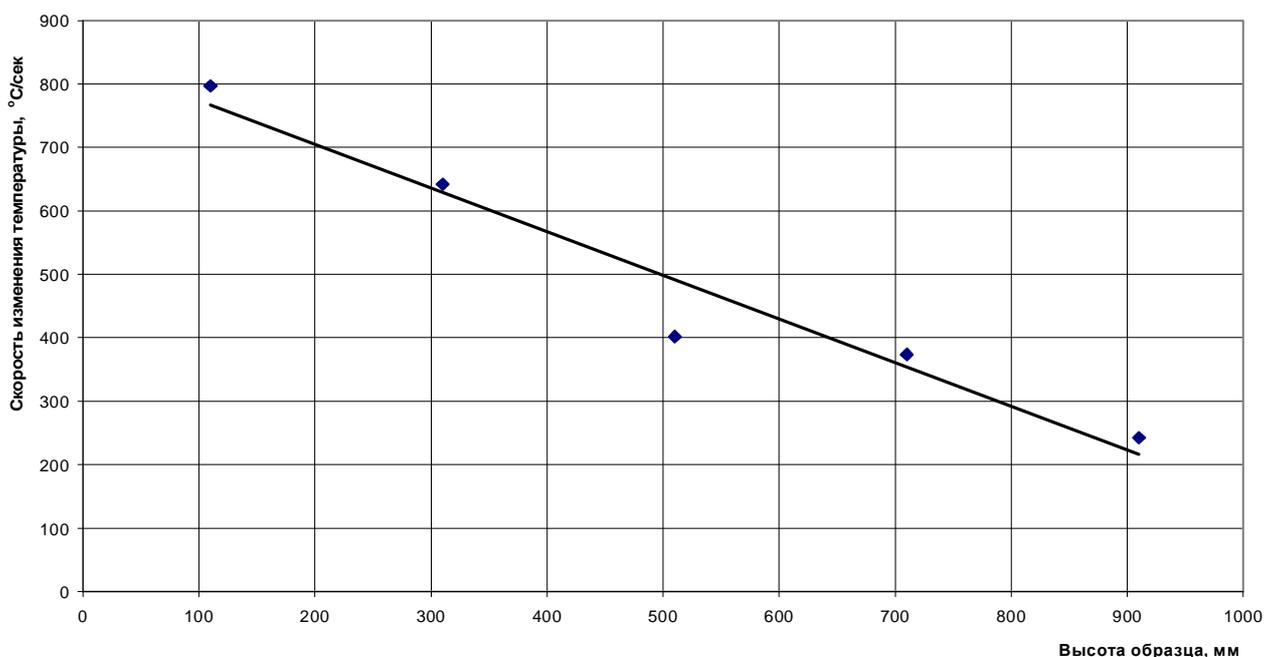


Рис. 1. Экспериментальная скорость охлаждения поверхности образца по его высоте в процессе охлаждения в баке с водой

Расчетное определение снятого теплового потока проводилось с использованием разработанного в ОАО «ВНИИМТ» программного обеспечения для расчета теплового состояния тел различной формы в условиях теплообмена с различными граничными условиями. В частности, использовалась математическая модель теплообмена для неограниченной пластины, в основе которой лежит уравнение теплопроводности

$$c(t)\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right], \quad (1)$$

с граничными условиями:

$$\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}} = \begin{cases} q_i \text{ нпу} & t \geq 100^\circ \text{C} \\ \alpha_i (t_n - t_{o.c.}) & \text{при } t \leq 100^\circ \text{C} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $q_i$  - плотность теплового потока;  $t_n$  - температура поверхности;  $\delta$  - толщина листа;  $t_{o.c.}$  - температура окружающей среды;  $\alpha_i$  - коэффициент теплоотдачи при снижении температуры поверхности  $< 100^\circ \text{C}$ ;  $\lambda$  - теплопроводность;

с начальными условиями:

$$t(x, 0) = f(x). \quad (3)$$

Уравнение решено с применением явной схемы конечно-разностной аппроксимации и реализовано в расчетную программу на ЭВМ.

Для определения значений снимаемого теплового потока использовались показания двух термопар, заделанных на поверхности и в центре и расположенных на одной высоте образца (300 мм). Обработка экспериментальных данных проводилась следующим образом. По показаниям поверхностной термопары определялся момент начала охлаждения. Обработка показаний центральной термопары позволяет определить скорость изменения температуры центра образца, а следовательно, момент снятия максимального теплового потока и скорость его изменения в течение процесса закалки. Далее методом подбора определялись значения теплового потока во времени. Критерием достоверности подобранных значений являлось совпадение экспериментальной и расчетной кривой температуры центра образца. Показания термопар и расчетные кривые изменения температуры поверхности и центра образца, а также расчетное значение снимаемого теплового потока во время охлаждения в баке приведены на рис. 2.

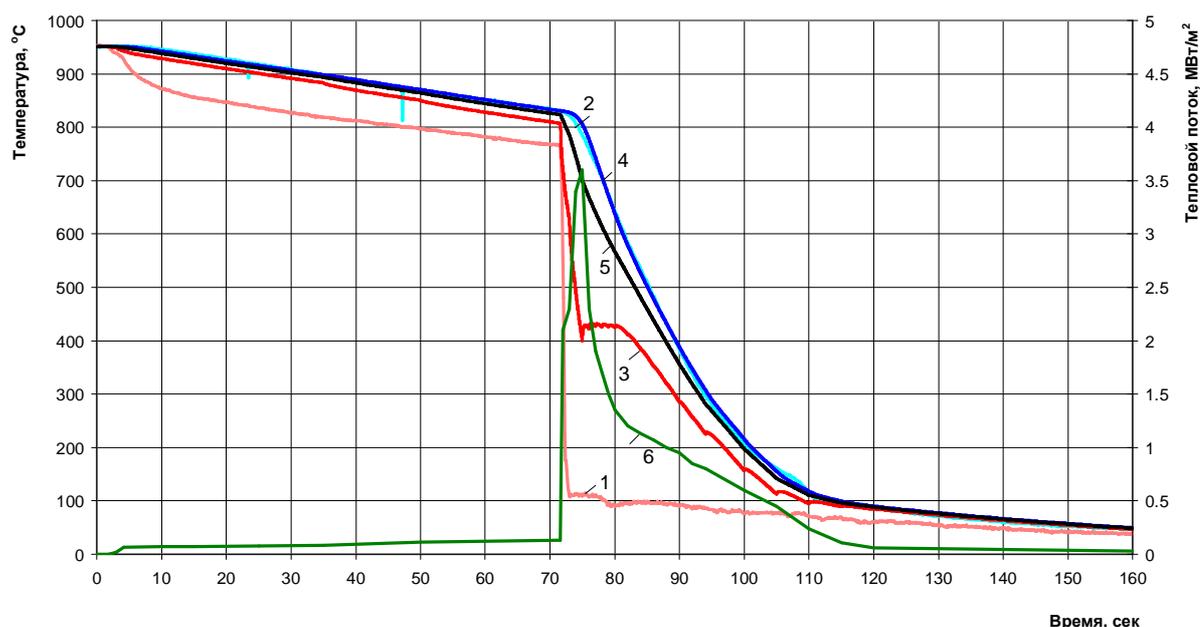


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные кривые изменения температуры поверхности и центра образца и рассчитанное значение снимаемого теплового потока при охлаждении в баке с водой: 1, 2 – показания термопар; 3, 4, 5 – расчетные значения температуры поверхности, центра, среднемассовой; 6 – расчетное значение теплового потока.

Полученные данные свидетельствуют, что значение снимаемого теплового потока проходит через максимум. Наибольшие скорости охлаждения соответствуют температуре поверхности образца, равной 600-400°C, когда теплообмен происходит в режиме пузырькового кипения, что совпадает с экспериментальными данными, представленными в статьях других авторов.

В результате проведенных опытов подтверждено, что процесс закалки в баке идёт неравномерно, а это может приводить к короблению, большому количеству напряжений внутри образца и трещинообразованию. В процессе проведения исследований не ставилось задачи измерить коробление образца, т.к. протяжённость его небольшая (1 м), и высота бака также ограничена. Но для достаточно протяжённых изделий, таких как лист, коробление будет значительным. Необходимо ещё учесть, что опыты проводились на образце углеродистой стали. При закалке таким способом легированных сталей, либо инструментальных вероятность трещинообразования увеличивается. Кроме того, уверенно можно прогнозировать большую разницу в свойствах по образцу. Большим недостатком является также невозможность регулирования и управления процессом.

При закалке также необходимо учитывать охлаждающую способность воды, которая резко изменяется в зависимости от температуры воды; если эту способность при 18°C принять за единицу, то при 74°C охлаждающая способность будет иметь коэффициент 0,05.

Анализируя опытные данные, можно установить, что интенсивность охлаждения, величина снимаемых тепловых потоков, равномерность получения необходимых свойств определяются многими факторами: начальной температурой изделия и охладителя, их видом, физическими свойствами, ориентацией детали в объёме охладителя.

Становится очевидным, что процесс охлаждения нужно интенсифицировать. Это можно сделать перемешиванием, изменением температуры охладителя, но качественно картина от этого не меняется.

Следующим этапом исследований будет изучение процесса охлаждения при использовании плоскоструйных форсунок. Предварительные данные позволяют делать хорошие прогнозы. В частности можно будет управлять процессом, увеличить интенсивность охлаждения, получать уровень свойств материала значительно выше, чем при традиционном способе, равномерные свойства при почти полном отсутствии напряжений.

Барашев А.Р., аспирант  
Карелов С.В., проф., д-р техн. наук  
Козлов П.А., проф., д-р техн. наук  
Мезенин К.А. студент

## ФЛОТАЦИОННО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА КЕКОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Стандартной гидрометаллургической схемой производства цинка является обжиг – выщелачивание – электролиз. При выщелачивании огарка образуется большое количество твердого остатка – цинкового кека, выход которого составляет 20-25% от массы исходного концентрата. В нем, помимо кислотоупорных соединений, находится значительное количество серебра.

На отечественных предприятиях цинковые кеки перерабатывают методом вельцевания, в процессе которого при температуре 1100-1200°C соединения цинка, свинца и других металлов, обладающих высокой упругостью паров, восстанавливаются избытком углерода, отгоняются и улавливаются в виде пыли. С клинкером теряется серебро, что является основным недостатком данного процесса. Извлечение серебра в виде металла или его соединений до сих пор остается нерешенной проблемой.

Наличие в кеке сульфидов металлов позволило Государственному научно-исследовательскому институту цветных металлов «ГИНЦВЕТМЕТ» и Челябинскому цинковому заводу провести представительные исследования в полупромышленном масштабе по флотационному извлечению серебра в концентрат из цинковых кеков ОАО «Челябинский цинковый завод».

К сожалению, по ряду причин работа на ОАО «ЧЦЗ» не доведена до получения серебра в виде товарного продукта. В УГТУ-УПИ совместно с ОАО «Челябинский цинковый завод» продолжены исследования по поиску оптимальной схемы переработки флотационных концентратов.

Повторные исследования по флотационному обогащению подтвердили эффективность предложенных ОАО «Институт Гинцветмет» технологических параметров при переработке цинкового кека, состава, %: 18-23 Zn; 25-28 Fe; 2-3 Cu; 1,5-2 Pb; 0,03 Ag; 5-6 S (общ.).

В результате флотации получен концентрат (выход 5-7%), содержащий 1,5-1,9 кг/т Ag; извлечение серебра превысило 75%.

Исследованиями, проведенными на пробах цинкового кека, показана эффективность применения флотации, позволяющей достаточно полно извлечь сульфиды цинка, меди, серебра во флотационный концентрат, а также снизить содержание водорастворимого цинка в кеке.

Анализ литературных данных показал, что для переработки цинковых флотационных концентратов, полученных флотацией цинковых кеков, возможны различные варианты, в том числе:

– выщелачивание концентрата в растворах серной кислоты с добавкой  $\text{NaNO}_2$  или  $\text{HNO}_2$  в автоклаве. Осаждение серебра проводят добавкой  $\text{NaCl}$  или цементацией на цинковом порошке;

– выщелачивание  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $200 \text{ г/дм}^3$ ) при температуре  $80^\circ\text{C}$  в течение двух часов. При этом цинк и железо переходят в оборотный раствор, направляемый в основное производство, а серебро и свинец остаются в кеке кислотного выщелачивания, из которого их извлекают рассолом  $\text{NaCl}$  ( $300 \text{ г/дм}^3$ )+ $\text{HCl}$  ( $20 \text{ мг/дм}^3$ ). Осаждение серебра из раствора возможно цементацией на алюминиевом порошке с последующим получением чистых металлов известными методами рафинирования. Кек последнего передела является качественным полупродуктом, пригодным для стандартной гидрометаллургической переработки. Общее извлечение по разработанной схеме составляет, %: 78 Zn, 78 Ag, 92,7 Pb, 87 S;

– хлоридно–гипохлоридное выщелачивание. Извлечение из раствора серебра цементацией и электрохимической регенерацией растворов. Позволяет достичь сквозного извлечения серебра 99%;

– выщелачивание цинка из концентрата растворами сульфата железа (III) при подаче кислорода;

При таком выщелачивании большая часть цинка из концентрата переходит в раствор, сера окисляется до элементной и отделяется, а серебро остается в остатках выщелачивания.

– тиомочевинное выщелачивание серебра. Тиомочевинным выщелачиванием концентратов в кислой среде ( $\text{pH} = 1-5$ ) при  $0,1-20 \text{ г/дм}^3$   $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$  и  $30-85^\circ\text{C}$  в раствор извлекается более 85% Ag. Из раствора серебро сорбируется активированным углем, который отделяют грохочением, или совместным выщелачиванием и сорбцией серебра на угле, предварительно пропитанным тиомочевинной;

– эффективен метод экстракции серебра из флотоконцентратов с применением каталитического выщелачивания тиосульфатом аммония, позволяющий извлечь Ag на 92%. Каталитический эффект обеспечивается присутствием ионов меди и аммиака.

Таким образом, гидрометаллургические схемы переработки концентратов, полученных флотацией цинковых кеков, являются наиболее перспективными.

Одним из исследуемых авторами вариантов является азотнокислое выщелачивание флотоконцентратов с получением хлорида серебра, концентратов, содержащих медь и свинец, с возвратом сульфатных цинковых растворов в основное производство после полной регенерации азотной кислоты.

Сергеев В.А., ассистент  
Рогожников Д.А., студент  
Антонович Ю.Ф., студентка  
Карелов С.В., проф. д-р техн. наук.

## ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЦИНКОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СВИНЦА

Свинцовые кеки образуются в цинковом производстве при выщелачивании вельцооксидов; помимо ценных компонентов (оксидов цинка, свинца), в них присутствуют оксидные соединения примесных металлов (железа, меди, олова, никеля и др.). При сернокислотном выщелачивании эти компоненты, а также ферриты, силикаты цинка и минералы пустой породы не растворяются, загрязняя и разубоживая образующийся свинцовый кек.

На цинковых и медеплавильных заводах России в виде техногенных месторождений накоплены десятки тысяч тонн свинецсодержащих отходов, комплексная переработка которых актуальна не только по экономическим, но и по экологическим причинам. Например, на ОАО «Электроцинк» свинцовые кеки долгое время не перерабатывались и складировались на территории. К настоящему времени предприятием накоплено свыше 100 тыс. тонн свинецсодержащих техногенных отходов - лежалых свинцовых кеков с переменными по площади и глубине залегания влажностью и химическим составом. Усредненный состав лежалых и текущих свинцовых кеков предприятия представлен в табл. 1.

Таблица 1

Усредненный состав кеков ОАО «Электроцинк», %

№ пробы	Pb	Zn	Cu	Fe
1-лежалый	10,4	16,5	1,75	21,35
2-текущий	27,8	10,1	0,90	12,46

На заводе был опробован способ переработки лежалых свинцовых кеков, который заключается в их добавлении в шихту вельцевания, что позволило увеличить сквозное извлечение цинка и обогатить свинцовые кеки по основному компоненту – свинцу на 18-20%.

На кафедре металлургии тяжелых цветных металлов УГТУ – УПИ разработана альтернативная схема комплексной переработки свинцовых кеков цинкового производства. Предложенная технология (рис. 1) состоит из трех основных блоков: выщелачивание, очистка полученного раствора и электроэкстракция свинца с возвратом растворителя в голову процесса.

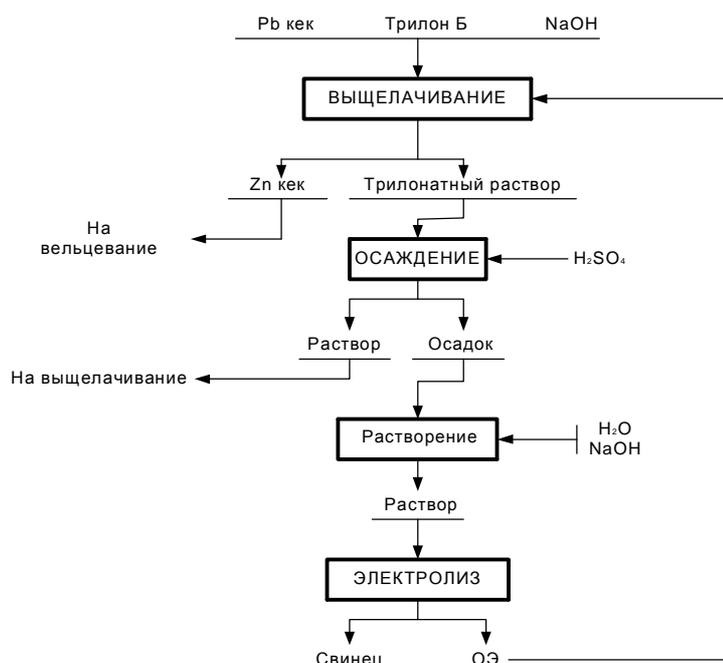


Рис. 1. Схема переработки свинцового кека

Эффективными растворителями для оксидных и солевых форм свинца являются растворы аминов, высокая комплексообразующая способность которых позволяет получать технологические растворы с содержанием свинца до 300 г/дм<sup>3</sup>. Применение комплексообразующих реагентов обеспечивает селективное извлечение свинца из техногенного сырья, высокую емкость по свинцу, достаточную селективность и обеспечивает возможность регенерации. В отличие от кислых и солевых растворов, алкиламины не являются агрессивными по отношению к различным маркам конструкционных сталей.

В качестве растворителя сульфата свинца рационально использовать водные растворы динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилона Б), позволяющие количественно перевести свинец в раствор за одну стадию, обеспечить оборот комплексообразователя с минимальными потерями, использовать негерметичную аппаратуру, не подогревать технологические растворы.

В лабораторных условиях проведены исследования по выщелачиванию свинцовых кеков с определением оптимальных параметров ведения процесса: исходная концентрация трилона Б 100 г/дм<sup>3</sup>, pH 7, соотношение Ж:Т = 7-8, температура 20-25°C. При этих условиях извлечение свинца в раствор близко к 96%, цинка - 30%, меди - 20%, железо количественно остается в кеке.

Очистка полученного трилонатного раствора от металлов-примесей (в основном цинка и меди) основана на разнице в растворимости солей ЭДТА при изменении кислотности среды. При понижении pH до 1,5-1,0 происходит разрушение трилонатных комплексов с образованием осадка ЭДТА. Подкисление раствора целесообразно проводить серной кислотой для соосаждения совместно с ЭДТА свинца в сульфатной форме, при этом цинк и

медь остаются в растворе в форме сульфатов. Полученный осадок фильтровали и промывали подкисленной водой (во избежание растворения и потери ЭДТА с промывными водами) от металлов-примесей и обрабатывали щелочным раствором из расчета получения готового электролита с концентрацией свинца  $40 \text{ г/дм}^3$  и  $\text{pH}$  10.

Электроэкстракцию свинца проводили в двухкамерном закрытом электролизере с перегородками из различных материалов (рис. 2). Оптимальной является катионообменная мембрана марки МК – 40. Мембрана предназначена для предотвращения попадания анионов ЭДТА в анодную камеру и их окисления в результате протекания электрохимических реакций. Катодом служил раствор трилоната свинца, анолитом – слабокислый сульфатный раствор. При проведении лабораторных испытаний через электроэкстракционную ячейку протекал ток силой  $0,45 \text{ А}$ ; рабочие площади катода (нержавеющая сталь) и анода (платинированный титан) составляли  $0,006 \text{ м}^2$ .

Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения при электроэкстракции губчатого свинца, который после водной отмывки и переплавки под слоем покровного флюса соответствовал марке С1 по ГОСТ 1467-93. Выход по току составляет 93%, расход электроэнергии  $3100 \text{ кВтч/т}$  свинца.

Полученный при электроэкстракции отработанный электролит содержит:  $\text{Pb}-2,3 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{Zn}-68,9 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Cu}-0,27 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Fe}-11,8 \text{ мг/дм}^3$  и после корректировки  $\text{pH}$  может быть использован в голове процесса для выщелачивания исходных свинцовых кеков.

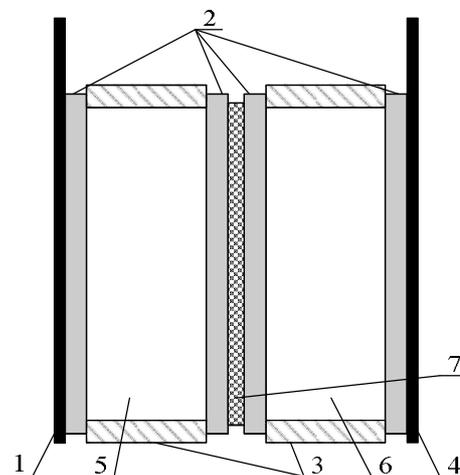


Рис. 2. Схема электролизера для электроэкстракции свинца: 1 – катод; 2 – уплотнитель; 3 – корпус ячейки; 4 – анод; 5 – католит; 6 – анолит; 7 – мембрана

В условиях научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) на площадке завода ОАО «Электроцинк» (г. Владикавказ) проведены испытания технологии для выявления возможности переработки как накопленных, так и текущих свинцовых кеков, а также подтверждения ранее полученных лабораторных результатов. Получен акт испытаний переработки свинцовых кеков ОАО «Электроцинк».

Суднев А.Г., аспирант  
Панов Д.С., соискатель  
Скороходов И.И., доц., канд. техн. наук

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОБАЛЬТА С ПОМОЩЬЮ СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время переработка марганцевых руд осуществляется в основном гидролитическими методами. Данная технология характеризуется высоким расходом реагентов, большими трудозатратами, значительным числом и объемом производственных отходов. Это связано с операциями очистки растворов от меди, никеля и кобальта. В производстве кобальта также существуют трудности при разделении кобальта и марганца.

Данная работа посвящена решению этой задачи методом сорбции. Представленные результаты основаны на укрупненных испытаниях по сорбционному отделению кобальта от марганца с использованием комплексобразующего анионита эпоксиаминового типа СБ-1 на производственных растворах кобальтового цеха ОАО «Уфалейникель» (г. Верхний Уфалей, Челябинская область).

Процесс разделения кобальта и марганца осуществлен в динамическом режиме из раствора, содержащего 26,05 г/дм<sup>3</sup> кобальта, 29,07 г/дм<sup>3</sup> марганца, 1,8-2,2 г/дм<sup>3</sup> никеля и до 0,1 г/дм<sup>3</sup> меди.

После пропускания через систему, состоящую из шести сорбционных колонн, заполненных 6,4 дм<sup>3</sup> анионита СБ-1, кобальто-марганцевого раствора в количестве 13,0 дм<sup>3</sup> получен очищенный фильтрат со средним содержанием, г/дм<sup>3</sup>: Mn - 24,3; Cu, Ni, Co < 0,001; Ca - 1,4; Mg - 4,8. Кривые сорбции кобальта и марганца приведены на рис. 1.

Из фильтрата осажден диоксид марганца путем его обработки газообразным хлором и поддержанием значения рН раствора на уровне 8,0÷8,5. В полученном осадке отношение марганца к цветным металлам, кальцию, магнию и железу составило более 5000. Таким образом, данный продукт можно реализовать в виде товарной продукции.

В процессе десорбции получены оборотный раствор, в который переходит большая часть поглощенного на стадии очистки кобальта, и раствор, преимущественно содержащий примеси меди и никеля. Кривые десорбции ионов металлов приведены на рис. 2. Данная сорбционная технология позволит сконцентрировать Cu и Ni в отдельном продукте, который легко может быть переработан на медеэлектролитном предприятии. Таким образом, исключается образование двух видов отходов: медного и никелевого кеков – характерных для применяемой на предприятии гидролитической схемы.

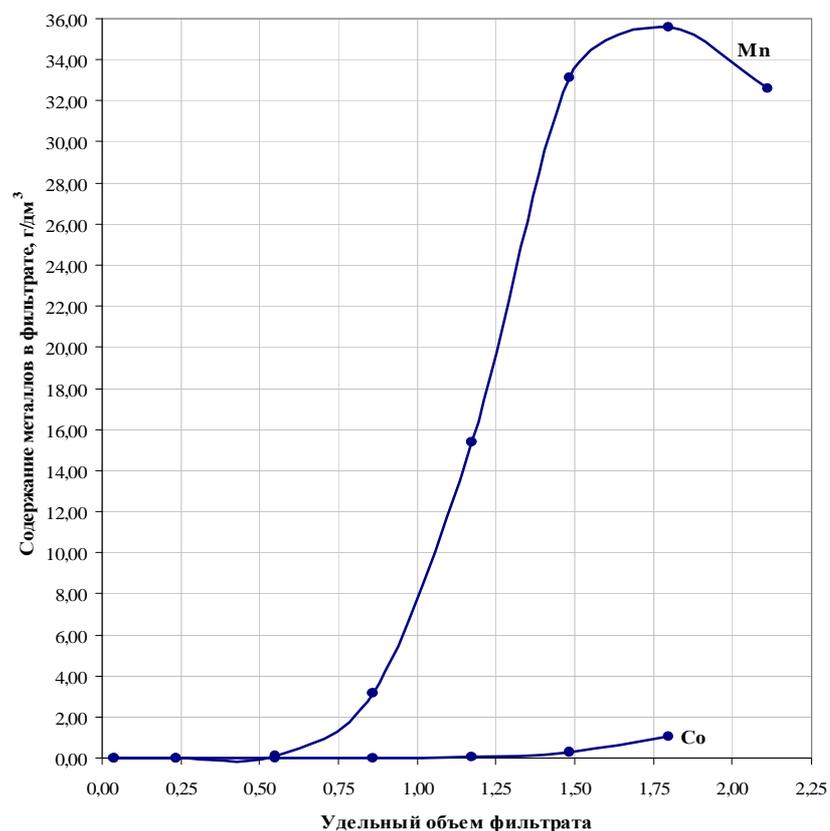


Рис. 1. Кривые сорбции кобальта и марганца

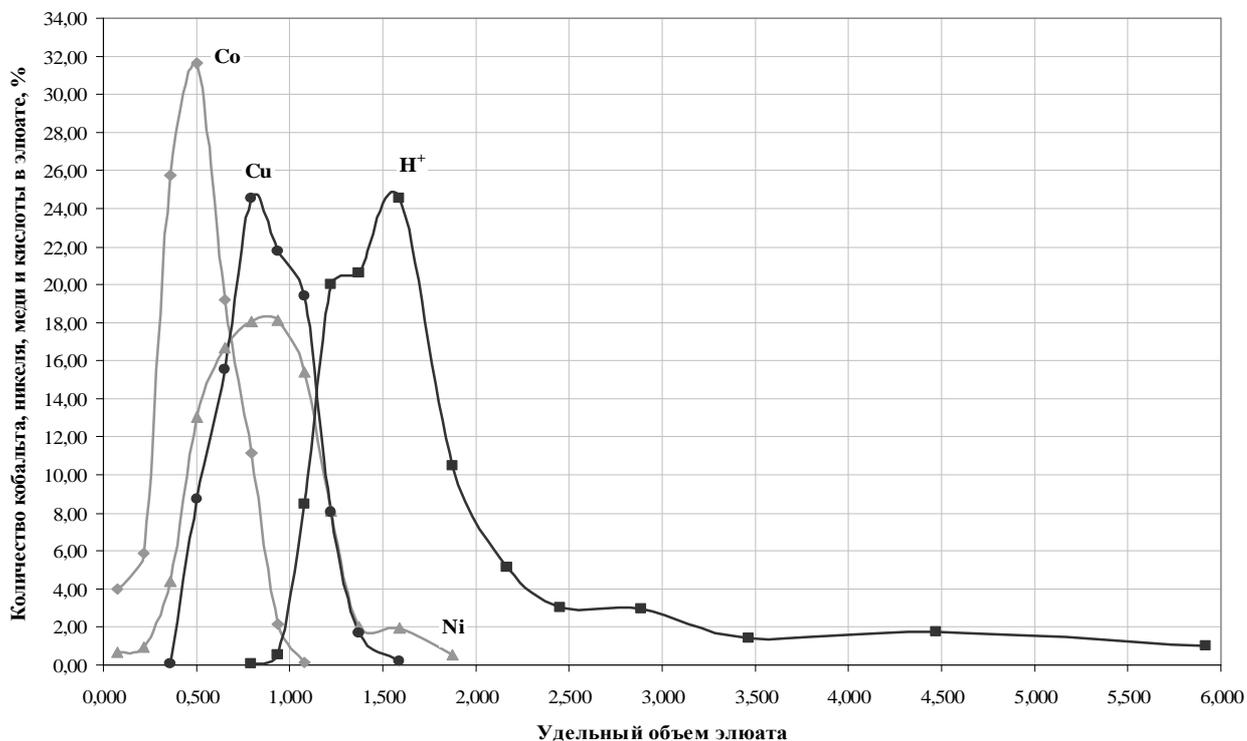


Рис. 2 Выходные кривые десорбции ионов металлов из насыщенного ионита

Проведенные испытания показали высокую эффективность сорбционного отделения кобальта от указанных примесей в производственных растворах. При его внедрении существенно сократятся

издержки производства кобальта высокой степени чистоты, повысится его извлечение в готовую продукцию. Нами предложена сорбционная схема, позволяющая выделить сопутствующий марганец в виде химически чистого соединения, которому найдется собственное применение в химической и других отраслях промышленности, а медь и никель - в богатый высоколиквидный продукт, годный к дальнейшей переработке. Это дает возможность ликвидировать потери марганца, никеля и меди, направляемые по существующей в настоящее время схеме в пирометаллургическую ветвь с соответствующими отходами и полупродуктами. Представленная же технология приведет к значительному сокращению количества и номенклатуры отходов производства, а следовательно, более рациональному и комплексному использованию сырья.

Шестаков А.И., студент  
Егорова В.Ю., студентка  
Березовская В.В., проф., д-р техн. наук  
Митропольская С.Ю., доц., канд. техн. наук

## СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА Cr-Mn-Ni-N-СТАЛЕЙ

Областью применения аустенитных Cr-Mn-Ni-N-сталей являются морской транспорт; строительство (крепеж, арматура для конструкций морского базирования: мостов, эстакад, платформ); техника для исследования океанов и т.д., требующие, помимо высокой прочности и пластичности, сохранение немагнитных свойств, что обеспечивается термической и деформационной стабильностью структуры.

В работе исследована безуглеродистая аустенитная сталь 03X20AG11N7M2C с содержанием 19,62% Cr, 10,60% Mn, 6,81% Ni и 0,422% N. Сталь выплавляли в индукционной печи с использованием азотированного феррохрома. Гомогенизацию слитков проводили при 1250 °С в течение 6 ч, ковку – при 1150-950 °С с последующей закалкой заготовок от 1100 °С в воде. Готовые образцы старили при 500 °С, 2 ч и 800 °С, 1 ч.

Стандартными механическими испытаниями были получены следующие свойства:  $\sigma_{0,2} = 485$  и  $540$  МПа,  $\sigma_B = 820$  и  $910$  МПа,  $\delta = 49$  и  $34\%$  и  $\psi = 68$  и  $67\%$  соответственно после закалки и после закалки со старением при 500 °С. Параметры испытаний КРН в 3,5%-ном растворе NaCl после закалки:  $\sigma_K$  (кратковременная прочность) = 1990 МПа,  $\sigma_{II}$  (пороговое напряжение) = 1660 МПа,  $\Delta\sigma/\sigma_K$  (относительное снижение прочности) = 17%; после закалки и старения при 500 °С:  $\sigma_K = 2050$  МПа,  $\sigma_{II} = 1600$  МПа,  $\Delta\sigma/\sigma_K = 22\%$ .

Микроструктура стали (рис. 1) после указанных режимов термической обработки представляла собой аустенит с размером зерна 15-20 мкм и небольшим количеством (~ 5%)  $\delta$ -феррита. Заметные изменения в структуре наблюдались после старения при 800 °С в виде выделений по границам зерен, что, согласно рентгеноструктурному анализу, было связано с образованием  $\sigma$ -фазы. После механических испытаний видимых изменений фазового состава не наблюдалось, в структуре присутствовали только линии скольжения.

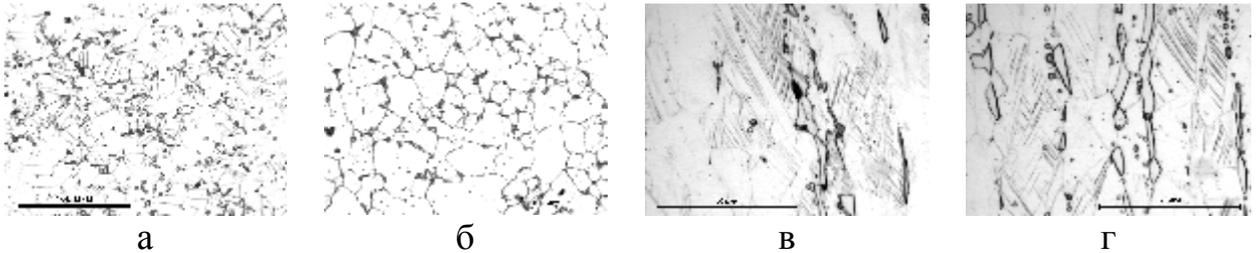


Рис. 1 Микроструктура стали 03X20AG11N7M2C: в исходном состоянии (а, б), соответственно после закалки и закалки со старением при 500°С, 2 ч и после механических испытаний (в, г) закаленного и состаренного образцов

В работе проведены магнитометрические исследования четырех состояний образцов на магнитометре Remagraph C-500:

- после закалки от 1100°С;
- после закалки от 1100°С и старения при 500°С;
- после закалки от 1100°С, старения при 500°С и деформации растяжением на 25%;
- после закалки от 1100°С и старения при 800°С.

Магнитный анализ осуществляли по предельным петлям магнитного гистерезиса при максимальном внутреннем поле до 80 кА/м. Погрешность измерения магнитного поля, индукции и намагниченности образцов не превышала 3%. Показано, что исследованная сталь в закаленном состоянии имеет очень низкую максимальную намагниченность  $I_{max}$  (~ 0,026 Тл) и значительную коэрцитивную силу  $H_c$  (~1,2 кА/м) и низкую остаточную индукцию  $B_r$  (~0,002 Тл). Старение при 500°С существенно повысило максимальную намагниченность, в то время как деформация практически не повлияла на остаточную индукцию и незначительно увеличила коэрцитивную силу (рис. 2). Существенное изменение свойств наблюдалось после старения при 800°С, увеличив как остаточную индукцию, так и коэрцитивную силу, что связано с образованием магнитной  $\sigma$ -фазы (FeCr).

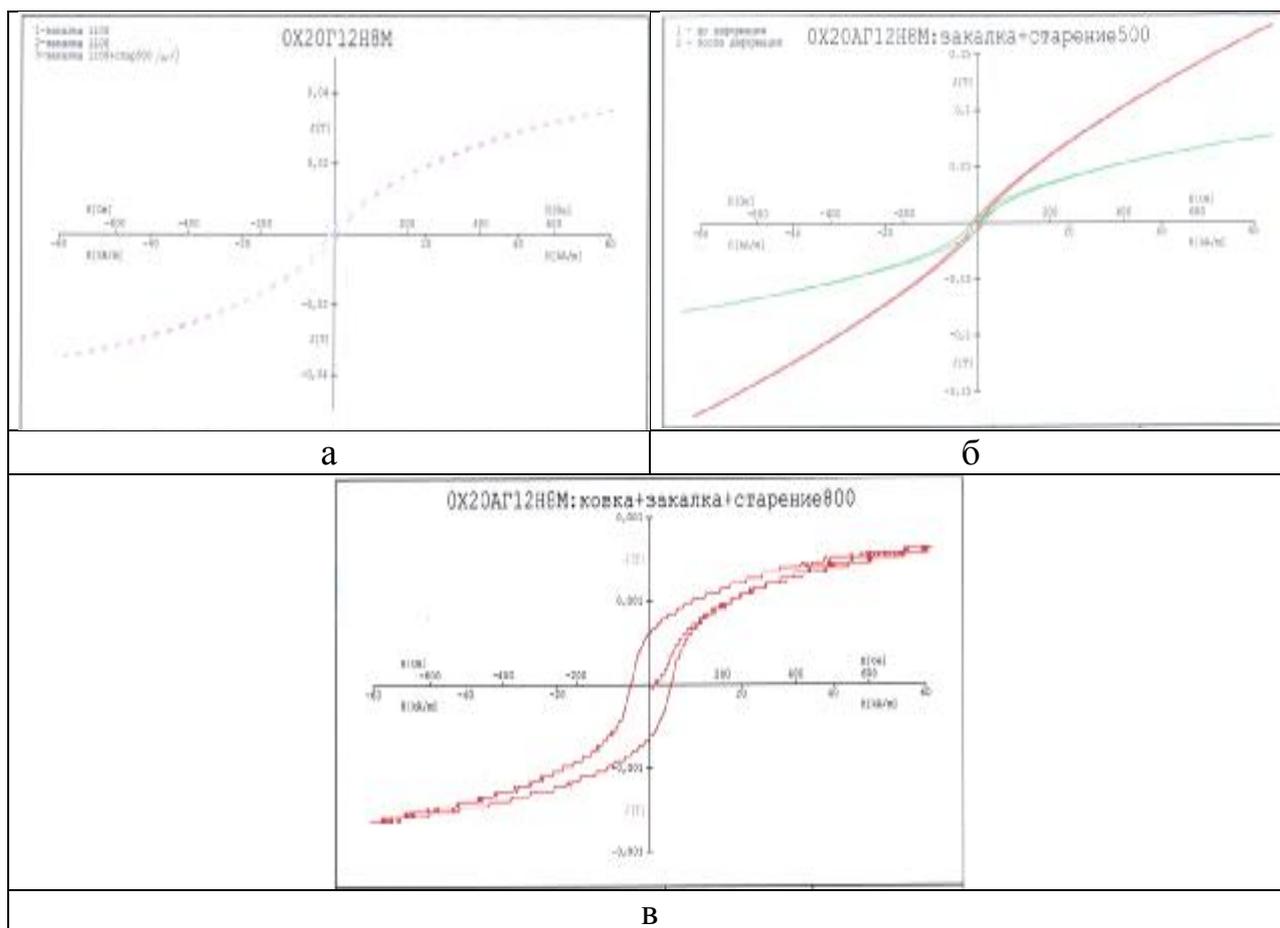


Рис. 2. Кривые гистерезиса стали 03X20AG11N7M2C после различной обработки (а-в) и деформации (а, б): а - после закалки; б, в – после старения при 500 и 800°C

Также проводились исследования магнитных свойств в процессе механических испытаний, при которых образцы дискретно растягивались с периодической съемкой петли гистерезиса на приборе Remagraph C-500. На рис. 3 приведены кривые растяжения и магнитные свойства. В закаленном состоянии максимальная намагниченность исследованной стали мала. После деформации растяжением на 25% она несколько увеличилась. При растяжении значения коэрцитивной силы в упругой области резко уменьшались, затем увеличивались и после насыщения переставали расти. Падение коэрцитивной силы было связано с упругим деформированием, а ее возрастание – с увеличением деформаций в пластической области.

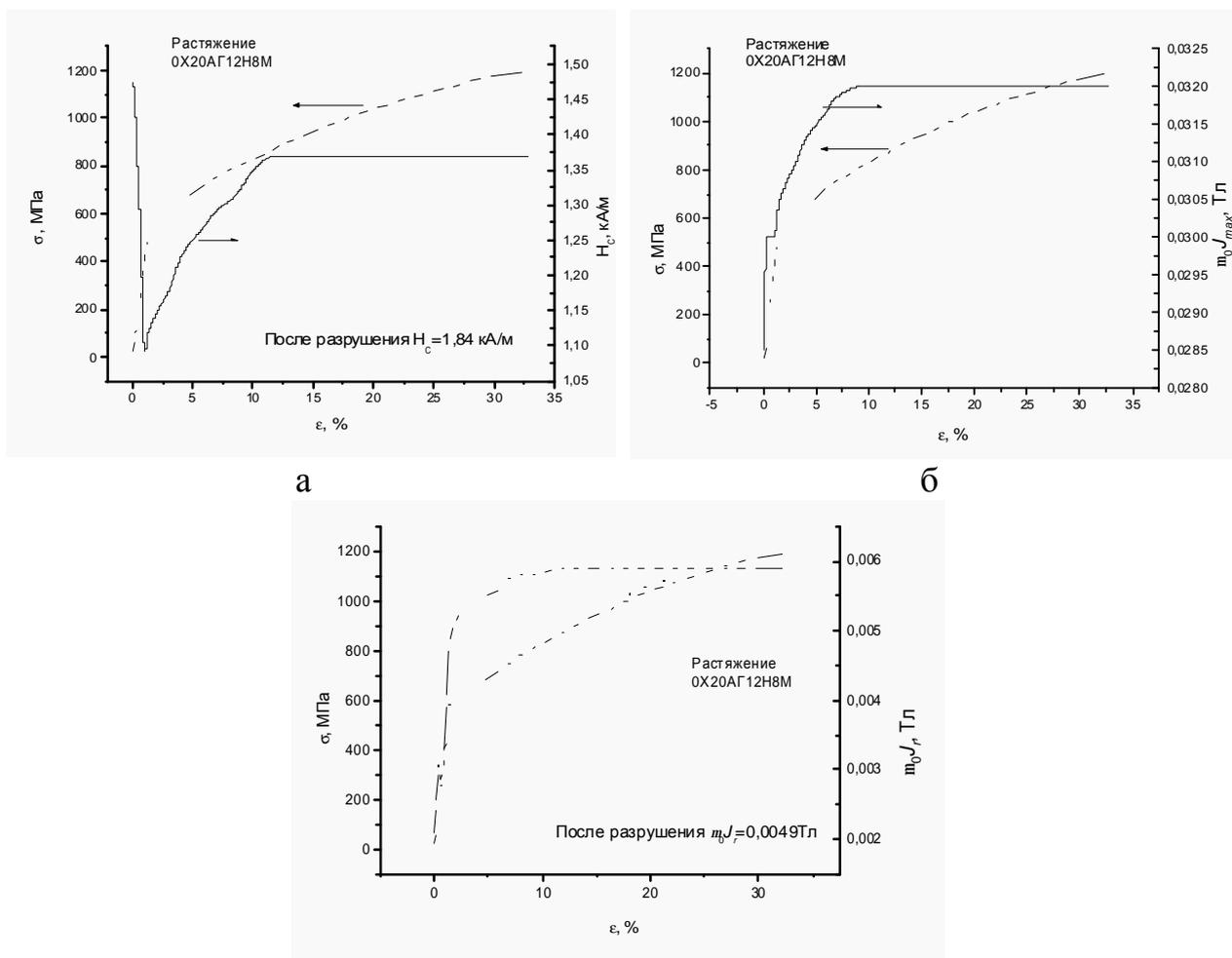


Рис. 3 Магнитные свойства стали 03X20AG11H7M2C при растяжении:  
 а –  $H_c$ ; б –  $\mu_0 J_{\max}^J$ ; в –  $\mu_0 J_r^J$

Таким образом исследование стали 03X20AG11H7M2C показали, что она имеет аустенитную структуру с небольшим количеством магнитной составляющей ( $\delta$ - или  $\sigma$ -фазы) в зависимости от режима термической обработки. Аустенит стали имеет высокую термическую и деформационную стабильность. Исследование магнитных свойств показало, что сталь обладает очень высокой коэрцитивной силой, особенно в состаренном после  $800^\circ\text{C}$  состоянии, и имеет при этом низкую максимальную намагниченность и остаточную индукцию.

Нечвоглод О.В., аспирантка

Селиванов Е.Н., проф., д-р техн. наук, Институт металлургии УрО РАН,  
г. Екатеринбург

Мамяченков С.В., ведущий науч. сотр., канд. техн. наук.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ НИКЕЛЯ И МЕДИ

Термодинамическое моделирование электроокисления сульфидов меди и никеля было выполнено с использованием программного комплекса HSC 5.1. Построены диаграммы Пурбе для систем Ni-S-H<sub>2</sub>O, Cu-S-H<sub>2</sub>O и S-H<sub>2</sub>O в интервале рН от -2 до 14 и области потенциалов -2,0 до 2,0 В. При термодинамическом моделировании сделаны следующие допущения:

- в расчетах учтены свойства чистых стехиометрических веществ;
- термохимические вычисления произведены без учета скорости реакций;
- отрицательное значение рН хотя и не имеет физического смысла, но характеризует область с высокой кислотностью растворов.

В системе Ni-S-H<sub>2</sub>O (рис.1) область существования металлического никеля расположена во всем интервале варьируемых значений рН. Поэтому металлический никель может быть получен как в кислой, так и в щелочной средах. Потенциал осаждения металлического никеля снижается до -1,0 В в щелочной среде (рН = 14). Увеличение потенциала ведет к последовательной смене областей существования сульфидов Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>→NiS→NiS<sub>2</sub>. В области потенциалов от 0,0 до -0,5 В при рН в пределах -2÷7 происходит образование NiSO<sub>4</sub>.

В щелочной среде при повышении потенциала электрода возможен переход NiS<sub>2</sub>→NiS. Дальнейшее увеличение потенциала на сульфиде ведет к образованию оксида и гидратов никеля (рН более 7).

Таким образом, переходы Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>→NiS→NiS<sub>2</sub>→NiSO<sub>4</sub>+S обусловлены величиной потенциала электрода и значением рН раствора. Образование NiS<sub>2</sub> и S в щелочной среде термодинамически невозможно.

В системе Cu-S-H<sub>2</sub>O (рис. 2) металлическая медь устойчива во всем интервале рН при потенциалах ниже -0,2 В. При увеличении потенциала во всем изучаемом интервале кислотности вероятно образование сульфида меди Cu<sub>2</sub>S. При более высоком потенциале смежной является область существования низшего сульфида CuS. В узкой области потенциалов в среде со значительной кислотностью возможно образование элементной серы.

В щелочных растворах вероятны переходы Cu<sub>2</sub>S→CuS→Cu<sub>2</sub>S→Cu→Cu<sub>2</sub>O, протекание которых определяется потенциалом электрода и значением рН. Анодное растворение сульфидов в щелочной среде ведет к образованию оксидов и гидратов. Имея в виду, что потенциалы анодного растворения сульфидов никеля и меди в кислой среде

существенно выше, чем в щелочной, с энергетической точки зрения растворение сульфидов выгодно вести при низких значениях рН.

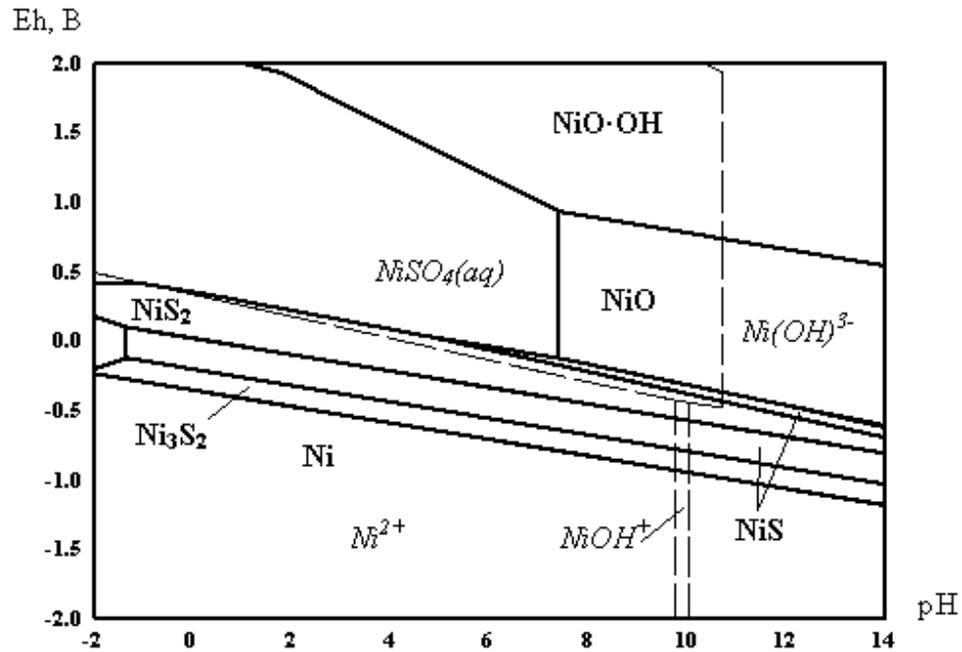


Рис. 1. Диаграмма состояния системы Ni-S-H<sub>2</sub>O при температуре 25°C

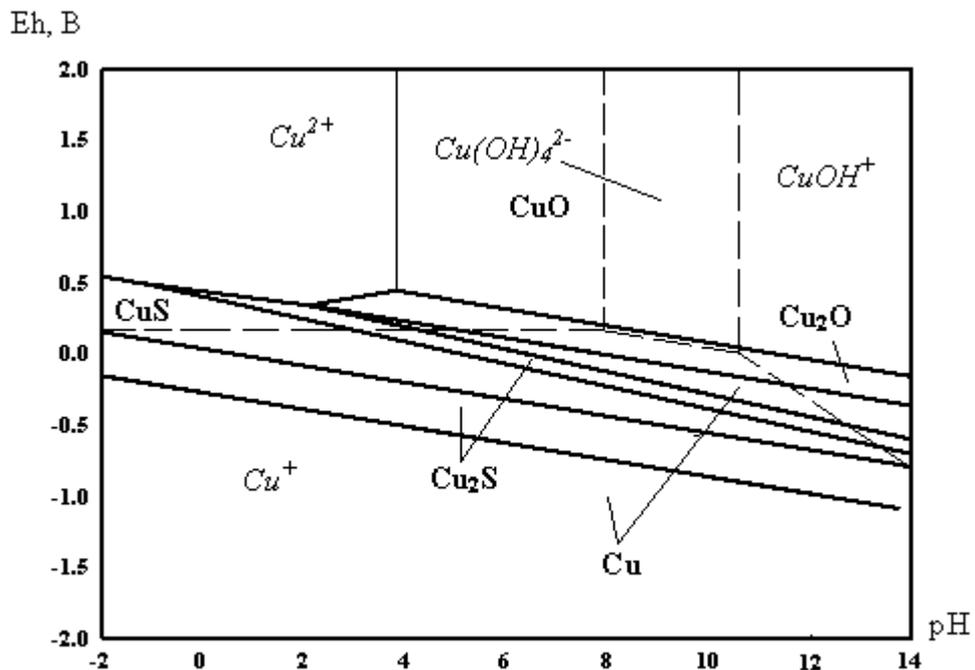


Рис. 2. Диаграмма состояния системы Cu-S-H<sub>2</sub>O при температуре 25°C

Согласно диаграмме S-H<sub>2</sub>O (рис. 3) после насыщения раствора по H<sub>2</sub>S в кислой среде вероятно образование элементарной серы. Перевод серы в раствор в виде SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> или S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> требует повышения потенциала. В области положительных потенциалов до 2,0 В устойчивой растворенной формой является сульфат ион. Выше 2,0 В сера из состояния +6 окисляется до состояния +7 и из сульфат-иона переходит в тиосульфат-ион. Это

превращение имеет чисто электрохимическую природу и происходит без участия протонов водорода или гидроксильных групп.

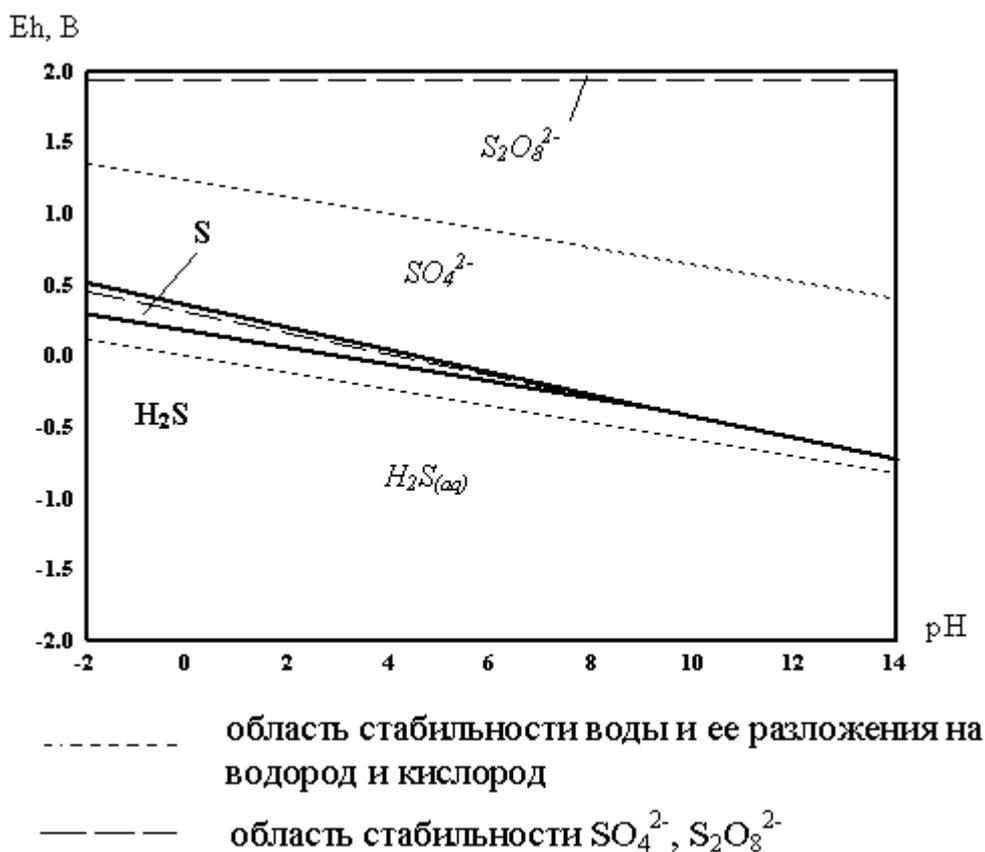


Рис. 3. Диаграмма состояния системы S-H<sub>2</sub>O при температуре 25°C

Таким образом, диаграммы Пурбе позволили определить термодинамически устойчивые формы и соединения ионов меди, никеля и серы в водных растворах при заданных значениях pH и потенциалах электрода, а также вероятные потенциалы сульфидных электродов для перевода металлов в раствор, а серы - в элементное состояние.

Медведева И.В., аспирант  
 Гадеев Д.В., студент  
 Илларионов А.Г., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА НА ПРОТЕКАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В $(\alpha+\beta)$ -ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПЕРЕХОДНОГО КЛАССА

Двухфазные  $(\alpha+\beta)$ -титановые сплавы переходного класса широко используются в аэрокосмической промышленности благодаря возможности получения комплекса свойств, превосходящего по уровню многие другие промышленные сплавы.

Столь ответственные области применения требуют четкого соблюдения режимов термообработки и жесткой регламентации конечной структуры сплава, что сопряжено с определенными трудностями.

Так, при нагреве до высоких температур в сплаве могут протекать такие нежелательные явления, как резкий рост зерна, образование концентрационных флуктуаций, активное взаимодействие с газами, изменение фазового состава и другие. Вообще влияние температуры нагрева не всегда однозначно, и данные, полученные в работах по исследованию влияния высокотемпературного нагрева, не всегда в достаточной степени согласуются между собой. Поэтому представляется важным изучить влияние температурно-временных параметров обработки на формирование структуры при высокотемпературном нагреве, а также рассмотреть особенности структурных и фазовых превращений, протекающие при различных скоростях охлаждения в высоколегированном титановом сплаве VST5553.

Работу проводили на образцах, вырезанных из крупногабаритной штамповки, деформированной в  $(\alpha+\beta)$ -области. Данные полуфабрикаты, марочный химический состав которых приведен в табл. 1, были получены в промышленных условиях на предприятии ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Таблица 1

Марочный химический состав титанового сплава VST5553, мас. %

Ti	Основные легирующие элементы					Примеси, не более						
	Al	V	Mo	Fe	Cr	Zr	Si	O	H	N	C	Y
основа	5,48...5,50	4,74...4,75	4,91...4,97	0,36...0,37	2,68...2,69	0,011	0,031	0,149	0,0016	0,011	0,009	0,001

Используемая в исследовании схема термической обработки образцов приведена на рис. 1. Сплав нагревали в интервале температур от 860 до

1000°C, принадлежащим  $\beta$ -области, выдерживали в течение 30 минут и 2 часов и охлаждали в воде и на воздухе.

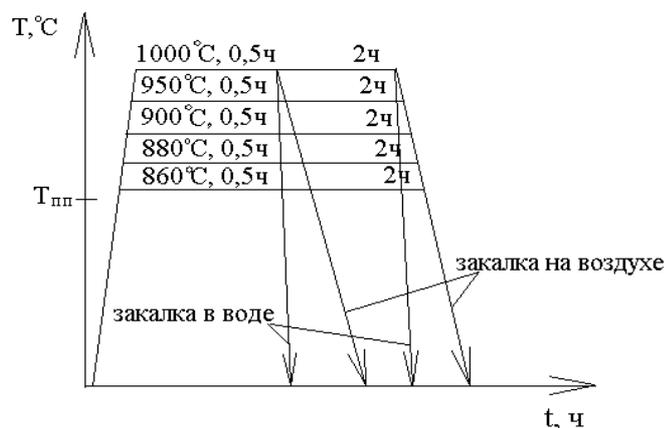


Рис. 1. Схема термической обработки сплава VST5553

В работе использовались такие методы исследования как: оптическая и просвечивающая микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ, дюротметрия, рентгеноструктурный фазовый анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что нагрев сплава под закалку выше температуры полиморфного превращения способствует активизации процессов собирательной рекристаллизации, укрупнение  $\beta$ -зерен происходит равномерно по всему объему. Увеличение времени выдержки с 30 минут до 2 часов приводит к более активному росту зерна.

Процессы, связанные с изменением зеренной структуры сплава при нагреве его под закалку и последующим охлаждением на воздухе, повторяют структурные процессы по изменению  $\beta$ -зерна, протекающие при нагреве сплава под закалку с последующим охлаждением его в воде.

Охлаждение нагретого до высоких температур сплава на воздухе приводит к формированию в теле  $\beta$ -зерен характерной структурной неоднородности, которую условно назовем «выделения» (рис. 2). Можно отметить неоднородный характер распределения таких «выделений»: встречаются зерна как с большим количеством «выделений», так и практически без них. Преимущественными местами зарождения «выделений» служат бывшие до процессов первичной рекристаллизации сплава границы  $\beta$ -зерен и субзерен, что говорит о гетерогенном пути образования структурных неоднородностей.

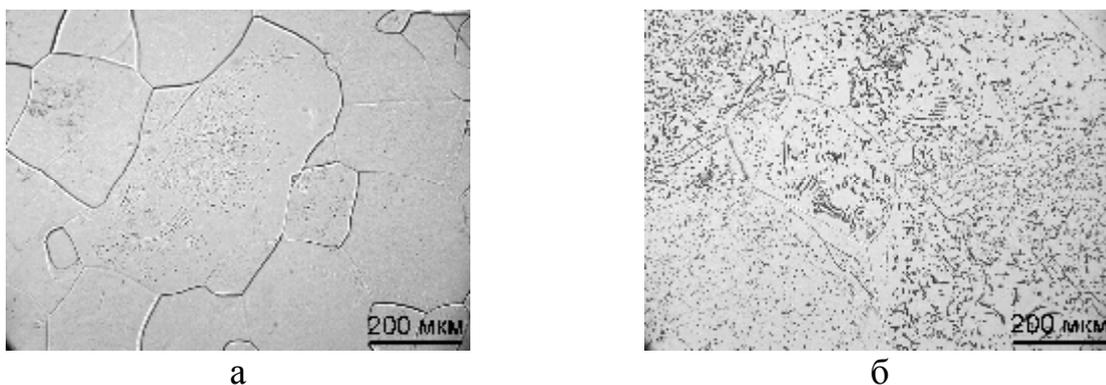


Рис. 2. Микроструктура сплава VST5553 после нагрева до температур 800°C (а) и 1000°C (б), выдержки 30 минут и охлаждения на воздухе

Увеличение температуры сплава под закалку и увеличение времени выдержки с последующим его охлаждением на воздухе сопровождается образованием большей объемной доли «выделений», что может быть связано с увеличением количества точечных дефектов, таких как вакансии, при увеличении температуры нагрева, которые способствуют увеличению диффузионной подвижности легирующих элементов при охлаждении, инициируя протекание процессов распада.

Данные рентгеноструктурного фазового анализа показали, что все закаленные с различных температур сплавы находятся в однофазном  $\beta$ -состоянии, как при закалке в воду, так и при охлаждении на воздухе. Однако, при температурах закалки свыше 900 °С для сплавов, охлажденных на воздухе дифракционные линии  $\beta$ -фазы раздваиваются, что говорит о расслоении  $\beta$ -твердого раствора на области, обедненные и обогащенные  $\beta$ -стабилизаторами.

Таким образом, рентгенографический анализ не показал различий в кристаллической структуре матрицы и наблюдаемых «выделений».

На следующем этапе была проведена растровая электронная микроскопия. Выявлено, что «выделения» ориентированны определенным образом в теле зерна и представляют собой одиночные пакеты, либо пересекающиеся между собой пакеты тончайших пластин (рис. 3).

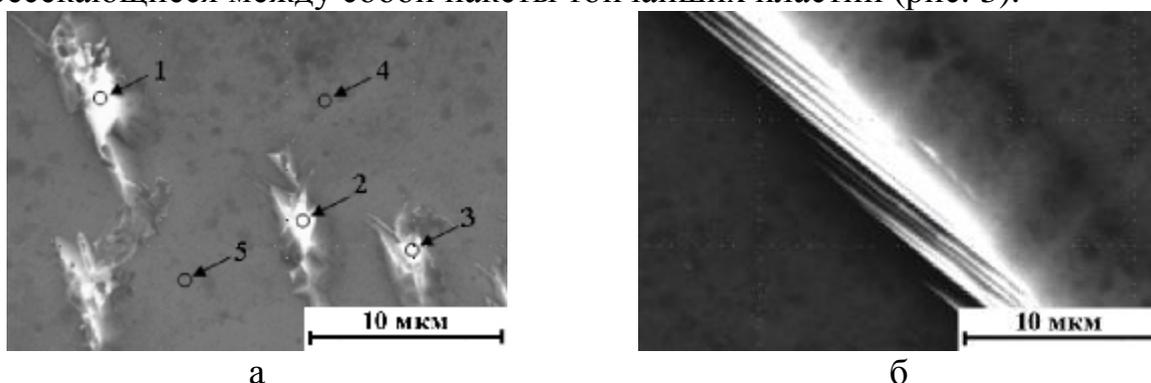


Рис. 3. Микроструктура сплава после нагрева на 1000°C, выдержки 2 часа (охлаждение на воздухе)

Средняя толщина одиночного пакета составляет порядка 3...5 мкм. Четкой границы раздела между «выделениями» и матрицей нет, что не дает возможности отнести данные «выделения» к отдельной фазе.

Установлено, что для химического состава микрообластей «выделений» (рис. 3, а, обозначено стрелками 1, 2, 3; табл. 2) характерно некоторое обогащение по  $\alpha$ -стабилизатору – алюминию и обогащению по  $\beta$ -стабилизатору – молибдену (частично и по хрому), по сравнению с химическим составом матрицы (рис. 3, а, обозначено стрелками 4, 5; табл. 2).

Таблица 2

Распределение химических элементов в отдельных микрообъемах сплава после нагрева до 1000°C, выдержки 2 ч и охлаждения на воздухе

Химический элемент	Содержание, мас. %				
	«выделения»			матрица	
	1	2	3	4	5
Al	6,48	7,01	6,14	5,59	5,79
Ti	78,97	78,22	78,90	80,19	80,14
V	5,08	5,20	5,24	5,60	5,77
Cr	3,38	3,33	3,69	3,01	3,03
Fe	0,39	0,53	0,44	0,42	0,35
Mo	5,69	5,71	5,59	5,19	4,92
Всего:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Изучение структуры сплава также проводили и методами дифракционной электронной микроскопии.

Исследование фазового состава показало, что в закаленном состоянии в сплавах, нагретых до 1000°C и охлажденных в различных средах, присутствует только  $\beta$ -фаза, что согласуется с данными рентгеноструктурного фазового анализа. В структуре  $\beta$ -фазы наблюдается относительно равномерно распределенные единичные дислокации в форме петель и небольшое количество дислокационных скоплений в виде «полос» при охлаждении в воду, тогда как при охлаждении на воздухе количество такой формы дислокационных скоплений резко возрастает, причем множество «полос» пересекаются между собой.

Практически во всех микрообъемах исследуемых участков фольг, как при охлаждении в воде, так и на воздухе, наблюдался характерный полосчатый контраст.

Особенностью всех электронограмм, снятых с таких участков фольг, явилось диффузное рассеяние, проявляющееся в виде тяжелой (рис. 4), чаще всего причиной которого является возникновение в матричной фазе ближнего порядка смещений, приводящих к образованию конфигураций атомов, симметрия которых характерна для решетки выделений.

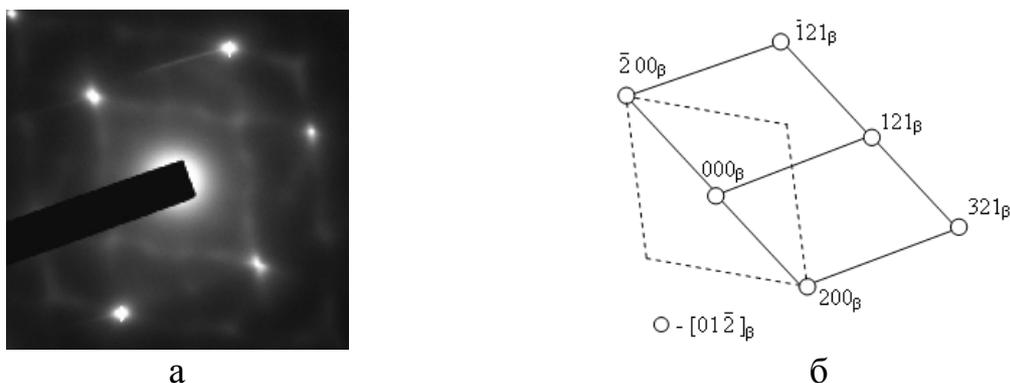


Рис. 4. Микродифракционная картина (а) и схема ее расшифровки (б) сплава VST5553 после нагрева до 1000 °С, выдержки 2 часа

Причем эффекты диффузного рассеяния для сплава, охлажденного на воздухе, проявляются более интенсивно, чем для сплава, охлажденного в воде, что свидетельствует о большей нестабильности  $\beta$ -твердого раствора и предрасположенности его к последующему распаду.

Все тяжи наблюдаются в положениях вдоль направлений типа  $\langle 110 \rangle_{\beta}$  и  $\langle 211 \rangle_{\beta}$  (диффузные тяжи обозначены пунктирными линиями на рис. 4, б), то есть близких к положению рефлексов  $\alpha$ -фазы.

Данные по изменению твердости после различных режимов термообработки в сплаве VST5553 показали, что твердость сплава практически не изменяется, остается примерно на одном уровне.

Таким образом, из анализа всех использованных методов было сделано предположение, что образующиеся «выделения» представляют собой не выделения второй фазы, а области  $\beta$ -твердого раствора, отличающиеся по химическому составу, появившиеся в результате высокой подвижности вакансий и легирующих элементов.

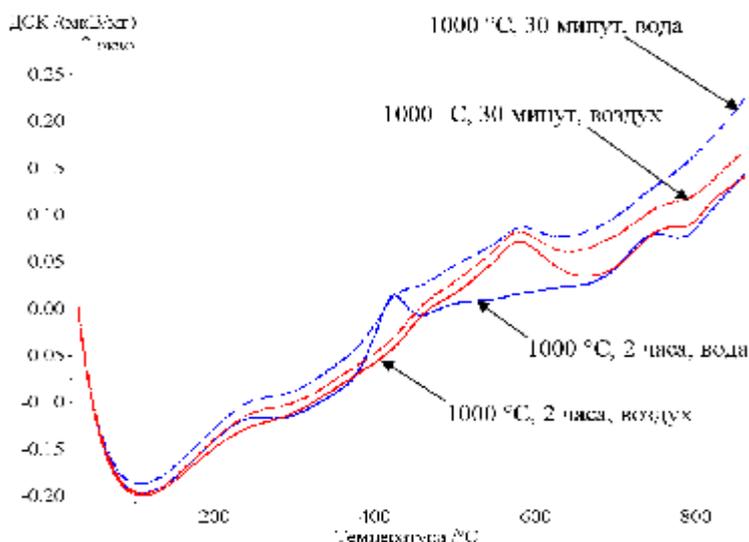


Рис. 5. Термограммы нагрева образцов, закаленных с температуры 1000°С, после выдержки 30 минут и 2 часа с последующим охлаждением в различных средах

Была изучена стадийность протекания процессов распада в образцах, закаленных в воде и охлажденных на воздухе при непрерывном нагреве (рис. 5). Установлено, что при непрерывном нагреве образцов, охлажденных с  $1000^{\circ}\text{C}$  на воздухе, присутствие «выделений» тормозит процессы распада  $\beta$ -твердого раствора в низкотемпературной области (до  $470^{\circ}\text{C}$ ) по гомогенному механизму и активизирует  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращение по гетерогенному механизму распада в интервале  $470 \dots 650^{\circ}\text{C}$ , по сравнению с закалкой в воду.

Данные эффекты могут быть связаны с фиксацией при охлаждении с различной скоростью разного количества неравновесных вакансий. Исходя из данных ДСК, в качестве рабочего интервала температур старения закаленных сплавов можно рекомендовать температуры  $580 \dots 650^{\circ}\text{C}$ , которые соответствуют нисходящей ветви экзоэффекта, соответствующего  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращению с образованием  $\alpha$ -фазы по диффузионному механизму, обеспечивающему возможность получения высокопрочного состояния при удовлетворительной пластичности.

### **Выводы**

1. Повышение температуры нагрева и времени выдержки в  $\beta$ -области способствует активизации роста  $\beta$ -зерна за счет развития процессов собирательной рекристаллизации. При изученных параметрах нагрева повышение температуры влияет на процессы роста зерна в большей степени, чем увеличение времени выдержки.

2. Закалка из  $\beta$ -области в воду обеспечивает фиксацию в сплаве VST5553 высокотемпературного  $\beta$ -состояния, которое характеризуется наличием областей с  $\alpha$ -образными смещениями. Смена скорости охлаждения с воды на воздух способствует появлению в структуре характерных «выделений», количество которых растет с повышением температуры нагрева и длительности выдержки из-за увеличения количества неравновесных вакансий, активизирующих диффузионные процессы при замедленном охлаждении. «Выделения» не формируют в ОЦК-матрице собственную решетку и не способствуют активному упрочнению сплава, но имеют повышенную дефектность и интенсивность  $\alpha$ -образных смещений, а также более высокое содержание алюминия и молибдена по сравнению с матричным раствором.

3. Установлена стадийность фазовых превращений при распаде метастабильного  $\beta$ -твердого раствора в ходе непрерывного нагрева сплава, закаленного с температуры  $1000^{\circ}\text{C}$  с различными временами выдержек и охлажденного в различных средах. Определен рабочий интервал температур старения сплава.

Детков А.В., Миртов И.С., Кирьянов К.С., Кетов Е.М., Камаев А.В.,  
Ермохин П.Г., студенты  
Первушин Н.Г., доц., канд. техн. наук

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ИЛЬМЕНИТОВОГО СЫРЬЯ

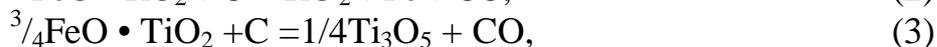
К основным способам получения металлического титана относят:

- восстановление диоксида титана в одну стадию до чистого металла;
- восстановление диоксида титана в две стадии - первоначально получают титан металлический, содержащий примеси, который подвергают электролизу или восстанавливают другим способом до чистого металла;
- электролиз диоксида титана;
- получение из диоксида титана хлорида, фторида или какого-либо другого соединения, подвергая образовавшийся продукт восстановлению металлом или электролизом.

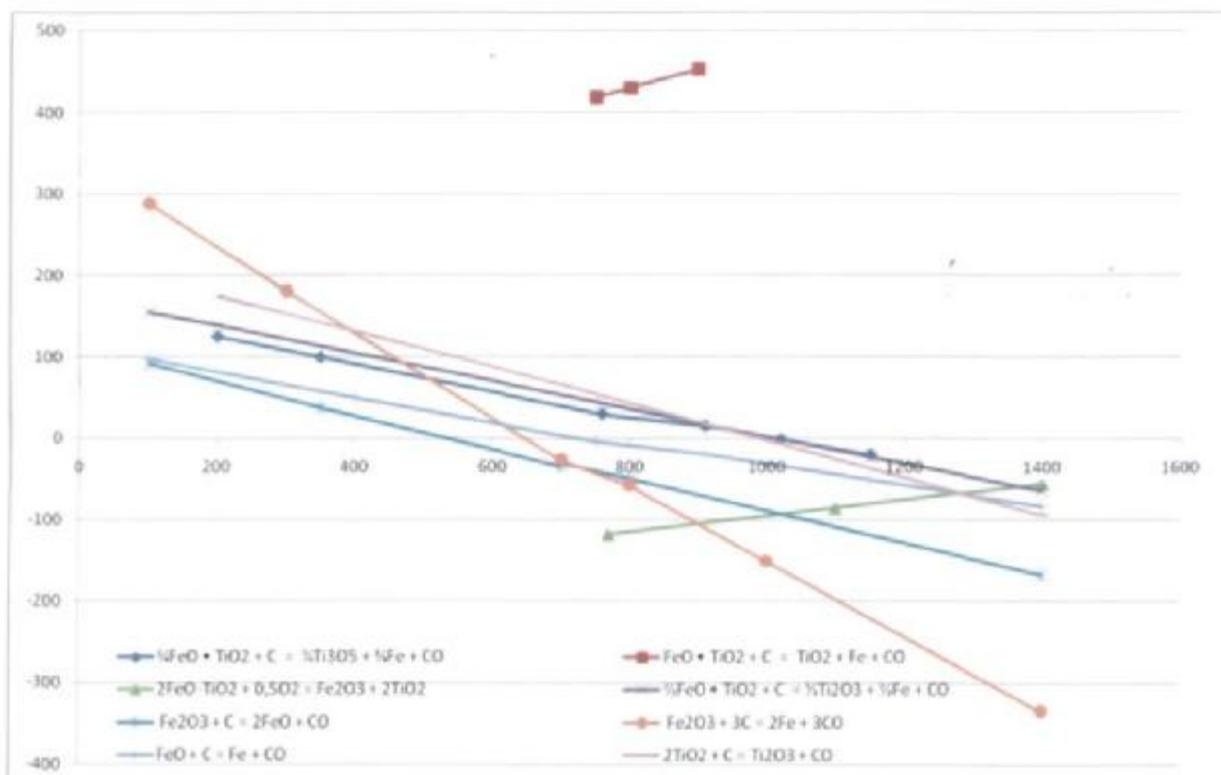
В России получение металлического титана организовано по сложному высокочрезвычайно технологическому производству магнийтермическим методом. Поэтому для титановых заводов России является весьма актуальной проблема создания новых малозатратных технологий во всех цепочках производства - от руды до титановой губки.

Для успешной разработки технологии оптимального кондиционирования исходного сырья титанового производства студенты кафедры МЛМ УГТУ-УПИ провели термодинамическое исследование кондиционирования ильменитовой руды. Ильменит в руде большей частью находится в смеси с гематитом  $Fe_2O_3$  или с магнетитом  $Fe_3O_4$ . Восстановление этих минеральных форм происходит неодинаково.

Известно, что высокая производительность процесса разложения ильменита зависит от интенсификации процессов окисления и восстановления оксидов минерала в пределах оптимальных температур. Оценивая термодинамическую вероятность протекания основных взаимодействий между компонентами шихты в восстановительной и окислительной атмосферах, рассчитали изменение энергии Гиббса для ряда химических реакций в интервале температур 373,15-1673,15 °К. Известно, что в процессе обработки многих минеральных смесей в пределах этих температур происходят основные твердофазные взаимодействия. Поэтому расчёт выполнили только для предположительно наиболее вероятных взаимодействий следующих реакций:



На рисунке показаны результаты расчётов изменения энергии Гиббса ( $\Delta G^0$ ) при протекании реакций по уравнениям (1) - (8).



Результаты расчетов изменения энергии Гиббса ( $\Delta G^0$ ) при протекании реакций по уравнениям (1) – (8)

Согласно представленному на рисунке расчёту характеристических термодинамических функций первичных реакций (1) - (4) разложения ильменита в окислительной и восстановительной атмосферах и вторичных реакций полученных продуктов в восстановительной среде (5) - (8), можно предположить следующее:

- реакции восстановления ильменита (2) с образованием металлического железа и диоксида титана, в области исследуемых температур, теоретически невозможны;

- реакции восстановления ильменита (3) и (4) с образованием металлического железа, а также низших оксидов титана  $Ti_3O_5$  и  $Ti_2O_3$  в области температур твердофазного взаимодействия (1227 - 1400°C) термодинамически возможны;

- наиболее предпочтительно протекают реакции окисления ильменита (1) с образованием гематита  $Fe_2O_3$  и диоксида титана  $TiO_2$  в области пониженных температур в сравнении с восстановительным обжигом титанатов железа;

- оценка термодинамической вероятности протекания реакций восстановления и окисления ильменита (1) – (4) в интервале температур 373,15 - 1673,15°K, позволяет предположить, что необходимо первоначально провести окислительный обжиг в пределах температур 900 - 1000°C;

- окислительный обжиг ильменита позволит перевести закись железа в гематит и ослабить структуру титаната железа, а это приведёт к повышению химической активности минерала;

- при окислительном обжиге на поверхности зёрен минерала образуется пористая плёнка, которая препятствует спеканию зёрен при дальнейшем восстановительном обжиге;

- из реакций вторичных продуктов (5) – (8) термодинамически предпочтительной является реакция (6) восстановления гематита с образованием металлического железа.

Термодинамические исследования кондиционирования ильменитовых продуктов показали возможность разработки экономичной схемы переработки ильменитового концентрата путём отказа от традиционной плавки концентрата в электропечах.

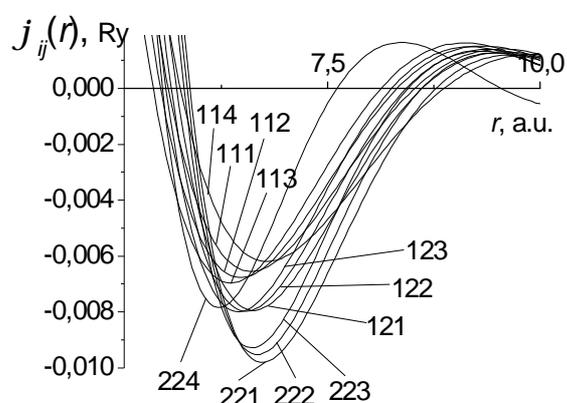
Григорьева Т.С., студентка

Крашанинин В.А., доц., канд. физ.- мат. наук

## ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО МЕЖИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ

Одним из наиболее развитых методов расчета термодинамических свойств металлических систем в конденсированном состоянии является метод псевдопотенциала. Основы его были разработаны еще У. Харрисоном (см. Харрисон. У. Псевдопотенциалы в теории металлов/У.Харрисон – М.: Мир, 1968. 366 с.), а суть заключается в том, что истинное уравнение Шредингера для электронной подсистемы  $H\psi = (T+V)E\psi$ , где  $H$  – гамильтониан,  $T$  – оператор кинетической энергии,  $V$  – полный потенциал в системе, а  $E$  и  $\psi$  – собственные значения энергии электронов и их волновые функции, точными преобразованиями приводится к виду  $H_p = (T+W)\phi = E$ , где  $H_p$  называют псевдогамильтонианом,  $W$  – псевдопотенциалом, а  $\phi$  – псевдоволновыми функциями. Собственные значения энергии этого уравнения точно совпадают с собственными значениями истинного уравнения Шредингера, соответствующими зоне проводимости. Для его решения используется теория возмущений Рэля-Шредингера. Соответственно, металлическая система подменяется на псевдометаллическую, поскольку предполагается, что плотность электронов проводимости описывается псевдоволновой функцией  $\phi$ .

Для компенсации разницы между  $\phi$  и  $\psi$  в теорию вводятся дополнительные величины (например, потенциал ортогонализационной дырки, эффективная валентность и др.). Это приводит к осложнениям. В данной работе плотность электронов проводимости вычисляется с использованием их истинных волновых функций. В этом случае не нужно вводить указанные выше дополнительные понятия. Основные идеи такого подхода изложены в работе В.А. Крашанинина (Крашанинин В.А. О методе псевдопотенциала из первых принципов для расчета свойств жидких и твердых металлов/В.А. Крашанинин. Расплавы. №4, 1999. С. 3–15). Кроме того, появляется возможность оценить сдвиги энергий остовных электронов за счет взаимодействия с реальной плотностью электронов проводимости. При этом формфакторы первопринципных псевдопотенциалов оказываются явно зависящими как от объема системы, так и от концентраций всех компонентов в ней. Это позволило провести расчеты



Эффективное парное взаимодействие в системе Li-Mg при объеме, равном  $147(\text{a.u.})^3$ . Введены следующие обозначения  $ijk$ :  $i, j = 1, 2$  – Li или Mg,  $k$  соответствует концентрациям, равным: 1 – 85, 2 – 75, 3 – 65 ат.% Li; 4 – по 100 ат.% Li или Mg

концентрационной и объемной зависимостей эффективного парного взаимодействия в бинарных системах простых металлов:

$$V_{mm'}(r) = \frac{z_m z_{m'}}{r} + \frac{\Omega_0}{\pi^2} \int_0^{\infty} F_{mm'}(q) \frac{\sin(qr)}{qr} q^2 dq,$$

где  $m$  – сорт иона,  $z_m$  – заряд иона,  $\Omega_0$  – средний атомный объем,  $F_{mm'}(q)$  – характеристическая функция зонной структуры,  $q$  – вектор обратного пространства.

В качестве примера на рисунке приведено эффективное парное взаимодействие в системе Li-Mg.

Давыдов Д.И., студент  
Акшенцев Ю.Н., канд. техн. наук  
Жуков А.А., доц., канд. техн. наук

## ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ НИКЕЛЬ-МАРГАНЕЦ-ГАЛЛИЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

В настоящее время большой интерес представляют исследования материалов с памятью формы. Они применяются для изготовления термочувствительных силовых элементов, разъемных и неразъемных соединений, не требующих пайки и сварки, в качестве различного рода фиксаторов в медицине, для изготовления термомеханических реле.

К таким материалам относится сплав Гейслера  $Ni_2MnGa$ . Магнитный и структурный переходы в ферромагнитных сплавах  $Ni_2MnGa$  с эффектом памяти формы происходят не только при стехиометрическом составе, но и при существенных отклонениях от него. Это представляет интерес с точки зрения практического применения сплава, поскольку позволяет изменять температурный интервал, разделяющий мартенситное и магнитное превращения, с помощью изменения состава. Поскольку большинство исследованных сплавов расположены на тройной фазовой диаграмме системы произвольно, их основные свойства рассматриваются как функции средней электронной концентрации на один атом  $e/a$ .

В данной работе методами дилатометрии и дифференциального термического анализа определены температуры фазовых превращений для четырех сплавов на основе  $Ni_2MnGa$ , образующих ряд, в котором происходит замещение марганца никелем при постоянном содержании галлия и изучено их структурное и фазовое состояние.

Образцы 1, 2 и 4 однофазны. Сплавы 1 и 2 имеют кубическую решетку ( $L2_1$ ). Параметр кристаллической решетки  $a = 0,5809$  нм. Сплав 4 находится в мартенситном состоянии, его структура описана как тетрагональная  $L1_0$  ( $a = 0,7716$ ;  $c = 0,6704$ ;  $c/a = 0,87$ ). Сплав 3 является двухфазным, в нем мартенситное превращение не завершено и при комнатной температуре наряду с мартенситом присутствует кубическая фаза. Температуры ликвидуса  $T_{ликв}$  и солидуса  $T_{сол}$  возрастают по мере роста концентрации никеля в сплаве (с ростом электронной концентрации  $e/a$ ) относительно стехиометрического состава. Температура полного упорядочения  $T_{упор}$  по всем трем элементам медленно понижается по мере уменьшения концентрации  $Mn$ . Температура мартенситного превращения  $T_m$  возрастает, температура магнитного превращения  $T_c$  уменьшается.

Температуры фазовых превращений в сплавах  $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$

№	Состав, ат. %			$e/a$	Температуры фазовых превращений				
	$Ni$	$Mn$	$Ga$		$T_{сол}$ , К	$T_{ликв}$ , К	$T_{упор}$ , К	$T_m$ , К	$T_c$ , К
1	49,9	25	25,1	7,50	1397	1433	1084	212	370
2	51,5	23,6	24,9	7,56	1404	1444	1084	240	350
3	53,7	21,2	25,1	7,60	1411	1444	1070	300	333
4	54,2	20,3	25,3	7,61	1418	1447	1057	310	333

Получены данные необходимы для построения разреза тройной диаграммы сплавов  $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$  при неизменном содержании  $Ga$  и показывают возможность и пути получения температур  $T_m$  и  $T_c$ , близких к комнатным, что существенно для практического использования изученных сплавов в качестве материалов с памятью формы.

Кириченко М.А., студентка  
Замятин В.М., проф., д-р техн. наук  
Жукова Л.А., проф., д-р хим. наук

## ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АБМ-102у СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg

Методом термического анализа исследовали процессы плавления и затвердевания сплава АБМ-102у системы Al-Zn-Mg. Исходные образцы вырезали из гомогенизированного (по режиму 445–460°C, 30 ч) промышленного плоского слитка поперечным сечением 300×1100 мм. Химический состав сплава (в мас. %): 4.7 Zn; 2.2 Mg; 0.15 Cr; 0.10 Zr; 0.06 Ti; 0.22 Fe; 0.05 Si; остальное – Al.

Особенности проведения экспериментов заключались в следующем. Цилиндрические образцы диаметром 16 мм и высотой 16 мм с наличием осевого отверстия, предназначенного для размещения горячего спая термопары, помещали в корундовый тигель, находящийся в специальном блоке термоанализатора. При монотонном нагревании образца до 670°C и последующем охлаждении его фиксировали через одинаковые промежутки времени  $\Delta\tau = 5$  с. Числовые значения термо-ЭДС с помощью цифрового вольтметра ГЦ31. Полученные зависимости «температура  $t$  – время  $\tau$ » численно дифференцировали и строили графики в координатах «скорость изменения термо-ЭДС  $dE/d\tau$  – время  $\tau$ », из которых находили значения температур солидуса  $t_s$  и ликвидуса  $t_l$  с погрешностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

На рис. 1 приведена кривая скорости нагревания образца сплава АБМ-102у в зависимости от времени. Из графика видно, что плавление эвтектики в этом сплаве начинается при температуре 570°C и заканчивается при 576°C. По мере дальнейшего повышения температуры происходит постепенное плавление зерен  $\alpha$ -твердого раствора, которое завершается при температуре 642°C, соответствующей точке ликвидуса сплава.

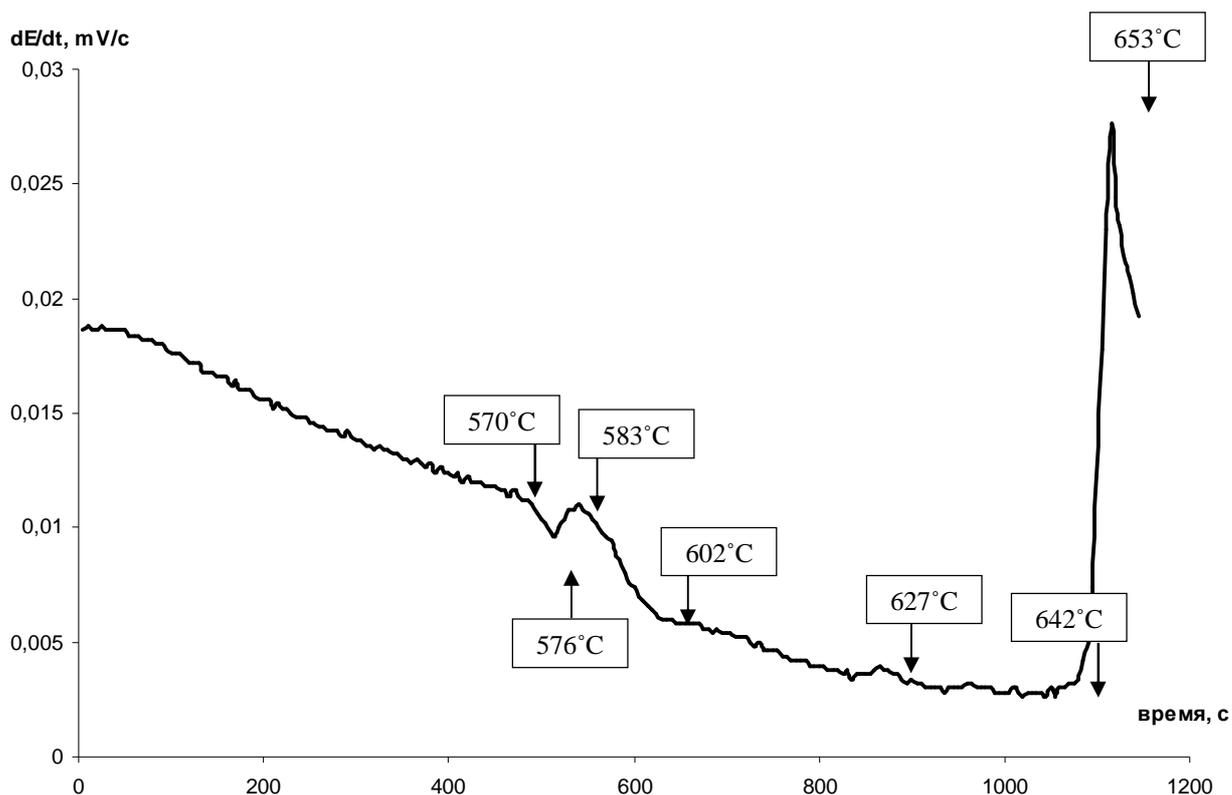


Рис. 1. Кривая скорости нагревания образца сплава АБМ-102у в зависимости от времени

На рис. 2 представлена кривая скорости охлаждения образца от 670°C в зависимости от времени. Из этого графика следует, что температура начала затвердевания расплава, охлаждаемого со скоростью 45°C/мин, составляет 476°C.

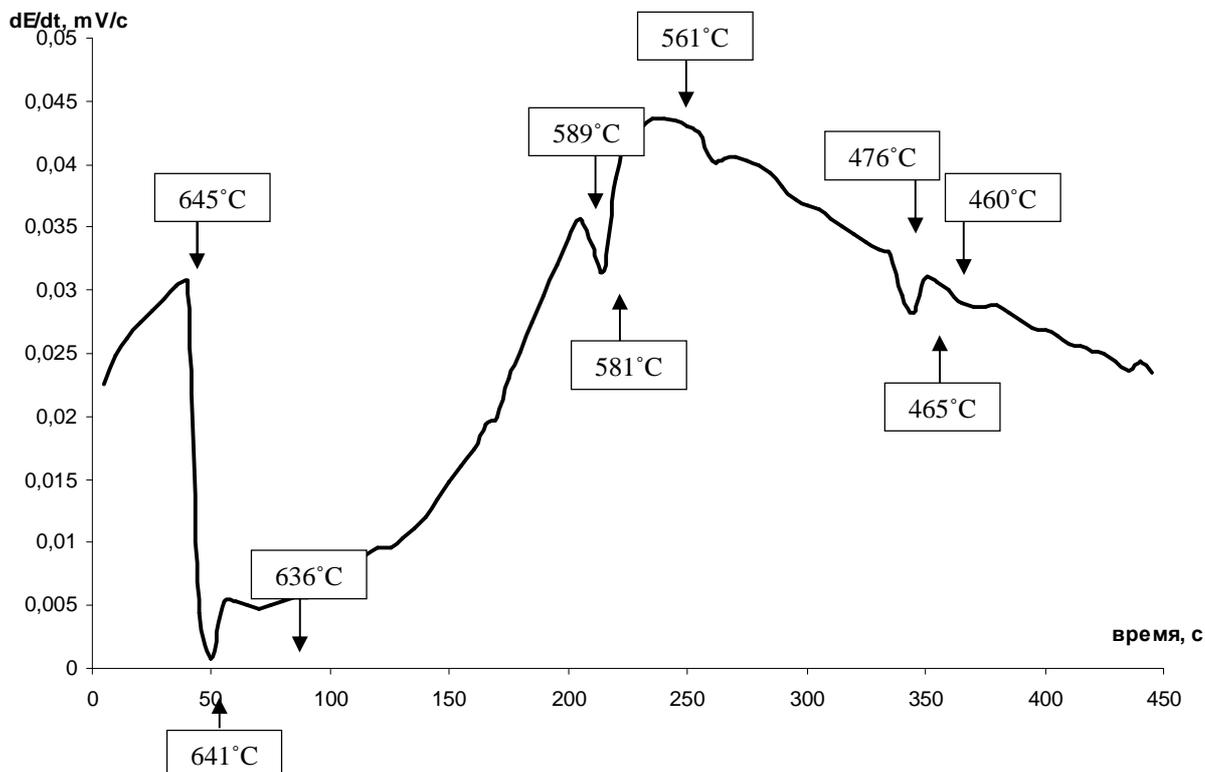


Рис. 2. Кривая скорости охлаждения образца сплава АБМ-102у в зависимости от времени

Сопоставление кривых на рис. 1 и 2 показывает, что режим гомогенизации 445–460°С, 30 ч слитков из сплава АБМ-102у обеспечивает полное растворение в них неравновесной эвтектики. Не исключено, что и меньшая продолжительность гомогенизации слитков способна обеспечить полное растворение в них неравновесной эвтектики.

Кудринских А.С., студентка  
Жукова Л.А., проф., д-р хим. наук

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СООТНОШЕНИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ ФАЗ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СОЛЕВЫХ СИСТЕМАХ

Известно, что для двойных металлических эвтектик характерны определенные ориентационные соотношения, которые могут быть определены экспериментально, а также расчетным путем. Для описания межкристаллитных и межфазных границ используется понятие решетки совпадающих узлов (PCY) – наиболее мелкоячеистой общей подрешетки двух структур. Ее важнейшей характеристикой является обратная плотность совпадающих узлов  $\Sigma$ . Она обратна отношению числа совпадающих узлов в плоскости контакта к общему их числу. Энергетически наиболее выгодны границы, проходящие по плоскостям с максимальной плотностью PCY (минимальным  $\Sigma$ ). Ранее нами были получены благоприятные соотношения для бинарных систем с простыми эвтектиками, а также включающими интерметаллиды. Кроме того, проанализирован ряд систем с эвтектоидными превращениями, в которых также расчетным путем обнаружены ориентационные соотношения, обеспечивающие образования низкоэнергетических межфазных границ.

В данной работе получены результаты расчетов для тройных металлических систем с тройными и квазидвойными эвтектиками, а также для двойных солевых систем. В таблице представлены ориентационные соотношения, найденные попарно для фаз тройных металлических эвтектик и двойных солевых эвтектик. Как следует из данных таблицы, на границе раздела фаз рассмотренных систем возможен контакт плоскостей с низкими значениями ( $hkl$ ), следовательно, с достаточно высокой плотностью упаковки атомов, а также с незначительными размерными несоответствиями ( $\Delta a$ ) и малыми значениями  $\Sigma$ .

Ориентационные соотношения фаз в эвтектических системах

Система <i>A-B-C</i>	Тройная эвтектика	Контакт фаз	Ориентационные соотношения		$\Delta a$ , %	$\Sigma$
			$\{hkl\} \parallel \{hkl\}$	$\langle uvw \rangle \parallel \langle uvw \rangle$		
Ag-Se-Sn	Ag <sub>2</sub> Se-SnSe- Ag	Ag-SnSe	{100} $\parallel$ {100}	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,3	2,5
		Ag-Ag <sub>2</sub> Se	{112} $\parallel$ {112}	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	0,2	1,2
		SnSe-Ag <sub>2</sub> Se	{101} $\parallel$ {101}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	3,9	2,5
Cd-Se-Sn	CdSe-SnSe- Sn	Sn-SnSe	{001} $\parallel$ {001}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,7	2
		Cd-CdSe	{1010} $\parallel$ {100}	$\langle 101 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	4,5	2
		SnSe- CdSe	{100} $\parallel$ {100}	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 110 \rangle$	1,0	1,3
KF-BaF <sub>2</sub>		KF-BaF <sub>2</sub>	{011} $\parallel$ {330}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 113 \rangle$	4,9	1
NaF-CdF <sub>2</sub>		NaF-CdF <sub>2</sub>	{012} $\parallel$ {220}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	1,3	3
LiF-NaF		LiF-NaF	{100} $\parallel$ {100}	$\langle 102 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,9	5
KF-NaF		KF-NaF	{100} $\parallel$ {100}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 102 \rangle$	3,4	5
KF-LiF		KF-LiF	{100} $\parallel$ {100}	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 110 \rangle$	6,4	1,6

Кузьмина Н.В., студентка  
Невидимов В.Н., доц, канд. техн. наук

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МОДЕЛИ К РАСЧЕТУ ВЯЗКОСТИ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $P_2O_5$

Ранее была показана возможность применения полимерной модели для расчета вязкости силикатных систем (см. Новиков. В.К. Полимерная природа расплавленных шлаков/В.К. Новиков, В.Н. Невидимов. – Екатеринбург: ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 62 с. – ISBN 5-321-00969-4). В основе расчета вязкости лежит уравнение

$$\frac{d\eta}{\eta} = K_{\eta} \frac{di}{i}$$

Это уравнение показывает, что относительное приращение вязкости прямо пропорционально относительному приращению среднего числа тетраэдров в комплексном кремнекислородном анионе  $i$ .

Для расчета вязкости многокомпонентных оксидных расплавов необходимо знать параметры многокомпонентных систем:  $\overline{A}_{\eta}$  – предэкспоненциального множителя,  $\overline{E}_{\eta}$  – энергии активации,  $\overline{K}_{\eta}$  – коэффициента пропорциональности.

$$\ln \eta = \overline{A}_{\eta} + \frac{\overline{E}_{\eta}}{RT} + \overline{K}_{\eta} \cdot \ln \bar{i}$$

Чтобы данную полимерную модель можно было применить для силикатных систем, содержащих  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  нужно знать расчетные параметры бинарных систем FeO- $Al_2O_3$ , CaO- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $P_2O_5$ :  $A_{\eta}$ ,  $E_{\eta}$ ,  $K_{\eta}$ .

В работе с целью получения параметров  $A_{\eta}$ ,  $E_{\eta}$ ,  $K_{\eta}$  рассмотрены экспериментальные данные вязкости бинарных систем: FeO- $Al_2O_3$ , CaO- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $P_2O_5$  (см. Лепинских. Б.М. Транспортные свойства металлических и шлаковых расплавов/Б.М. Лепинских, А.А. Белоусов, С.Г. Бахвалов. – М.: Металлургия, 1995. – 649 с.). По тангенсу наклона прямых в координатах  $\ln \eta - \ln \bar{i}$  определен  $K_{\eta}$ , а экстраполируя эти прямые на ось ординат, найдены  $\ln \eta_{i=1}$  при различных температурах и по зависимости  $\ln \eta_{i=1} - 1/T$  оценены значения энергии активации  $E_{\eta}$  и предэкспоненциального множителя  $A_{\eta}$ .

Значения полученных параметров бинарных систем приведены в таблице.

Система	$A_{\eta}$ , Па·с	$E_{\eta}$ , Дж/моль	$K_{\eta}$
FeO- $Al_2O_3$	-0,75	78945	3,95
CaO- $Fe_2O_3$	-9,24	83100	0,4
Na <sub>2</sub> O- $Fe_2O_3$	-11,11	95565	0,74
Na <sub>2</sub> O- $P_2O_5$	-2,52	10803	2,35

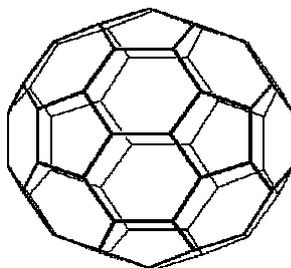
Таким образом определены параметры  $A_\eta$ ,  $E_\eta$ ,  $K_\eta$  для бинарных систем FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, которые в дальнейшем будут использоваться для расчета многокомпонентных силикатных систем, содержащих Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Новосёлова Н.А., студентка  
Спиридонов М.А., проф., д-р. хим. наук

## РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ФУЛЛЕРЕНАМИ

В связи с синтезом новых углеродных форм – фуллеренов целесообразно применить структурной анализ для исследования рассеяния ими излучения.

В молекуле C<sub>60</sub> (рисунок) существует два типа симметрически неэквивалентных связей, расположенных соответственно на стыках пяти- и шестичленного и двух шестичленных циклов (связи 5/6 и 6/6). Связь 6/6 имеет больший вклад составляющей (66,7%) и меньшую длину. Межатомные расстояния С–С по данным газовой электронографии равны 1,40 Å (6/6) и 1,46 Å (5/6), валентные углы в пятичленных циклах – 108°, а в шестичленных – 120°. Диаметр молекулы – 7,1 Å, а ее внешней полости – 5 Å.



Молекула фуллерена C<sub>60</sub>

Чистый кристаллический фуллерен C<sub>60</sub> имеет гранецентрированную кубическую (ГЦК) решётку с параметром элементарной ячейки 14,2 Å, расстоянием между ближайшими соседями 10 Å. Связи в молекуле фуллерена – ковалентные, между молекулами в решетке – Ван-дер-Ваальсовы. При понижении температуры до 258 К происходит фазовый переход, первого рода, сопровождающийся перестройкой структуры в простую кубическую.

В данной работе получены дифракционные картины  $I(s)$  для отдельной молекулы C<sub>60</sub> и простой кубической решетки, в узлах которой находятся фуллерены. Угловые зависимости интенсивности рассеяния электронов рассчитали по уравнению Дебая:

$$I(s) = \sum_i^N \sum_j^N f_i(s) f_j(s) \frac{\sin sr_{ij}}{sr_{ij}} = \sum_{i=j}^N f_i^2(s) + 2 \sum_{i \neq j} f_i(s) f_j(s) \frac{\sin sr_{ij}}{sr_{ij}},$$

где  $r_{ij}$  – межатомные расстояния;  $f(s)$  – атомный фактор рассеяния;  $s = 4\pi \frac{\sin \theta}{\lambda}$  – волновое число.

Рассчитанные зависимости интенсивности показывают, что вследствие большого параметра элементарной ячейки, первые и наиболее сильные отражения наблюдаются при достаточно малых волновых числах. Проведено сопоставление с экспериментальными данными по рассеянию рентгеновского излучения.

Резник П.Л., студент  
Ватолин А.Н., проф., д-р хим. наук

## КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Традиционная технология извлечения никеля из окисленной руды с содержанием NiO около 1 мас.% является сложным и многостадийным процессом. Более простым и экономически выгодным процессом, может оказаться восстановление никеля прямым электролитическим путем из расплавленной оксидной руды. Оценить перспективность электрохимического способа получения никеля можно, имея данные о кинетике и механизме реакций с участием ионов никеля в оксидных расплавах. Получить такие сведения позволяет анализ поляризационной характеристики никелевого электрода.

Потенциостатическим методом исследовали стационарную катодную поляризацию никелевого электрода в интервале температур 1350–1420°C. Исследование проводили на границе с оксидным расплавом состава мас.% 40 CaO, 40 SiO<sub>2</sub>, 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с добавками NiO до 3 мас.%. Основные компоненты исследуемого модельного расплава присутствуют в окисленных никелевых рудах.

Показано, что потенциалопределяющим процессом является разряд ионов двухвалентного никеля на границе раздела фаз

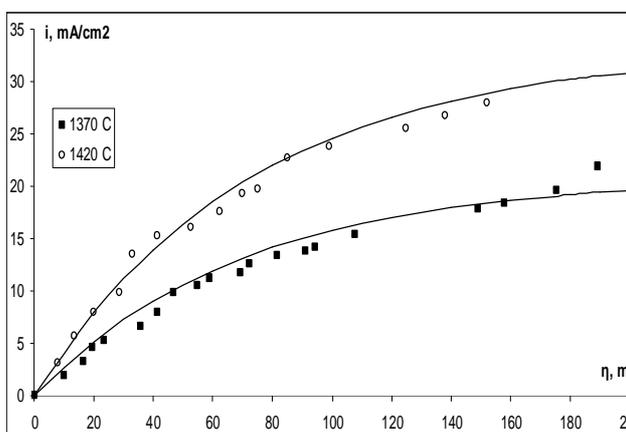
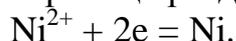


Рис. 1. Поляризационные кривые никелевого электрода при температуре T=1420°C и T=1370°C

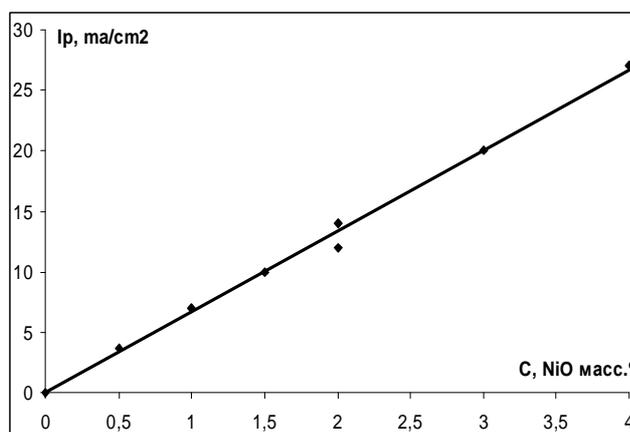


Рис. 2. Зависимость предельной плотности тока от концентрации никеля

Подтверждена концентрационная природа поляризации никелевого электрода. На поляризационных кривых выявлены характерные площадки предельных токов диффузии (рис. 1). Заторможенной стадией восстановления является диффузия ионов Ni<sup>2+</sup> в оксидном расплаве.

Предельная плотность тока линейно возрастает с увеличением концентрации  $\text{Ni}^{2+}$  (рис. 2) в расплаве, что свидетельствует о независимости коэффициентов диффузии ионов никеля от их концентрации.

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МЕХАНИКО-  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Вотинова Е.Б., аспирант  
Шалимов М.П., проф., д-р техн. наук

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ РДС

На сегодняшний день состав металла шва определяется расчетным путем на основе коэффициентов перехода. Однако их необходимо определять экспериментально для каждого способа сварки и элемента отдельно. Это требует больших материальных и временных затрат. Кроме того, при таком подходе к оценке коэффициентов перехода необходимо проводить эксперименты для каждого варианта сварки отдельно. Поэтому существует потребность создать методику (программу), позволяющую рассчитать состав металла шва на этапе проектирования сварного узла (конструкции).

Разработка методов прогнозирования химического состава шва открывает возможность оптимизации процесса сварки еще на стадии проектирования путем подбора необходимых сварочных материалов и параметров режима, которые обеспечат необходимые эксплуатационные характеристики металла.

Создание подобных методов важно и в теоретическом отношении, поскольку близость расчетных и экспериментальных данных показывает на соответствие физической модели процесса взаимодействия фаз при сварке.

Весь процесс сварки условно разбили на три стадии, отличающиеся температурными и гидродинамическими условиями взаимодействия:

- нагрев сварочных материалов до температуры плавления, во время которого протекают процессы в твердой фазе;
- взаимодействие металла на стадии капли с газом и шлаком;
- взаимодействие фаз на стадии ванны.

Для создания методики нужно исследовать процессы, протекающие от начала процесса сварки (нагрев) до кристаллизации сварочной ванны и образования сварного шва.

Две последние стадии достаточно подробно рассмотрены в литературе при описании и моделировании процессов взаимодействия при сварке под флюсом, электрошлаковой сварке. Первая стадия практически не исследована.

Процессы, протекающие в твердой фазе (испарение, окисление, диссоциация и др.), определяют количество элемента, перешедшего из исходных материалов в каплю металла, а затем в шов.

До сих пор были исследованы процессы перехода отдельных элементов на основании сравнения исходного состава и состава металла шва. Однако на сегодняшний день нет целостной системы, есть только отдельные данные «было - стало».

В связи с этим планируется исследовать процессы, протекающие в твердой фазе, капле и металлической ванне. Рассмотреть закономерности.

Зная эти закономерности, можно будет моделировать свойства и химический состав металла шва.

Бакин А.В., студент  
Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук

## КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ РАЗРУШАЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ МУФТЫ ПРЕДЕЛЬНОГО МОМЕНТА

Для определения момента срабатывания, при котором разрушаются предохранительные элементы муфты предельного момента, была выполнена обработка результатов измерений крутящих моментов на шпинделях рабочих валков автоматстана при прокатке труб с размерами 114x5 из стали 20, которая свидетельствует о том, что максимальная область распределения случайных значений пиковых нагрузок, соответствующая шести среднеквадратическим отклонениям, - 630 кНм. При этом наибольшие маловероятные значения пиков не превышают 565 кНм. Выполненный ранее анализ сортамента труб, прокатываемых на автоматстане ТПА-140, показал, что сопротивление деформации, а следовательно, и крутящие моменты на шпинделях установившегося режима прокатки при переходе от стали 20 к легированным маркам возрастают не более, чем на 20%. Кроме того, в общем объеме проката трубы из легированных марок стали не превышают 10%. В этих условиях значения суммарного крутящего момента в первом наиболее тяжелом переходе установившегося процесса прокатки не превышают 175 кНм. Согласно расчетам по длительной выносливости зубчатых зацеплений допустимая величина крутящего момента  $T_{HP} = 215$  кНм, в то время, как измеренные нагрузки установившегося режима прокатки на каждом из шпинделей рабочих валков не превышали 85 кНм в первом и 38 кНм во втором переходах. Предельные пиковые нагрузки для зубчатых колес согласно приведенным расчетам по условиям контактной и изгибной прочности равны  $T_{IMH} = 1280$  мПа,  $T_{IMF} = 1640$  мПа, т.е. вдвое превышают измеренные значения пиковых крутящих моментов. На основе данного анализа требуется, чтобы момент срабатывания не превышал 600 кНм.

Для определения момента срабатывания был выполнен расчет размеров элементов разрушения предохранительной муфты (рис. 1).

На рис. 1 показана конструкция и палитра деформации срезного пальца, используемого в настоящее время в качестве разрушаемого элемента в муфте предельного момента автоматстана.

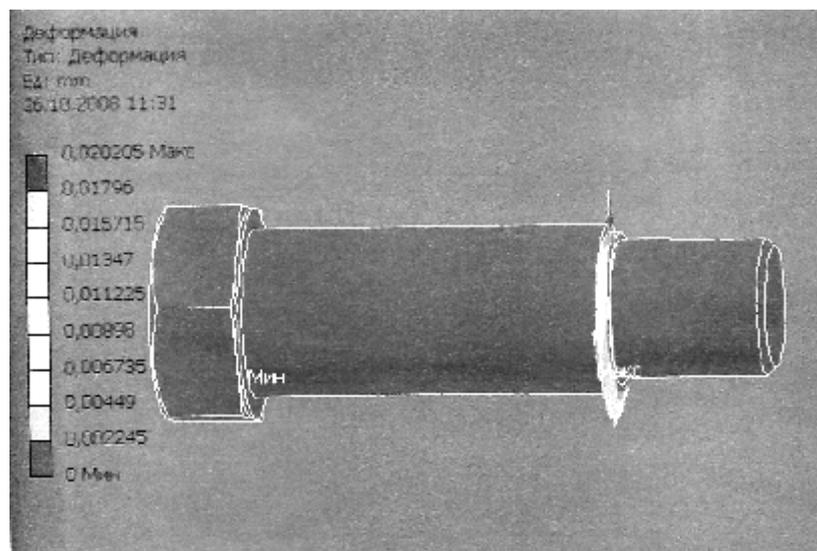


Рис. 1. Конструкция и палитра деформации срезного пальца

Диаметр срезного участка пальца  $d = 40$  мм. В соответствии с конечно элементным расчетом разрушение по галтельному участку такого срезного элемента происходит при пиковом значении крутящего момента  $T_{\text{пик}}$  не более 500 кНм. Это соответствует наибольшим значениям измеренных пиковых нагрузок, но в 1.5 раза уступает критерию прочности наиболее слабого звена главного приводного устройства автоматстана, что является основной причиной несанкционированных остановок. Кроме того, ступенчатая форма срезного пальца при наличии зазора между полумуфтами является причиной накопления усталостных повреждений от деформации изгиба.

Помимо срезных пальцев в конструкции муфты автоматстана ТПА-140 цеха №2 предусмотрены две срезные шпонки. Однако параллельное использование группового предохранительного элемента существенно снижает и без того невысокую точность срабатывания разрушаемых элементов.

На точность аврийного срабатывания влияет целый ряд трудно учитываемых факторов: неточность изготовления и рассеяние прочности материалов срезного элемента, постепенное снижение его прочности вследствие накопления усталостных разрушений, неравномерное нагружение при большом числе срезных элементов. При этом срезные шпонки при прочих равных условиях имеют пониженный коэффициент чувствительности по сравнению со срезными пальцами, а следовательно, - пониженный коэффициент срабатывания муфты.

Однако их вспомогательное использование в качестве центрирующих элементов при совместном изготовлении и при настройке нескольких совпадающих отверстий в срезающих втулках облегчит замену срезных пальцев при аварийной их замене. Хотя наибольшая точность срабатывания достигается при использовании одного срезного пальца, такой вариант приводит к дополнительным нагрузкам на валы и опоры, к изгибу вала.

Таким образом, наиболее рациональным вариантом является установка по периметру муфты двух срезных элементов, выполненных в виде срезных пальцев из сталей марок У8А, У10А или 40,45,50. Применение закаленных пальцев, а также пальцев с круговой или V-образной выточкой обеспечивают более надежную работу муфты в аварийных режимах.

При определении размеров и выборе конструкции предохранительного элемента следует учесть следующее:

- надежность срабатывания разрушаемых элементов повышается с уменьшением их количества, поэтому следует назначить 2 срезных элемента в виде пальцев с проточкой в области срезного участка;

- установленное значение предельного момента [Т] по наиболее слабому звену (800 кНм) в 1,5 раза превышает кратковременные пиковые значения нагрузок, возникающие в период захвата заготовки прокатными валками, и является исходным значением при расчете диаметров срезных пальцев;

- шпоночные канавки на периферии фланцев зубчатой муфты с разрушаемыми элементами следует использовать только в процессе установки срезных пальцев для совмещения осей отверстий в закаленных втулках;

- на прилегающих торцах фланцевых участков зубчатых обойм следует предусмотреть канавку шириной  $f = 60$  мм и глубиной  $g = 5$  мм (рис. 2) для предохранения от повреждения торцовых поверхностей неровностями торцов срезанного пальца.

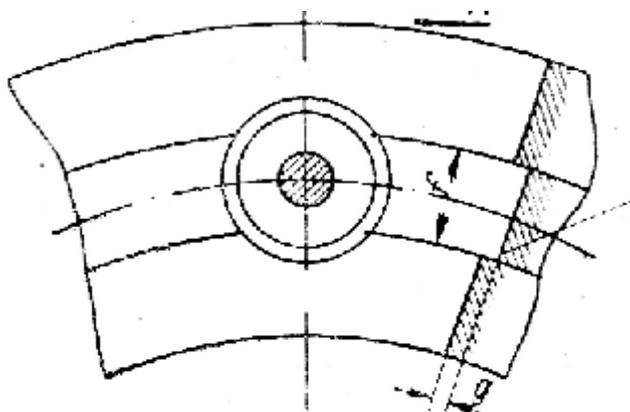


Рис. 2. Канавка на прилегающих торцах фланцевых участков зубчатых обойм

При использовании двух срезных пальцев расчет их диаметра выполняют по выражению

$$d = \sqrt{\frac{4000[T]}{p k_0 \sigma_b D}},$$

где  $D$  – межосевое расстояние для двух срезных пальцев,  $D = 1020$  мм;

$\sigma_b$  – предел прочности материала срезного элемента, МПа;

$k_0$  – коэффициент пропорциональности между напряжениями среза и пределом прочности; для пальцев с V-образной канавкой из стали 45 с

относительным удлинением при растяжении 14-18% рекомендуемое значение  $k_0 = 0,86$ .

В соответствии с этим выражением расчетный диаметр пальца в месте расположения V-образной канавки  $d = 44$  мм. Учитывая относительную погрешность срезающего усилия, обусловленную отклонениями от предела прочности материала пальца -  $\sigma_b$  и коэффициента пропорциональности -  $k_0$ , принимаем  $d = 45$  мм, глубину канавки - 2,5 мм и посадочный диаметр пальца 50 мм. Рекомендуемые посадки: для пальца во втулках  $H7/h8$ , для посадки втулки во фланец муфты  $H7/h6$ .

Вдовин Д.О.  
Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  
Киселев А.Е., инженер

## ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Зарождающиеся дефекты подшипников качения роторных машин (привода насосов, насосы, электродвигатели и т.д.) с высокой достоверностью обнаруживаются лишь по высокочастотной вибрации подшипников, свойства которой существенно меняются под действием даже незначительных колебательных сил. По мере роста дефектов и колебательных сил изменяется сначала среднечастотная вибрация подшипниковых узлов, а затем и низкочастотная вибрация машины в целом.

Среди различных методов контроля состояния подшипников качения по высокочастотной вибрации можно выделить три основных, различающихся по своей физической основе. Первый включает в себя контроль высокочастотной вибрации подшипника, второй - анализ формы высокочастотной вибрации, возбуждаемой короткими ударными импульсами, а третий - спектральный анализ высокочастотной вибрации. Настоящая статья посвящена вопросам оптимизации совокупности этих методов в различных практических ситуациях и дополнительного использования результатов анализа среднечастотной и низкочастотной вибрации для повышения достоверности получаемых результатов.

Простейшая методика периодического контроля состояния подшипников качения основана на методе «ударных импульсов». Сущность метода иллюстрирует форма высокочастотных сигналов вибрации, приведенная на рис. 1. На первой кривой (рис. 1,а) приведена форма высокочастотной (выше 20 кГц) вибрации бездефектного подшипника. На второй кривой (рис. 1,б) показана вибрация от одиночных ударных импульсов, появляющихся при контакте тел и дорожек качения в месте разрыва смазки, состояние которой ухудшилось вследствие ее старения. На третьей кривой (рис. 1,в) приведена вибрация при периодических ударных импульсах из-за раковины на наружном (неподвижном) кольце подшипника. Наконец, на четвертой (рис. 1,г) показана вибрация, возбуждаемая частыми непериодическими ударными импульсами при большом количестве дефектов на разных поверхностях качения. Практически первая и четвертая кривая отличаются только масштабом (мощностью) сигнала, но величина амплитуды определяет, в некоторой степени, техническое состояние подшипника.

Анализ формы сигнала высокочастотной вибрации, возбуждаемой ударным импульсом, показывает, что он весьма непродолжителен во времени (быстро затухает), а важнейшим показателем является отношение пикового значения к среднеквадратичному значению высокочастотной вибрации (величина пик-фактора).

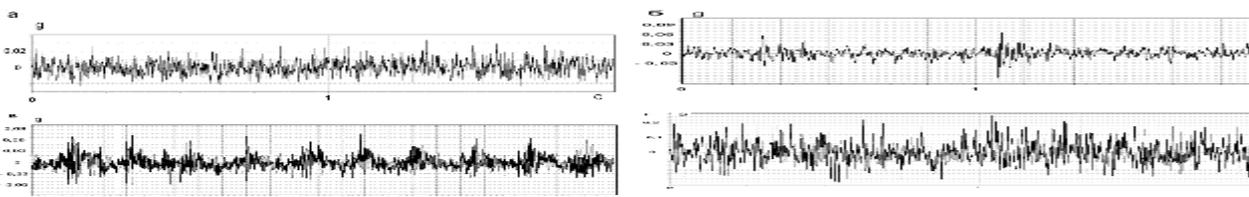


Рис. 1. Форма сигналов высокочастотной вибрации подшипников качения:  
 а) бездефектный подшипник; б) зарождающийся дефект смазки; в) глубокая раковина на наружном кольце; г) множественные дефекты на поверхностях качения

Существует большое количество методик определения диагностического параметра дефектов (пик-фактор, к-фактор, крест-фактор и т.п.), отличающихся разным способом определения пиковых и среднеквадратичных значений сигнала и разной степенью учета этих значений в окончательном диагностическом параметре, но все эти отличия не меняют физических основ метода. У метода ударных импульсов есть свои преимущества и недостатки. Преимущества определяются прежде всего отсутствием требований к периодичности следования ударных импульсов. Это позволяет обнаруживать, с одной стороны, зарождающиеся дефекты смазки, при которых разрывы масляной пленки происходят редко и нерегулярно, а, с другой стороны, механические дефекты подшипника на нестабильных частотах вращения, причем за короткое время, определяемое несколькими оборотами ротора. Недостатков у этого метода значительно больше. Главным является тот факт, что далеко не все зарождающиеся дефекты подшипника качения приводят к появлению ударных импульсов, и достаточно часто дефектный подшипник обнаруживается лишь незадолго до отказа, когда в нем развивается цепочка связанных дефектов, один или несколько из которых становятся источником ударных импульсов. Еще один недостаток - отсутствие информации о виде дефекта, без которой практически невозможно давать долгосрочный прогноз состояния.

Таким образом, в практической диагностике метод ударных импульсов используется не автономно, а в совокупности с методом контроля мощности высокочастотной вибрации. Более высокими возможностями обладает метод контроля состояния подшипников качения по спектру огибающей высокочастотной случайной вибрации, возбуждаемой силами трения в масляной пленке подшипника, а также ударными импульсами при ее разрывах. Спектр огибающей дает информацию о периодических изменениях мощности высокочастотной вибрации в той полосе частот, которая предварительно выделяется из сигнала вибрации полосовым, например, третьоктавным, фильтром.

Для иллюстрации метода на рис. 2 приведен спектр вибрации подшипникового узла в частотном диапазоне до 25,6 кГц, где показана полоса частот фильтра, использованного для выделения высокочастотной случайной составляющей с последующим формированием огибающей, а на рис. 3 приведены формы высокочастотной вибрации и спектры ее огибающей

для трех одинаковых подшипников, соответственно, не имеющего дефектов, с дефектом сепаратора и с раковинной на наружном кольце.

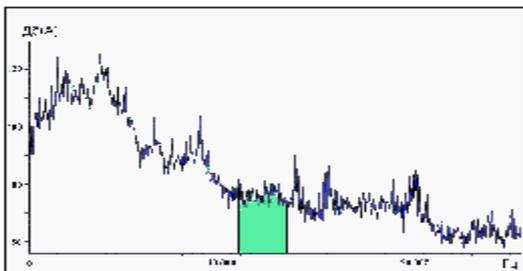


Рис. 2. Спектр вибрации подшипникового узла электрической машины с выделенной третьоктавной полосой частот, используемой для формирования огибающей высокочастотной вибрации

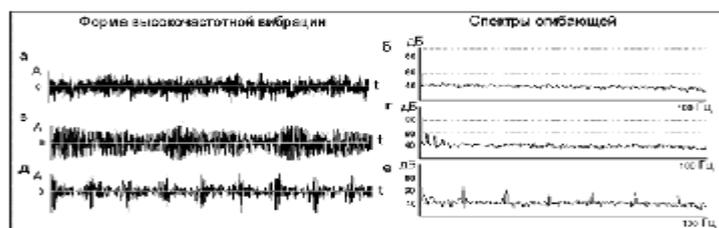


Рис. 3. Формы высокочастотной вибрации и спектры ее огибающей для трех одинаковых подшипников:

- а - бездефектный подшипник,
- б - дефект сепаратора,
- в - раковина на наружном кольце

Следует отметить, что в настоящее время существует два разных по своей физической основе метода вибрационной диагностики, получивших одинаковое название /метод огибающей/ из-за одинаковой последовательности операций преобразования, применяемых к различным, а именно периодическим и случайным компонентам сигнала. Но если первый метод, применяемый для разделения близких по частоте гармонических составляющих, используется все реже, то второй метод, применяемый для исследования колебаний мощности случайных составляющих, стал одним из основных в вибрационной диагностике вращающегося оборудования. На рис. 4 приведен спектр вибрации подшипникового узла электрической машины, на котором указаны полосы трех фильтров, использованных для построения спектра огибающей, и три спектра огибающей сигналов вибрации, выделенных этими фильтрами. В первую полосу частот попадает резонанс подшипникового узла, возбуждаемый ударными взаимодействиями тел с наружным кольцом подшипника, во вторую - резонанс тел качения, а в третьей полосе отсутствуют как резонансы подшипникового узла, так и гармонические составляющие вибрации различного происхождения.

Следует отметить, что далеко не всегда в спектре вибрации подшипникового узла можно выделить полосу частот, в которой отсутствуют гармонические составляющие. Естественно, что метод огибающей имеет и свои недостатки. Первый заключается в том, что на этапе зарождения с высокой достоверностью обнаруживаются все дефекты подшипника качения, кроме одного - дефекта смазки, так как достаточно часто на начальном этапе развития дефектов смазки разрывы масляной пленки могут быть нерегулярными, а спектральный анализ огибающей нечувствителен к непериодическим изменениям мощности высокочастотной вибрации. Вторым недостатком может считаться необходимость длительного накопления сигнала в течение 50-100 оборотов подшипника против 2-3

оборотов при использовании метода ударных импульсов, причем частота вращения за это время не должна меняться более чем на 1-2%. Третий недостаток - разная чувствительность метода к дефектам неподвижного кольца подшипника, тел качения, сепаратора и подвижного кольца, так как на пути распространения высокочастотной вибрации в зависимости от вида дефекта либо нет ни одной переходной поверхности со слоем смазки, либо такая поверхность одна (для дефектов тел качения), либо две (для дефектов вращающегося кольца и сепаратора). Как следствие, пороги опасных дефектов для разных групп дефектов будут различаться и зависеть, в частности, от скорости движения тел качения по дорожкам качения.

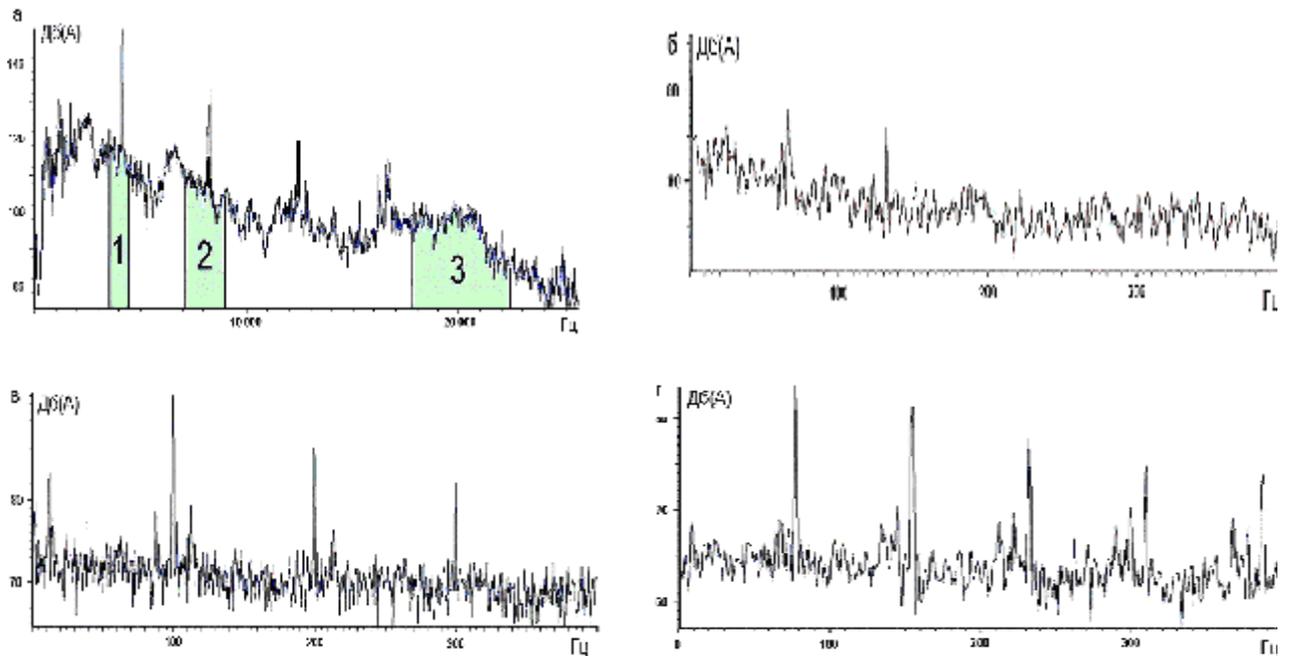


Рис. 4. Спектр вибрации подшипникового узла электрической машины:  
 а) и спектры огибающей высокочастотной вибрации, выделенной тремя фильтрами с различными центральными частотами б), в) и г)

Таким образом, можно заключить, что каждый из рассмотренных методов требует отдельного рассмотрения и может использоваться как отдельно, так и совместно с другими методами диагностики для решения поставленных задач.

Возмищев А.Н., аспирант  
Возмищев Н.Е., доц., канд. техн. наук

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ САПР КОВКИ И ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Прикладные системы автоматизированного проектирования (САПР) в заготовительном производстве машиностроения (ковка и горячая объемная штамповка), достигнув своего наибольшего развития в 80-х - начале 90-х годов прошлого столетия на ЭВМ 2-3 поколения, на сегодняшний день мало где применяются. В то же время наблюдается существенная потребность в таких системах. Следует отметить, что особенностью подобных систем является то, что в рамках одной системы с высокой степенью автоматизации реализуется конструкторский (конструирование поковки и инструмента) и технологический (проектирование процесса) аспекты проектирования. Другой особенностью является существенная зависимость функционального наполнения системы (методики и традиции проектирования, парк оборудования, требования к выходным документам и др.) от конкретного предприятия. Создаваемые ранее так называемые отраслевые САПР требовали существенных затрат по адаптации систем. По сути дела каждая система создавалась как уникальная под конкретный завод.

Проблемы адаптации, в частности, во многом связаны с традиционным подходом в организации САПР, при котором функциональное наполнение формировалось на программном уровне. Такой подход, естественно, требует существенной переработки программного обеспечения. Современные универсальные системы автоматизированного проектирования имеют мощные средства разработки приложений для прикладных задач: настраиваемый интерфейс пользователя, средства для записи макросов, возможность подключения внешних модулей, использование инструментов разработки САПР и т.п. Однако большинство этих средств является инструментом разработчика, но не пользователя. В то же время актуальной представляется проблема привлечения конечных пользователей к созданию САПР, т.к. именно они являются носителями профессиональных знаний, и именно они должны формировать (а также поддерживать в актуальном состоянии) функциональное наполнение систем.

Для решения этой проблемы несколько лет назад был создан язык «СТЕП» и одноименная система его обработки, которые позволяют непрограммирующему пользователю в терминах предметной области описывать методики и алгоритмы решения задач, нормативно справочную информацию табличного вида, условия производства, формировать типовые технологические процессы, записывать условия принятия технологических решений.

Предлагаемая организация системы автоматизированного проектирования технологии ковки и горячей объемной штамповки,

ориентированной на привлечение конечного пользователя к ее созданию и сопровождению, должна включать в себя следующие компоненты:

- база данных: представляет собой совокупность всех технологических элементов (ТЭ) - операций, оборудования, оснастки и т.п., участвующих в реализации техпроцесса (ТП) и отображаемых в карте ТП;

- база знаний: структурированные описания на языке «СТЕП» правил и методик решения проектных задач, условий принятия решений и выбора ТЭ; нормативно-справочной информации (НСИ) табличного вида (также в формате языка «СТЕП»);

- исполнительное ядро: система «СТЕП», реализующая обработку языка и организацию взаимодействия всех компонентов системы автоматизированного проектирования;

- библиотека расчетных модулей: совокупность исполняемых файлов, которые можно разделить на две категории:

- 1) объектно-ориентированные редакторы (редакторы поковки, заготовки, техпроцесса);

- 2) прочие модули для решения задач, не реализуемых средствами «СТЕП», задач, имеющих инвариантное решение, специализированных задач, разрабатываемых по спецификации заказчика (особые формы диалога и т.п.).

Для формирования базы данных и знаний прикладная САПР имеет инструментальную систему «САПФиР» (Система автоматизированного проектирования: формирование и разработка), представленную тремя подсистемами:

- подсистема «VisualSTEP» обеспечивающая описание методик и алгоритмов проектирования (процедурная часть языка)

- подсистема «ТехМАСТЕР», позволяющая описывать условия производства, формировать типовые технологические процессы (декларативная часть языка)

- подсистема «Эскиз» для формирования графических элементов документов.

Возмищев А.Н., аспирант  
Возмищев Н.Е., доц., канд. техн. наук

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПОЛНЕНИЯ САПР КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Одним из подходов к созданию САПР ТПковки и горячей объемной штамповки является привлечение конечных пользователей, которые выступают как носители профессиональных знаний, к формированию функционального наполнения (базы знаний) системы. При таком подходе в структуре САПР одним из компонентов является база знаний, формируемая пользователем. Первым шагом в реализации такого подхода стало создание языка «СТЕП» и одноименной системы его обработки. Язык «СТЕП» позволяет непрограммирующему пользователю в терминах предметной области записывать методики решения проектных задач, нормативно-справочную информацию табличного типа (базовая часть языка «СТЕП»), а также условия производства и правила проектирования (технологическая часть языка). Тексты на языке «СТЕП» собственно и представляют базу знаний и данных системы автоматизированного проектирования.

С целью упрощения и автоматизации создания базы знаний разрабатывается система «САПФиР» (Системы автоматизированного проектирования: формирование и разработка), являющаяся инструментальной системой для создания адаптации и сопровождения САПР. В соответствии с двумя частями языка «СТЕП» в состав системы «САПФиР» входят такие составляющие:

- подсистема «VisualSTEP», обеспечивающая описание методик и алгоритмов проектирования (процедурная часть языка);
- подсистема «ТехМАСТЕР», позволяющая описывать условия производства, формировать типовые технологические процессы (декларативная часть языка);
- подсистема «Эскиз» для формирования графических элементов документов.

Одно из основных требований, предъявляемых к системе «САПФиР», - использование ее средств не должно отвлекать пользователя на работу с самой системой, все внимание которого должно быть сосредоточено на решении основной задачи: описание своих знаний.

Подсистема «VisualSTEP» предоставляет пользователю набор следующих возможностей:

- формирование тезауруса; для создания текстов удобнее пользоваться готовыми терминами и константами, что приводит к уменьшению ошибок в тексте;
- различные инструментальные панели для записи основных конструкций языка (формул, условий, выбора данных из таблиц, обращение к другому разделу знаний, вызов внешних задач);

- синтаксический анализ написанного текста;
- навигатор базы знаний, обеспечивающий быстрый поиск требуемых разделов по «дереву» описаний (при структурированном иерархическом построении базы);

- формируемый текст может быть изменен в «ручном» режиме с помощью текстового редактора.

Подсистема «ТехМАСТЕР» обеспечивает реализацию следующих функций:

- формирование списков (кодов) типовых процессов;
- формирование всех технологических элементов, участвующих в реализации техпроцесса (операции, переходы, оборудование и т.п.), отображаемых в основном документе, регламентирующем техпроцесс (маршрутной и технологической карте);

- описание условий применения тех или иных элементов в техпроцессе;

- формирование типовых технологических процессов в виде последовательности операции ТП;

- формирование типовых блоков операции (подмножеств техпроцесса);

- описание каждой операции техпроцесса: установление всех элементов ТП, относящихся к ней.

Подсистема «Эскиз» позволяет автоматизировать создание параметризованных графических элементов (чертежей поковок, заготовок, заносимых в выходные документы).

Гайсин Н.В., аспирант  
Кугаевский С.С., доц., канд. техн. наук

## РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МНОГООСЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

В настоящее время на машиностроительных предприятиях всё чаще используются многоосевые станки, имеющие 4, 5 и даже 6 управляемых осей. Основным преимуществом такого оборудования классически считается возможность обработки заготовок с нескольких сторон с одной установки. Благодаря этому экономится время на переустановку детали, повышается точность изделий (за счет отсутствия погрешности базирования, связанной с новой установкой), сокращается количество приспособлений для обработки. Именно поэтому наиболее часто пятиосевые станки используются для обработки сложных корпусных деталей (рис. 1). При этом используется так называемая позиционная обработка, или «3+2». При такой обработке оси вращения непосредственно в рабочих ходах не участвуют, а используются только для установочных движений заготовки относительно инструмента. Другой режим работы пятиосевых станков — непрерывная обработка, когда в процессе резания используются все пять управляемых координат.

Другие задачи, решаемые с применением таких станков, — изделия сложной формы, которые другими способами механической обработки получить либо очень трудно, либо невозможно. В первую очередь это задачи энергетического машиностроения или авиастроения (рис. 2).

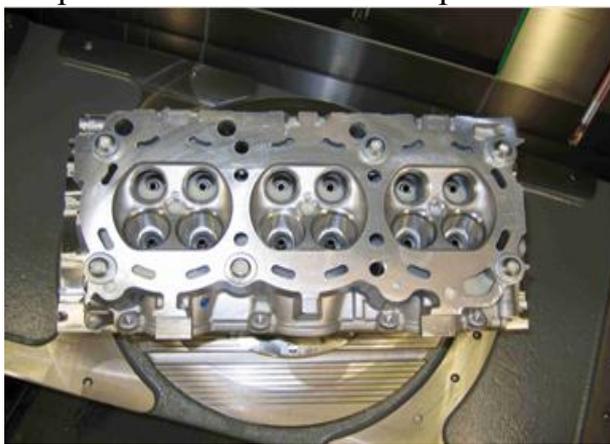


Рис. 1. Типичная деталь для обработки с нескольких сторон



Рис. 2. Типичные детали для непрерывной пятиосевой обработки

В последнее время все чаще можно встретить многоосевое оборудование на предприятиях, где решают и другие технологические задачи, например, в инструментальных цехах, что объясняется с высокой гибкостью многоосевых станков. Дополнительные степени свободы заготовки относительно инструмента позволяют повысить эффективность обработки даже тех деталей, которые традиционно изготавливают на трехкоординатном оборудовании. Например, это возможность использования

инструмента с меньшим вылетом за счет более выгодной ориентации инструмента относительно детали (рис. 3).

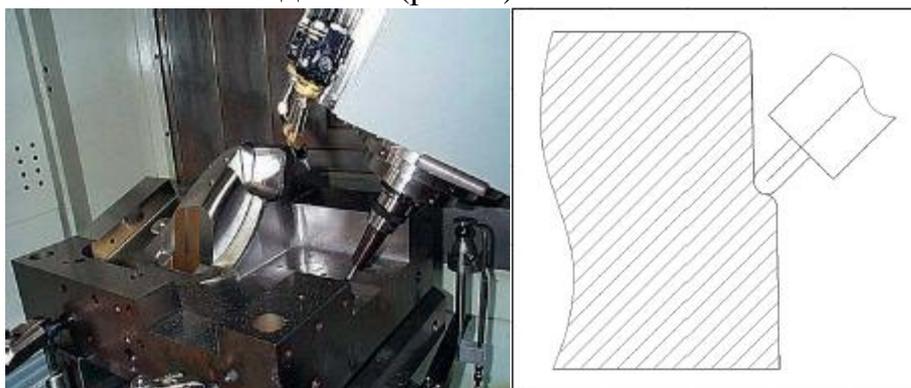


Рис. 3. Использование инструмента с меньшим вылетом

При фрезеровании сферической фрезой, когда ее вершина касается заготовки, происходит ухудшение условий резания. Так как ее диаметр в сечении, перпендикулярном оси инструмента, проходящем через его нижнюю точку, равен нулю, соответственно и скорость резания вершины инструмента нулевая (рис. 4, а). Вместо процесса резания происходит процесс пластической деформации. С использованием многокоординатного оборудования мы можем проектировать обработку таким образом, чтобы сферическая фреза совершала резание на как можно большем диаметре. Это достигается соответствующей ориентацией фрезы относительно обрабатываемой поверхности. На рис. 4 (б) центр фрезы выведен из зоны резания.

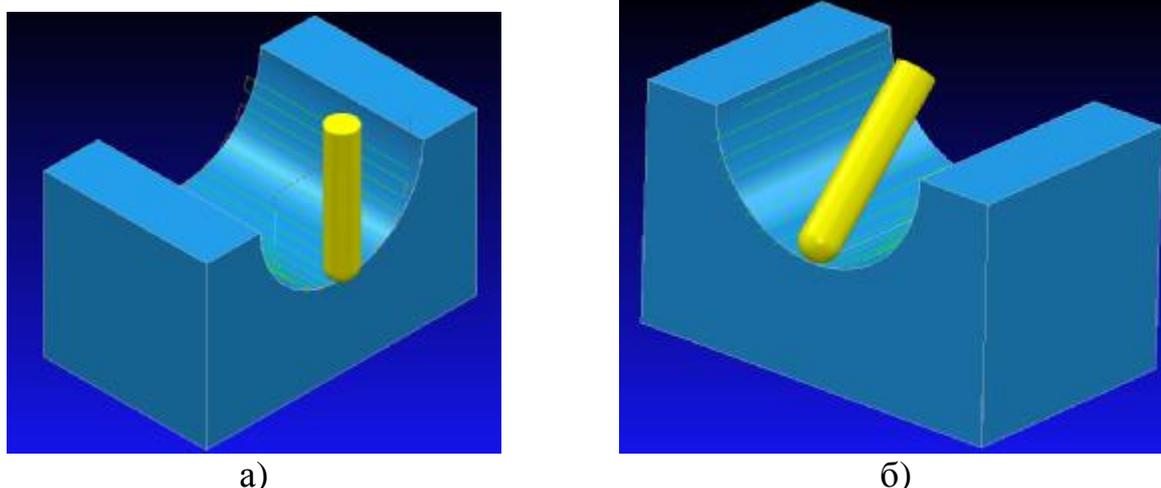


Рис. 4. а) Фрезерование сферической фрезой на трехосевом станке, б) на пятикоординатном станке

Возможность применения сложных, более производительных схем формообразования поверхностей деталей также является преимуществом многокоординатных станков.

Частным случаем таких схем являются схемы, при которых контакт инструмента и обрабатываемой поверхности происходит по линии — обработка боком (периферией) фрезы разворачиваемых линейчатых

поверхностей. При такой схеме можно вести обработку всей режущей кромкой. На рис. 5 (а) приведен пример «выглаживания» наклонной стенки сферической фрезой (требуемые точность и шероховатость определяют шаг обработки), а на рис. 5 (б) – обработка боком фрезы. Как видно на рисунке, для достижения нужного результата необходимо существенно меньшее количество рабочих ходов.

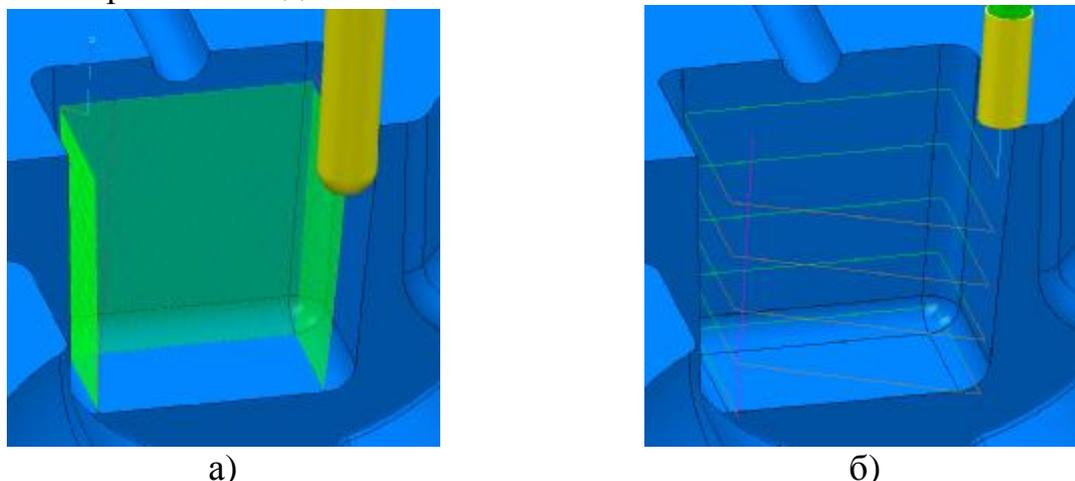


Рис. 5. Обработка наклонных стенок: сферической частью фрезы (а), периферией фрезы (б)

К таким схемам можно отнести также обработку торцом фрезы наклонных плоскостей (аналогичные преимущества перед «выглаживанием», что и у обработки боком фрезы) и другие прогрессивные приемы формообразования, которые возможно осуществить с применением многокоординатного оборудования. Причем, как правило, для получения сложных поверхностей возможно использовать стандартный режущий инструмент.

Из описанных преимуществ пятиосевого фрезерования следует и снижение объемов ручной доводки, вплоть до полного ее отсутствия.

Все вышеуказанные факторы определяют экономическую эффективность использования многокоординатного оборудования при решении определенных производственных задач.

Дубасов Д.В., аспирант  
Сидоренко Р.А., проф., д-р техн. наук

## НАПРЯЖЕНИЯ В ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВОГО ИНВАРА

Экспериментально установлено, что температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) гомогенного инвара больше, чем у обычного инвара, имеющего ячеистую структуру. Было сделано предположение, что этот эффект связан с наличием напряжений в структуре обычного инвара, неизбежно возникающих при его охлаждении от точки Кюри до комнатной температуры, поскольку элементы ячеистой структуры имеют разные значения ТКЛР и модулей упругости, вследствие внутрикристаллической ликвации никеля к границам ячеек. В связи со сказанным представляло интерес оценить уровень напряжений в структуре ячеистого инвара, чему и посвящена настоящая работа.

Модель структуры ячеистого инвара состоит из двух брусков, имеющих разные ТКЛР и модули упругости. Брусочек 1 соответствует границе ячейки, обогащенной никелем, а брусочек 2 – внутренней части ячейки, обедненной никелем (рисунок). Добавим, что температурные деформации – это деформации брусочков 1 и 2 в свободном состоянии, т.е. если бы они не составляли единого целого. В модели учитывается температурное изменение размера структурного элемента только в осевом направлении, и что содержание никеля в частях структурного элемента находится по одну сторону от экстремума ТКЛР, т.е.  $\alpha_1 > \alpha_2$ .

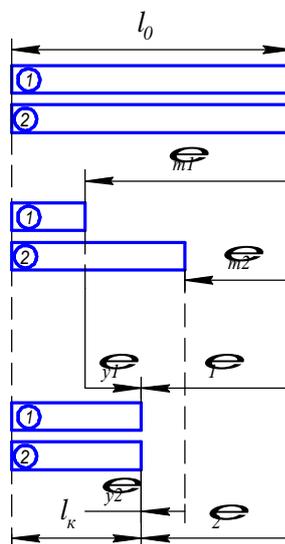


Схема образования напряжений в структурном элементе при его охлаждении

Введем следующие условные обозначения:

$T_c$  – температура Кюри;

$t_k$  – комнатная температура;

$\Delta t$  – изменение температуры при охлаждении  $\Delta t = T_c - t_k$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – полная деформация первого и второго бруска при охлаждении, соответственно;

$\varepsilon_{T1}, \varepsilon_{T2}$  – тепловая деформация первого и второго бруска при охлаждении, соответственно;

$\varepsilon_{y1}, \varepsilon_{y2}$  – упругая деформация первого и второго бруска при охлаждении, соответственно;

$x$  – усилие в брусках при охлаждении;

$E_1, E_2$  – модуль упругости материалов первого и второго бруска, соответственно;

$F_1, F_2$  – площадь поперечного сечения первого и второго бруска, соответственно;

$\alpha_1, \alpha_2$  – ТКЛР материалов первого и второго бруска, соответственно;

$l_0$  – начальная длина структурного элемента при температуре Кюри;

$l_k$  – длина структурного элемента при комнатной температуре;

$\sigma_1, \sigma_2$  – напряжения после охлаждения в первом и втором брусках, соответственно.

Рассмотрим поведение системы при охлаждении от температуры Кюри до комнатной температуры.

Запишем условие совместности:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2, \quad (1)$$

т.о., поскольку бруски фактически связаны, полная деформация первого бруска при охлаждении равна полной деформации второго бруска при охлаждении, или

$$|\varepsilon_{T1}| - |\varepsilon_{y1}| = |\varepsilon_{T2}| + |\varepsilon_{y2}|, \quad (2)$$

Величины  $\varepsilon_{T1}$  и  $\varepsilon_{T2}$  составят

$$\varepsilon_{T1} = \alpha_1 \cdot \Delta t, \quad \varepsilon_{T2} = \alpha_2 \cdot \Delta t, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{y1} = \frac{x}{E_1 \cdot F_1}, \quad \varepsilon_{y2} = \frac{x}{E_2 \cdot F_2}. \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в выражение (2), получим

$$|\alpha_1 \cdot \Delta t| - \left| \frac{x}{E_1 \cdot F_1} \right| = |\alpha_2 \cdot \Delta t| + \left| \frac{x}{E_2 \cdot F_2} \right|. \quad (5)$$

Раскрыв модули решим уравнение (5) относительно  $x$ :

$$|x| = \frac{E_1 \cdot F_1 \cdot E_2 \cdot F_2}{E_1 \cdot F_1 + E_2 \cdot F_2} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot |\Delta t|. \quad (6)$$

С учетом того, что

$$\sigma = \frac{x}{F}, \quad (7)$$

найдем по выражениям (6) и (7) искомые напряжения в брусках:

$$|\sigma_1| = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot F_2}{E_1 \cdot F_1 + E_2 \cdot F_2} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot |\Delta t|; \quad (8)$$

$$|\sigma_2| = \frac{E_1 \cdot F_1 \cdot E_2}{E_1 \cdot F_1 + E_2 \cdot F_2} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot |\Delta t|. \quad (9)$$

Для расчетов по полученным выражениям (8) и (9) приняты следующие исходные данные:  $E_1=160$  ГПа;  $E_2=150$  ГПа;  $\alpha_1=16,9 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>;  $\alpha_2=9,55 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>;  $T_c=240^\circ\text{C}$  и  $t_k=20^\circ\text{C}$ . Параметры  $F_1$  и  $F_2$  являются переменными структурными факторами и по данным наших металлографических исследований лежат в пределах  $F_1=0,1 \div 0,5$ ;  $F_2=0,5 \div 0,9$ .

Результаты расчетов приведены в таблице.

Напряжения, мПа	Отношение площадей F1/F2				
	0,1/0,9	0,2/0,8	0,3/0,7	0,4/0,6	0,5/0,5
по границам ячеек $\sigma_1$ (растяжения)	23,13	20,43	17,76	15,12	12,52
в средней части $\sigma_2$ (сжатия)	2,57	5,11	7,61	10,08	12,52

В рамках использованной модели, из полученных результатов видно, что напряжения в ячеистой структуре лежат в пределах 0,9-8,3% от величины условного предела текучести инвара, составляющего 280 МПа.

Нами, совместно с Ю.В. Денисовым, показано, что механические напряжения увеличивают ТКЛР. Это противоречит экспериментальным данным, приведенным в начале настоящей статьи.

Объяснение этого противоречия лежит, видимо, в воздействии напряжений на магнитные свойства ферромагнетиков, к которым относится и железоникелевый инвар. Это известный эффект Е. Виллари, открытый им в 1865 году. Некоторые экспериментальные данные, иллюстрирующие этот эффект, приведены в монографии С.В. Вонсовского.

Эффект Виллари обратен явлению магнитострикции, открытой Дж. Джоулем в 1842 году. Измерения поперечной магнитострикции инвара показали, что при напряженности внешнего магнитного поля  $10^4$  Э относительное удлинение образца составило  $5 \cdot 10^{-5}$ . Умножив эту величину на модуль упругости инвара (150 ГПа) получим напряжение 7,5 мПа. Это значение лежит в ряду таковых (таблица), полученных по описанной модели.

В связи с этим можно предположить, что напряжения в структуре обычного инвара усиливают магнитострикционный эффект, являющийся, как известно, причиной низкого ТКЛР этого сплава. В этом, видимо, и заключается объяснение факта более низкого ТКЛР обычного инвара по сравнению с гомогенным, в котором величина структурных напряжений всегда меньше, а в случае отжига – практически равна нулю.

В связи со сказанным экспериментальное сравнение магнитных свойств обычного и гомогенного инваров представляется весьма актуальной задачей.

Зиомковский В.М.  
Баранов Г.Л., проф., д-р техн. наук  
Песин Ю.В., доц., канд. техн. наук

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ТРАНСМИССИОННЫХ ВАЛОВ

Интенсификация производственных процессов предъявляет повышенные требования к качеству современного механического оборудования. Технологические возможности и прочностные характеристики многих машин определяются их трансмиссиями.

С увеличением кинематической напряженности технологических процессов на первый план выдвигаются оценка динамической нагруженности валов трансмиссий и разработка рекомендаций по выбору параметров трансмиссий, минимизирующих динамические нагрузки. Для определения динамических нагрузок расчетные схемы большинства трансмиссий рассматривают как многомассовые рядные или разветвленные системы, в которых сосредоточенные массы соединены безынерционными упругими связями. Существенные трудности представляет создание динамической схемы замещения привода и ее частотный и амплитудный анализ при числе масс больше трех. На кафедре «Детали машин» УГТУ-УПИ разработан программный комплекс по расчету и проектированию валов трансмиссий. Важным разделом комплекса является динамический расчет таких валов. В качестве графической базы для формирования конструкции вала выбран Автокад.

Ниже представлена математическая модель, использованная в программном комплексе для расчета рядных многомассовых динамических систем. Наиболее общим видом дифференциальных уравнений движения масс, соединенных упругими связями, являются уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{d\dot{q}_j} \right) - \frac{dT}{dq_j} = - \frac{d\Pi}{dq_j},$$

где  $t$  - время,  $q_j$  - обобщенные координаты;  $d\dot{q}_j$  - обобщенные скорости;  $T$  - кинетическая энергия;  $\Pi$  - потенциальная энергия;  $j$  - номер координаты.

Связь кинетической и потенциальной энергии с обобщенными координатами для голономных систем может быть представлена в виде

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k,j=1}^s a_{jk} \dot{q}_j \dot{q}_k, \quad \Pi = \frac{1}{2} \sum_{k,j=1}^s C_{jk} q_j q_k,$$

где  $s$  - число степеней свободы;  $a_{jk}$  - инерционные коэффициенты;  $C_{jk}$  - обобщенные коэффициенты жесткости.

При составлении дифференциальных уравнений движения масс валопровода удобно пользоваться прямым способом. В соответствии с этим способом из системы выделяются сосредоточенные массы, на каждую из

которых действуют восстанавливающие силы, зависящие от принятых обобщенных координат.

Для валопроводов с вращательным движением масс в качестве обобщенных координат удобно принять углы закручивания масс. В соответствии с прямым способом составления дифференциальных уравнений движения система уравнений для рядной динамической системы без учета демпфирования может быть представлена в виде

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + C_1(\varphi_1 - \varphi_2) = M_d \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C_2(\varphi_2 - \varphi_3) - C_1(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \\ \dots \\ I_i \ddot{\varphi}_i + C_i(\varphi_i - \varphi_{i+1}) - C_{i-1}(\varphi_{i-1} - \varphi_i) = 0 \\ \dots \\ I_s \ddot{\varphi}_s - C_s(\varphi_{s-1} - \varphi_s) = -M_c \end{cases} \quad (1)$$

где  $I_i$  - моменты инерции сосредоточенных масс;

$C_i$  - коэффициенты жесткости участков валопровода между  $i$  и  $i+1$  массами;

$M_d$  - момент сил движущих, приложенный к массе  $I_1$ ;

$M_c$  - момент сил сопротивления, приложенный к концевой массе  $I_s$ .

Принимая обозначения  $M_{i,i+1} = C_i(\varphi_i - \varphi_{i+1})$ , после преобразований систему (1) запишем относительно новых обобщенных координат, в качестве которых выступают моменты сил упругости в связях:

$$\begin{cases} M_{12} + \beta_1^2 M_{12} - \frac{C_1}{I_2} M_{23} = \frac{C_1}{I_1} M_d \\ \dots \\ M_{i,i+1} + \beta_i^2 M_{i,i+1} - \frac{C_i}{I_{i+1}} M_{i+1,i+2} - \frac{C_i}{I_i} M_{i-1,i} = 0 \\ \dots \\ M_{s-1,s} + \beta_{s-1}^2 M_{s-1,s} - \frac{C_{s-1}}{I_{s-1}} M_{s-2,s-1} = -\frac{C_{s-1}}{I_s} M_c \end{cases} \quad (2)$$

где  $\beta_i = \sqrt{C_i \frac{I_i + I_{i+1}}{I_i I_{i+1}}}$  - цикловые частоты собственных колебаний парциальных систем.

Решение системы уравнений (2) имеет вид :

$$M_{i,i+1} = \sum_{j=1}^{s-1} A_{i,j} \sin(p_j t + \alpha_j) + D_i, \quad (3)$$

где  $D_i$  - частные решения;  $p_j$  - частоты собственных колебаний;  $\alpha_j$  - начальные фазы;  $A_{i,j}$  - амплитуды гармонических составляющих.

Для определения частот собственных колебаний используют следующее частотное уравнение, записанное в виде определителя

$$\begin{vmatrix} p^2 - \beta_1^2 & \frac{C_1}{I_2} & 0 & \dots\dots \\ \frac{C_2}{I_2} & p^2 - \beta_2^2 & \frac{C_2}{I_3} & \dots\dots\dots \\ 0 & \frac{C_3}{I_3} & p^2 - \beta_3^2 & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{vmatrix} = 0, \quad (4)$$

Подставим в систему (2)  $j$ -ый корень частотного уравнения, приравнявая правые части к нулю. В результате после преобразований получим

$$\begin{cases} (\beta_1^2 - p_j^2)x_{1,j} - \frac{C_1}{I_2}x_{2,j} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ (\beta_i^2 - p_j^2)x_{i,j} - \frac{C_i}{I_{i+1}}x_{i+1,j} - \frac{C_i}{I_i}x_{i-1,j} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ (\beta_{s-2}^2 - p_j^2)x_{s-2,j} - \frac{C_{s-2}}{I_{s-1}}x_{s-1,j} - \frac{C_{s-2}}{I_{s-2}}x_{s-3,j} = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где  $x_{i,j}$  – коэффициенты формы,  $x_{i,j} = A_{i,j}/A_{1,j}$

Учитывая, что  $x_{1,j} = 1$ , из первого уравнения системы (5) найдем  $x_{2,j}$ . Все остальные коэффициенты формы определим, пользуясь рекуррентным соотношением:

$$x_{i+1,j} = \frac{I_{i+1}(\beta_i^2 - p_j^2)}{C_j}x_{i,j} - \frac{I_{i+1}}{I_i}x_{i-1,j}, \quad (6)$$

здесь  $i$  меняется в диапазоне  $2 \leq i \leq s-2$ .

Используя полученные коэффициенты формы, преобразуем решения (3) к следующему виду:

$$M_{i,i+1} = \sum_{j=1}^{s-1} A_{1,j} x_{i,j} \sin(p_j t + \alpha_j) + D_i, \quad (7)$$

Приведенные решения содержат  $s-1$  произвольных постоянных  $A_{1,j}$  и  $s-1$  произвольных постоянных  $\alpha_j$ . Для их определения используем начальные условия

$$M_{i,i+1}(0) = a_{oi}, \quad \dot{M}_{i,i+1}(0) = b_{oi}, \quad (8)$$

Вид частного решения зависит от характера возмущающей нагрузки. Для пусковых режимов большинства машин характерны следующие зависимости моментов сил сопротивления от времени  $t$

$$M_c = \text{const}, \quad (9)$$

$$M_c = \begin{cases} M_n t/t_p & \text{при } t \leq t_p \\ M_n & \text{при } t > t_p \end{cases}, \quad (10)$$

$$M_c = M_n [1 - \exp(-t/A)], \quad (11)$$

где  $t_p$  - время нарастания нагрузки до установившегося значения  $M_n$ ;

$A$  – характеристика, задающая темп нарастания нагрузки.

Принимая для пускового режима  $M_d = \text{const}$ , рассмотрим особенности определения  $D_i$  для различных  $M_c$ . При  $M_c = \text{const}$  после подстановки выражений (3) в систему уравнений (2) и преобразований получают следующие частные решения:

$$D_i = M_c + \frac{M_d - M_c}{I_\Sigma} \sum_{i+1}^s I_j, \quad (12)$$

где  $I_\Sigma = \sum_{j=1}^s I_j$  – момент инерции всей системы.

Для этапа линейного нарастания нагрузки в соответствии с формулой (10) будем искать частные решения системы (2) в виде

$$D_i = r_i + g_i t.$$

Подставляя  $D_i$  в систему (2) и выполняя преобразования, получим

$$r_i = \frac{M_d}{I_\Sigma} \sum_{i+1}^s I_j, \quad g_i = \frac{M_n}{I_\Sigma t_p} \sum_{j=1}^i I_j. \quad (13)$$

Отсюда следует, что для участка линейного нарастания нагрузки в функции времени частные решения могут быть определены по формуле (12), в которой  $M_c$  задается верхней строкой выражения (10). Начальные условия для этого этапа нагружения зададим в виде  $a_{0i} = b_{0i} = 0$ .

Используя (3), найдем первую производную по времени от моментов сил упругости

$$M_{i,i+1}' = \sum_{j=1}^{s-1} A_{i,j} p_j \cos(p_j t + \alpha_j) + g_i. \quad (14)$$

Определим  $M_{i,i+1}$  и его производную в конце первого этапа нагружения, подставляя в (3) и (14)  $t = t_p$ . Очевидно, что эти значения параметров будут начальными условиями для второго этапа нагружения, задаваемого нижней строкой выражения (10).

Для зависимости (11) частные решения будем искать в виде:

$$d_i = r_i + g_i \exp\left(-\frac{t}{A}\right), \quad (15)$$

где  $r_i$  на основании расчетного случая, задаваемого уравнением (9), равно

$$r_i = M_c + \frac{M_d - M_c}{I_\Sigma} \sum_{i+1}^s I_j.$$

Неизвестные  $g_i$  определяются из следующей системы алгебраических линейных уравнений, полученных путем постановки  $D_i$  из (15) в (2) с последующими преобразованиями, в которых  $\alpha$  – постоянная времени разгона.

$$\left\{ \begin{array}{l} g_1(\alpha^2 + \beta_1^2) - \frac{C_1}{I_2} g_2 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ g_i(\alpha^2 + \beta_i^2) - \frac{C_i}{I_{i+1}} g_{i+1} - \frac{C_i}{I_i} g_{i-1} = 0, \\ \dots\dots\dots \\ g_{s-1}(\alpha^2 + \beta_{s-1}^2) - \frac{C_{s-1}}{I_{s-1}} g_{s-2} = -\frac{C_{s-1}}{I_s} M_n, \end{array} \right. \quad (16)$$

Описанная математическая модель положена в основу программы расчета динамических нагрузок валопроводов при неустановившихся режимах нагружения.

Формирование конструкции вала происходит в диалоговом режиме с использованием библиотеки типовых участков валов (цилиндрических, конических, резьбовых, шлицевых и т. д.) и библиотеки типовых конструктивных элементов (пазов, канавок, галтелей и т. д.). Вал может быть представлен в виде сборочной единицы путем установки на соответствующие участки вала деталей, передающих на вал или снимающих с вала нагрузки (зубчатых и червячных колес, шкивов, звездочек, полумуфт). Также на вал могут быть установлены подшипники, втулки, кольца и т.д. Выбор деталей, взаимодействующих с валом, осуществляется по результатам расчетов соответствующих механических передач, подшипников и муфт.

После формирования конструкции вала в полуавтоматическом или автономном режимах возможно создание схемы замещения привода. Этот раздел включает: расчет масс и моментов инерции как отдельных участков вала, так и деталей, установленных на валу; объединение полученных масс в сосредоточенные массы и расчет жесткостей упругих связей системы; расчет демпфирующих характеристик участков вала и других деталей и соединений между ними. Если трансмиссия включает несколько валов, описанные операции выполняются для каждого вала и создание схемы замещения происходит для привода в целом с учетом передаточных отношений между валами.

Для полученной динамической схемы замещения программа выполняет расчет динамических параметров. Частотный анализ производится при числе сосредоточенных масс от 2 до 10 как для рядных, так и для разветвленных систем. Анализ свободных и вынужденных колебаний системы производится при числе масс от 2 до 6.

Вид динамического расчета число масс и тип схемы замещения выбирается в различных диалоговых окнах и системах меню. Одно из таких окон для ввода данных разветвленной четырехмассовой динамической системы показано на рис. 1.

Массы, КГ (Моменты инерции, КГ\*М<sup>2</sup>)

m1 (J1)	m2 (J2)	m3 (J3)	m4 (J4)
1000	100	100	100

Жесткости, Н/М (Н\*М)

C0	C1	C2	C3
	10	100	100

Рис. 1. Ввод данных для разветвленных систем

На рис. 2 в качестве примера показаны графики изменения упругих сил в связях для 4-х массовой системы.

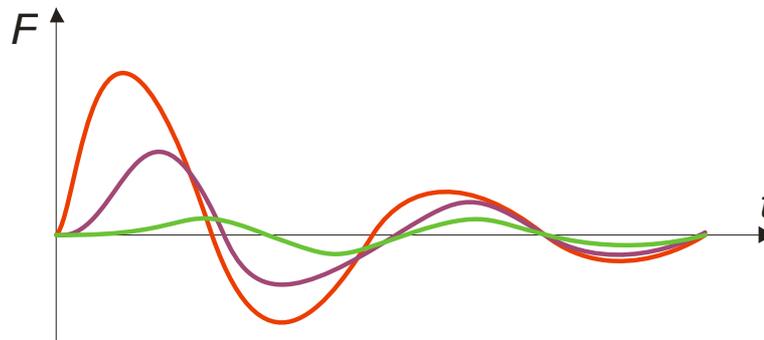


Рис. 2. Нагрузки в связях при свободных колебаниях 4-х массовой системы

Казимиров А.А., студент  
Кугаевский С.С., доц., канд. техн. наук

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ОТЖАТИЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ

Современное машиностроение характеризуется повышенными требованиями к точности механической обработки. За последние 10 лет уровень требуемых параметров точности при механообработке повысился примерно на один порядок. Например, в приборостроении при обработке внутренних элементов (карманов) требуется получить 10÷12 квалитет точности. Это соответствует допускам менее 0,05 мм.

Обработка карманов в корпусных деталях, как правило, производится концевой фрезой. На точность обработки при этом влияют систематические погрешности, связанные с упругими отжатами фрезы.

Если рассматривать фрезу как консольно закрепленную балку, можно использовать базовое определение теории сопротивления материалов о податливости механической системы. Податливость  $w$  (величина, обратная жесткости) определяется по формуле (1):

$$w = \frac{Y}{P_Y}. \quad (1)$$

Здесь  $P_Y$  (Н) – нормальная составляющая силы резания на фрезу;  $Y$  (м) – величина упругих отжатов (прогиба) концевой фрезы, которая рассчитывается по следующей формуле (2):

$$Y = -\frac{ql^4}{24EI} \left( 3 - 4\frac{a^3}{l^3} + \frac{a^4}{l^4} \right), \quad (2)$$

где  $q$  (Н/м) – распределенная нагрузка на ширину фрезерования, равная отношению нормальной составляющей силы резания к ширине фрезерования  $b$ ;  $l$  (м) – вылет фрезы;  $a$  (м) – разность между вылетом и шириной фрезерования;  $I$  (м<sup>4</sup>) – момент инерции сечения фрезы;  $E$  (Па) – модуль упругости 2-го рода материала фрезы. На рис. 1 показана расчетная схема для определения податливости концевой фрезы.

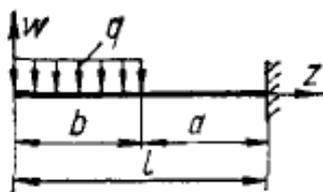


Рис. 1. Расчетная схема

Как следует из формулы, величина упругих отжатов зависит от момента инерции сечения рабочей части фрезы. Это сечение для фрез разных конструкций неодинаково (рис. 2). Следовательно, точность обработки

вертикальной стенки заготовки при применении различных фрез будет различной.

Целью проведенных исследований явилось выявление зависимостей величины упругих отжатию концевой фрезы от условий обработки и конструктивных параметров фрезы. Формула (2) может дать только приблизительное представление об истинных величинах  $Y$ . Для более точного определения величины  $Y$  был применен метод конечных элементов с использованием САЕ системы ANSYS (Computer Aided Engineering)

Для проведения исследований была построена твердотельная модель фрезы, на основе которой была сгенерирована сетка конечных элементов (рис. 3).



а б в  
Рис. 3. Сечения (а – трехзубая фреза;  
б – двухзубая фреза;  
в – идеальный стержень)

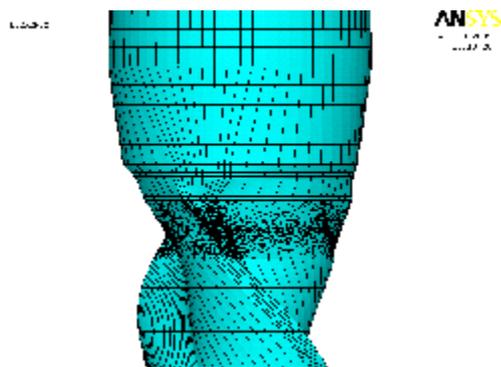


Рис. 4. Сетка конечных элементов

С помощью ANSYS проводилась серия экспериментов для определения величины упругих отжатию концевой фрезы. На рис. 5, 6 показан результат взаимодействия заготовки с фрезой при заданных режимах резания. Здесь показан контакт на всю длину режущей части.

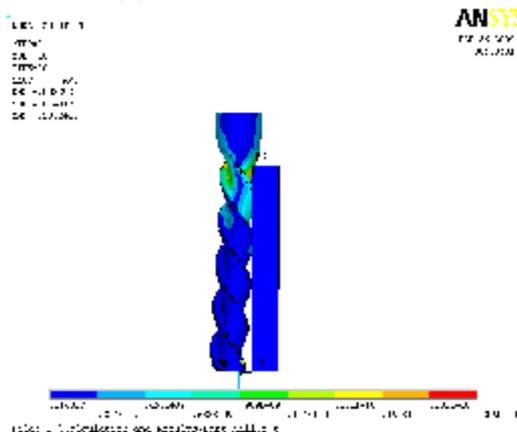


Рис. 6. Эквивалентные напряжения по Мизесу

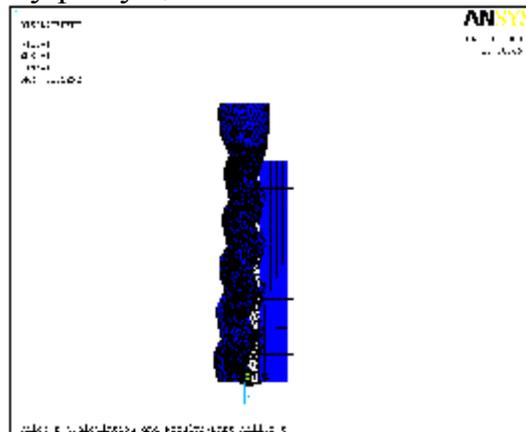


Рис. 5. Упругие отжатию фрезы при взаимодействии ее с заготовкой

В результате проведенных опытов можно говорить о достаточной сходимости величин, рассчитанных аналитически, и величин, полученных с применением САЕ системы. При этом последние дают более точное представление о процессе.

**Выводы:**

- В результате исследований построена расчетная модель для определения параметра «податливость» концевой фрезы.
- Доказана необходимость введения параметра «податливость» концевой фрезы в общий состав параметров (наряду с длиной режущей части и количеством зубьев) при определении прогнозируемой точности механической обработки.

Песина Н.Ю., ассистент  
Бакин А.В., студент  
Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук

## НАДЕЖНОСТЬ ЗУБЧАТОЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ С РАЗРУШАЮЩИМИСЯ ЭЛЕМЕНТАМИ

### Конструкция предохранительной муфты

Согласно представленному заводом чертежу зубчатая муфта (рис. 1), соединяющая ведомый вал редуктора с ведущим валом шестеренной клетки, имеет предохранительные устройства в виде срезных пальцев и шпонок, выделенных красным цветом на рис.2.

Ее основные параметры близки к параметрам стандартной аналогичной муфты №16. В таблице приведены основные характеристики муфты автоматстана ТПА – 140 цеха №2 и стандартной муфты №16.

Параметр	Муфта автоматстана ТПА – 140 цеха №1	Муфта МЗ №16
Посадочный диаметр зубчатых втулок, $d$ , мм	340	400
Наружный диаметр зубчатого венца обоймы, $D_1$ , мм	855	755
Диаметр ступицы зубчатой втулки, $D_2$ , мм	630	530
Максимальный по зацеплению длительнодействующий крутящий момент, $T_{кр}$ , кНм	375	370
Расстояние между серединами зубчатых венцов, $A$ , мм	460	535
Диаметр расположения осей двух срезных пальцев, $D$ , мм	1020	-
Наружный диаметр, $D_n$ , мм	1160	900

В известной литературе отмечается, что «предохранительные элементы, выполненные в форме цилиндрических штифтов или в виде призматических шпонок, характеризуются снижением точности срабатывания при увеличении числа предохранительных элементов вследствие их неравномерного нагружения.

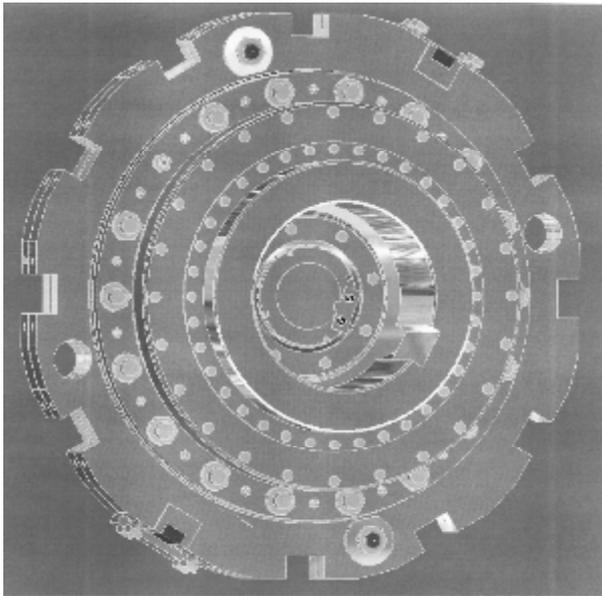


Рис. 1. Зубчатая муфта

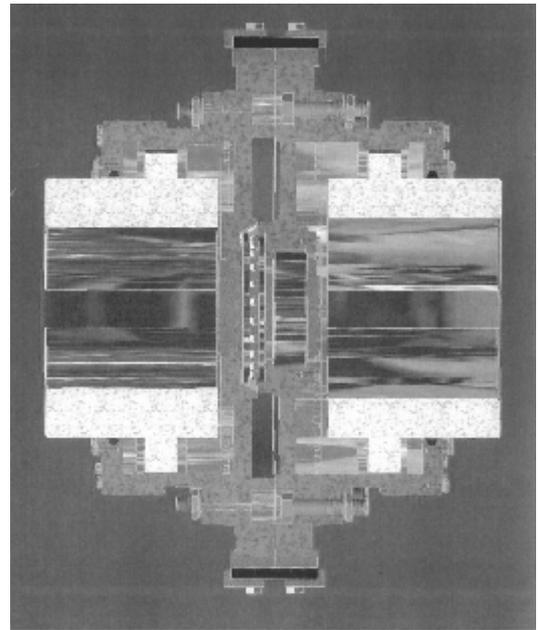


Рис.2. Предохранительные устройства муфты в виде срезных пальцев и шпонок

### Надежность работы муфты заданной конструкции

На I этапе разработки рекомендаций по совершенствованию конструкции и работы предохранительного устройства важно оценить надежность самой муфты. Рассматриваемая зубчатая муфта является элементом последовательной системы привода рабочих валков стана, в которой отказ одного элемента приводит к отказу системы в совокупности. Особенностью объектов с предохранительным элементом является необходимость оценки двух противоречивых событий: безотказности передачи нагрузки, необходимой для совершения работы, и безотказности срабатывания (разрушения) предохранительного устройства.

В результате, решение этой задачи имеет две стадии. На первой определяется надежность работы муфты, заданной ее конструкцией и размерами на основании учета реальных, измеренных нагрузок. Второй стадией является расчет конструктивных размеров и технических требований для предохранительного устройства на базе максимальной вероятности его срабатывания при недопустимых перегрузках.

В основу оценки надежности зубчатой муфты положены данные о наибольшем крутящем моменте, указанном на заводском чертеже, и результаты статистической обработки натуральных производственных замеров крутящих моментов на шпинделях рабочих валков автоматстана ТПА – 140 цеха №2.

Значение вероятности безотказной работы зубчатой муфты при нормальном законе распределения внешних нагрузок определяются с помощью квантили нормального распределения –  $u_p$ .

$$u_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_p^2 + v_a^2}},$$

где  $\bar{n} = \bar{T}_p / \bar{T}_a$  - коэффициент запаса по средним;  
 $\bar{T}_p$ ,  $\bar{T}_a$  - средние значения разрушающего и внешнего моментов,  
 $v_p$ ,  $v_a$  - коэффициенты вариации разрушающего и действующих  
внешних моментов.

На заводском чертеже муфты указан наибольший крутящий момент по зацеплению –  $375_a$  кНм. Размеры ступицы зубчатой втулки и обоймы специальной зубчатой муфты автоматстана корреспондируются с соответствующими параметрами и максимальным по зацеплению длительно действующим крутящим моментом для аналогичной стандартной муфты МЗ №16 (см. таблицу). Однако параметры зубчатого зацепления специальной муфты стана превышают аналогичные параметры стандартной муфты МЗ №16, что дает основания для выбора в качестве предельного длительно действующего момента для зубчатой муфты автоматстана ТПА – 140 цеха №2 значения  $\bar{T}_{pM} = 400_a$  кНм. В соответствии с расчетами, крутящий момент срабатывания муфты  $T_p$  во избежание случайных выключений, берут  $T_p = 1,25 T_{pM}$ . В нашем случае  $T_p = 500$  кНм. Срезные пальцы в соответствии с заводским чертежом изготавливают из стали 45. Коэффициент вариации разрушающего момента, равный коэффициенту вариации предела прочности срезного пальца, обычно принимают  $v_p = 0,06...0,08$ . В соответствии с вышеприведенным выражением получено значение квантили нормального распределения –  $u_p = -2,236$ , что соответствует вероятности безотказной работы зубчатой муфты  $P(T) = 0,9987$  автоматстана ТПА – 140. В ходе практических замеров определена активная мощность электропривода, представленная на рис. 3. Осциллограмма показала, что маховичный эффект массивных зубчатых колес редуктора защищает элементы конструкции, предшествующие зубчатой муфте, от случайных воздействий пиковых нагрузок.

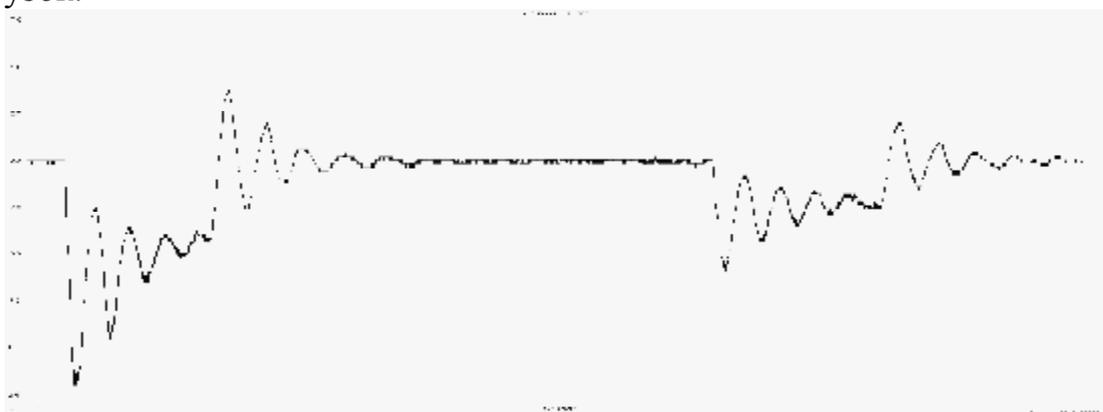


Рис. 3. Активная мощность электропривода

Попов Ю.А., аспирант  
Раскатов Е.Ю., доц., канд. техн. наук  
Чечулин Ю.Б., проф., д-р техн. наук

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОДАЮЩЕГО АППАРАТА ПИЛЬГЕРСТАНА

Бесперебойная работа пилигримого стана находится в прямой зависимости от безупречной работы подающего аппарата (форголлера). Основные требования, предъявляемые к форголлерам следующие:

- движение аппарата должно быть строго согласовано с вращением валков, т.е. должно быть синхронным и синфазным;
- заготовка должна быть полностью подана вперед к валкам во время образования зева и повернута на заданный угол;
- тормозное устройство должно обеспечивать быстрое и плавное торможение подвижных масс подающего аппарата до остановки в переднем положении, независимо от размеров прокатываемых труб.

Производительность стана, качество труб и расход энергии при прокатке в значительной мере зависят от величины подачи, которая до сих пор подбирается практическим путем, зачастую без достаточных оснований. В то же время правильный выбор подачи и наличие механизмов, позволяющих точно воспроизвести заданную подачу, даст возможность форсировать технологический режим стана. Одним из недостатков существующих конструкций подающих аппаратов с пневматическим приводом и гидравлическим торможением является ненадежная работа гидротормоза, что практически не позволяет регулировать режим торможения. Литературный и патентный обзор показал, что проводилось множество теоретических и экспериментальных исследований динамических параметров подающих аппаратов, изменялись конструкции пневматических и тормозных камер, но это не привело к желаемым результатам. Поэтому на сегодняшний день вопрос об определении оптимальной величины подачи для каждого конкретного режима и других параметров, влияющих на динамику подающего аппарата, остается открытым.

На предприятии ЧТПЗ (Челябинский трубопрокатный завод) проводилось измерение давлений в пневматической и тормозной камерах форголлера пильгерстана №1 цеха №1. Целью проведения измерений являлось снижение ударных нагрузок и повышение работоспособности и надежности подающего аппарата на базе расчетного обоснования и натурных замеров нагрузок.

Выбор рациональных параметров работы форголлера определяется снижением ударных нагрузок при встрече валков с прокатываемым металлом. Для этого необходимо решить гидродинамическую задачу на основе уравнений движения, учитывающих динамическое поведение подвижных масс подающего аппарата, влияние конструктивных параметров демпфирующего устройства гидротормоза, воздушной камеры и сил трения.

Для проверки расчетных характеристик работы гидротормозной камеры были выполнены два цикла натуральных измерений. Измеряли давление жидкости перед поршнем с помощью датчика давления с верхним пределом 16 МПа, установленным в конце передней тормозной камеры; давление в воздушной камере с помощью датчика давления, имеющего верхний предел измерений 2,5 МПа; перемещение штока с помощью датчика перемещений, имеющего верхний предел измерений 1500 мм; перемещение каретки форголлера относительно направляющих с помощью дополнительного датчика малых перемещений (с периодическими перестановками).

В процессе прокатки, согласно данным на мониторе оператора, в поршневой полости основных гидравлических цилиндров поддерживалось давление – 3,7 МПа, а значения давления в пневматической камере изменялись от 0,2 до 0,8 МПа.

Результаты измерений показали следующее:

- усилия, воспринимаемые через траверсу-упор механизмом подачи в период установившегося процесса прокатки, изменяются периодически за каждый цикл прокатки (в течение одного оборота рабочих валков) от 0 до 570 кН (56... 58 тс), достигая максимального сжимающего месдозу пикового значения при положении поршня в конце передней тормозной камеры;

- циклически изменяющиеся усилия имеют постоянную и переменную составляющие, причем значение постоянной составляющей соответствует усилиям от постоянного давления основных цилиндров и составляет около 50% от максимального значения, а размах колебаний переменной части нагрузки достигает 90...95% от максимального значения за цикл;

- наличие и значение постоянной составляющей усилий давления на траверсу подтверждается пиковым значением нагрузки перед началом процесса прокатки гильзы;

- имеет место очевидная связь соотношений между давлениями в тормозной камере и усилиями, регистрируемыми месдозой в период затравки. Максимальные значения усилий, зарегистрированные на месдозе, пропорциональны давлениям в конце передней тормозной камеры и ниже значений установившегося процесса прокатки;

- характер изменения усилий растяжения ходового винта и сочлененного с ним стержня траверсы-упора соответствуют характеру изменения давлений в рабочих (поршневых) полостях основных гидравлических цилиндров;

- конечные пиковые значения усилий носят ударный, мгновенный характер нарастания;

- показания датчика регистрации давления в дополнительных цилиндрах в период прокатки близки к нулевым значениям, поскольку их включение выполняется только при извлечении дорна из прокатанной гильзы.

Таким образом, резкое пиковое возрастание давлений в передней тормозной камере до 2,3...2,5 МПа к концу хода поршня свидетельствует о

полной остановке прокатываемой заготовки перед захватом ее рабочими валками.

В настоящее время разрабатывается модель для определения рациональных значений параметров для каждого режима работы стана.

Пугин А.И., аспирант  
 Карамышев А.П., доц., канд. техн. наук  
 Паршин В.С., проф., д-р техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ЗАГОТОВКИ БОЙКАМИ РАДИАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЫ

На кафедре «Металлургические и роторные машины» ведутся исследования по деформации твердого тела и в частности исследования захвата прутковой заготовки бойками радиально-ковочной машины. Процесс радиального обжатия сводится к изменению формы заготовки путем периодического обжатия бойками, совершающими возвратно-поступательное движение. Заготовка при этом может оставаться неподвижной или совершать вращательное движение. Когда производится обжатие заготовки, необходимо обеспечить нормальные условия захвата ее бойками. Для описания классического варианта рассмотрим методику В.И. Любвина. В методике рассматривается ковка одной парой бойков.

Заготовка подводится к бойкам с некоторой постоянной скоростью, сообщаемой ей задающим устройством, которое придает еще и вращательное движение. На рис. 1 сила  $P$  воздействия бойков на заготовку направлена перпендикулярно поверхности конуса. Сила трения  $T$ , отнесенная к бойку, перпендикулярная к силе  $P$ , направлена по образующим конуса в направлении движению заготовки.

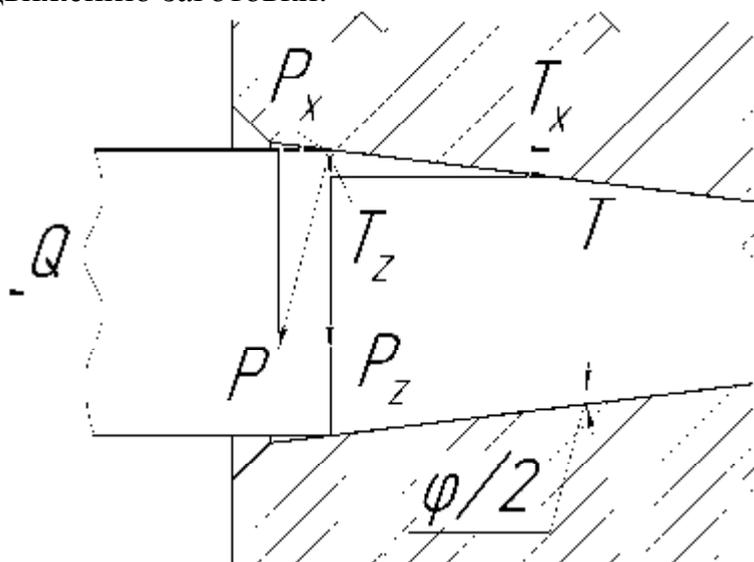


Рис. 1. Воздействие сил на заготовку

Боек, прижимаясь конусом к заготовке, давит на нее и в силу наличия силы трения  $T$  стремится задержать ее вращение. Усилие  $P$  определяется из уравнения равновесия ( $\sum x=0$ ):

$$P = \frac{Q}{2 \cdot \left( \mu \cos \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \right)}$$

Для обеспечения условий захвата необходимо, чтобы бойки вследствие возникающего трения могли захватить заготовку. В противном случае из-за недостаточной величины сил трения бойки будут скользить по металлу. Сила трения  $T$ , препятствующая выталкиванию заготовки, равна нормальной силе, умноженной на коэффициент трения  $T = \mu P$ . На рис. 2, спроектировав силы  $P$  и  $T$  на направление движения заготовки, получаем горизонтальные силы  $P_x$  и  $T_x$ :

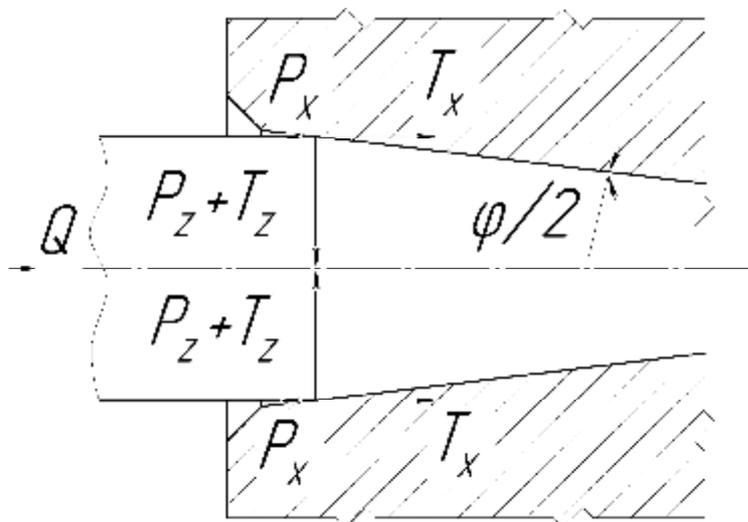


Рис. 2. Проекция сил, действующих на заготовку, на направление ее движения

Также получаем и вертикальные составляющие  $P_z$  и  $T_z$ , результатом действия которых является сжатие заготовки. Горизонтальная сила  $P_x$  будет противодействовать вхождению металла в конус бойков, а сила  $T_x$  стремится захватить металл в направлении подачи заготовки. При  $P_x > T_x$  условия обжатия невозможны. При  $P_x < T_x$  заготовка будет поступать под конус бойков и обжиматься. Случай  $P_x = T_x$  соответствует условию равновесия.

$$\frac{T_x}{P_x} = \frac{\mu}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \quad (1)$$

Отношение (1) зависит от коэффициента трения и угла конуса  $\varphi$  и не зависит от силы  $Q$ . Однако увеличение вталкивающей силы  $Q$  косвенно способствует облегчению условий захвата, так как при принудительной подаче заготовки происходит смятие и истирание входящего конца заготовки, в связи с чем увеличивается втягивающая сила  $T_x$ .

Силы трения оказывают существенное влияние на процесс деформации. Во-первых, силы трения вызывают неравномерное распределение напряжений от оси к периферии. Это приводит к неравномерности распределения деформаций. Во-вторых, роль силы трения сказывается на сроке службы бойков. Чем больше коэффициент трения, тем больше износ бойков. Для уменьшения влияния сил трения рабочую поверхность бойков выполняют с наибольшей чистотой путем полирования.

Однако методика В.И. Любвина наиболее подходит ротационной ковке. Для радиально-ковочных машин со сложным движением инструмента

она дает неверные результаты, не согласующиеся ни с практическими, ни с другими теоретическими исследованиями, проведенными конечно-элементным методом, в частности, из-за того, что рассматриваемый в методике очаг деформации принимается статическим, а не переменным во времени.

Сазанов А.В.

Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ШТАМПОВОЧНОГО ПРЕССА УСИЛИЕМ 750МН ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ Ti СПЛАВОВ

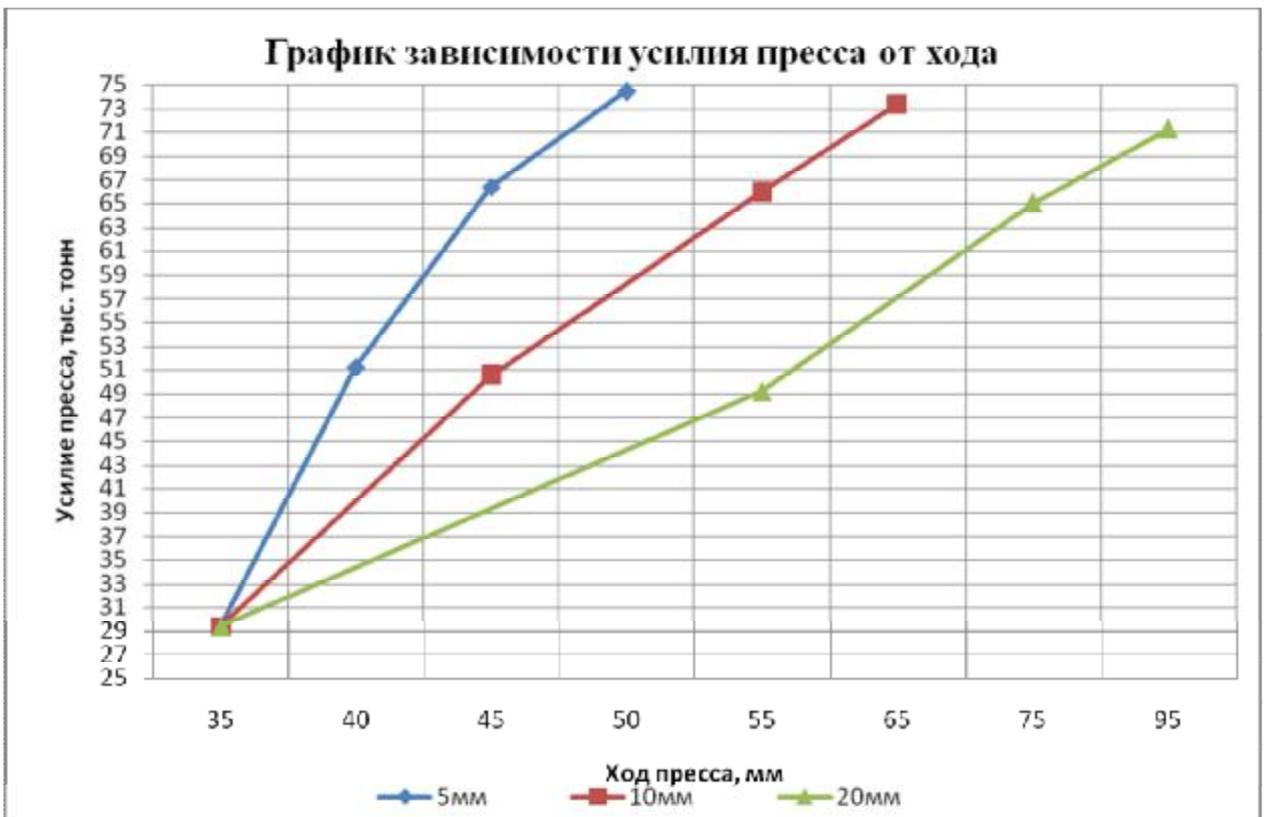
Самый мощный пресс в мире усилием 750 МН установленный на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», предназначен для объемной штамповки полуфабрикатов из титановых сплавов. Пресс имеет рамную конструкцию, 12 рабочих цилиндров, и насосно-аккумуляторный привод. Загрузка пресса осуществляется посредством 4 ступеней нагружения. В процессе штамповки подвижная траверса осуществляет ход, рама пресса подвержена растяжению, на что соответственно тратится дополнительный объем рабочей жидкости из баллонов высокого давления. Производительность насосов высокого давления настолько мала по сравнению с требуемой, что не дает возможности использовать рабочую жидкость, поступающую от насосов. Снижение уровня жидкости высокого давления в баллонах ведет к снижению давления в гидросистеме пресса, что соответственно приводит к снижению действительного усилия пресса.

На данный момент происходит освоение новых крупногабаритных штамповок из титановых сплавов, при изготовлении которых необходимо максимальное усилие пресса, которое пресс может развить только при минимальном рабочем ходе. Система диагностики, установленная на прессе, показывает реальное усилие пресса меньше приблизительно на 10% необходимого, при условии минимальных ходов.

Для оптимизации технологии процесса штамповки крупногабаритных изделий была разработана математическая модель работы пресса. Это позволяет произвести синергетическую связь рабочих параметров пресса и технологии. Сущность алгоритма состоит в сравнении и аппроксимации технологических силовых характеристик изделия на каждой фазе процесса штампования. Эти данные сводятся в табличную форму и определяются критические области, на основании которых и происходит разбивка усилия пресса по ступеням нагружения.

Результаты расчета по математической модели для условия минимальных ходов представлены в таблице, и в графике зависимости усилия пресса от хода (график).

Степень нагружения	Ход пресса, мм	Давление в гидро системе атм	Усилие пресса тыс. тонн	Объем жидкости [л]
1	35	213,9085	29,4	534,45
2	40	207,3685	51,2	427,53
3	45	318,4721	66,4	111,43
4	50	313,8779	74,4	252,84



Данные математического моделирования были проверены с фактическими данными, погрешность составила 1.5%.

Использование данной системы позволяет эффективно использовать параметры прессы, а также внедрять новые крупногабаритные штамповки из титановых сплавов.

Семичев Ю.С.

Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук

Багазеев Ю.М., доц., канд. техн. наук

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОГЛАДОЧНОГО СТАНА 2000

Прогладочный стан 2000 фактически является финишным деформационным агрегатом технологической цепочки производства горячекатаного тонко- и среднелистового проката из титановых сплавов ОАО «ВСМПО-АВИСМА». В линии прогладочного стана 2000 выполняются разнообразные технологические операции, а именно отжиг и правка пакетов, нагрев и прогладка листов, холодная прокатка и прогладка листов, а также их калибровка по толщине.

Деформация прокатываемого металла выполняется в рабочей клети стана за счет реверсивной многопроходной прокатки. Низкая температура деформационной обработки, в сочетании с высоким уровнем сопротивления деформации титановых сплавов, приводит к резкому росту технологических нагрузок – усилий и моментов прокатки, и соответственно, к снижению долговечности элементов главной линии рабочей клети. В процессе эксплуатации отмечены случаи поломок элементов главной линии черновой клети стана (опорных валков, шпинделей). Поломки опорных валков в последнее время носили систематический характер.

Для решения основных целей данной работы по определению фактической загруженности деталей, узлов и механизмов главной линии рабочей клети прогладочного стана с учетом всего многообразия факторов, оценки динамики протекающих процессов, изучения возможной несимметричности нагружения в качестве основного метода исследования был выбран метод экспериментального исследования, обеспечивающий наибольшую достоверность получаемых результатов.

Для решения поставленных задач экспериментального исследования был определён комплекс регистрируемых величин и интервалы изменения параметров технологического процесса.

Для определения фактической загруженности главной линии рабочей клети прогладочного стана 2000 необходима регистрация следующих величин:

- тока якоря (  $I_a$  ) главного электродвигателя черновой клети – электродвигателя привода рабочих валков;
- частоты вращения якоря (  $n$  ) главного электродвигателя черновой клети – электродвигателя привода рабочих валков;
- вертикальной проекции составляющей усилия прокатки (  $P_1$  ), воспринимаемого узлами и механизмами с неприводной стороны рабочей клети;

- вертикальной проекции составляющей усилия прокатки (  $P_2$  ), воспринимаемого узлами и механизмами с приводной стороны рабочей клетки;
- крутящего момента (  $M_g$  ), передаваемого верхним шпинделем от комбинированного редуктора – шестеренной клетки до верхнего рабочего вала;
- крутящего момента (  $M_n$  ), передаваемого нижним шпинделем от комбинированного редуктора – шестеренной клетки до нижнего рабочего вала.

Необходимость записи тока главного электродвигателя черновой клетки определяется тем, что данный параметр является обобщающим показателем уровня технологических нагрузок, и в дальнейшем, контроль величины загруженности главной линии стана можно будет вести по току двигателя с учетом скоростного режима без регистрации крутящих моментов. Кроме того, ток двигателя пропорционален величине крутящего момента на главном шпинделе – промежуточном валу, т.е. тем самым определяется фактическая загруженность этого узла привода валков.

Скоростной режим прокатки позволяет оценить длительность процесса, скорость деформации, длительность пауз, а также связать длину полос и режим их прокатки с температурой.

Усилие прокатки является важнейшей характеристикой уровня загрузки элементов собственно рабочей клетки. Также, через усилие прокатки при известных параметрах очага деформации могут быть определены величины крутящих моментов в главной линии черновой клетки, оценены динамические процессы, происходящие в рабочей клетке стана, а также рассчитаны температурные поля по длине прокатываемых заготовок. Кроме того, регистрация усилий с использованием штатных месдоз может осуществляться на постоянной основе, в отличие от системы регистрации крутящих моментов. Усилие прокатки необходимо регистрировать как с приводной, так и с приводной стороны клетки. Это позволит оценить возможный дисбаланс усилий по краям полосы, и тем самым проверить качество нагрева полосы по ширине.

Регистрация двух крутящих моментов на шпинделях позволит, с одной стороны, дать оценку динамическим явлениям, протекающим на различных участках главной линии стана, а с другой стороны, определить реальный уровень технологических нагрузок и распределение крутящих моментов между зубчатыми шпинделями привода валков.

Дополнительно для каждой прокатываемой партии листов таблично необходимо фиксировать следующие параметры:

- номер партии (по паспорту партии),
- марка сплава (по паспорту партии)
- номер плавки (по паспорту партии),
- размеры исходной заготовки (по паспорту партии),

- температура установки печи (по штатным контрольно-измерительным приборам печи),
- нормативная длительность нагрева,
- число проходов и схема обжатий,
- специальные условия прокатки.

Периодически табличным способом необходимо контролировать температурный режим прокатки, а именно замерять температуру прокатываемых листов, а также регистрировать температуру валков. В дальнейшем это позволит сопоставить данные о температурных полях листов, полученных через усилие прокатки с реальными значениями температуры полос. Данные о температуре валков позволят в расчетных алгоритмах сделать поправку на изменение модуля упругости материала валков, и тем самым повысить точность определения геометрии очага деформации.

Экспериментальное исследование необходимо выполнить в различных температурно-деформационных условиях, для чего необходимо провести регистрацию указанных параметров как для сплавов, прокатываемых в теплом состоянии, так и для сплавов, деформируемых без предварительного нагрева. Для сплавов, прокатываемых в теплом состоянии, исследование должно проводиться с учетом механических характеристик металла, а именно для сплавов с низким, средним и высоким сопротивлением деформации. Также необходимо рассмотреть различные режимы деформации, а именно: прокатку полос различной толщины и ширины штучным способом, а также сдвоенную и строенную прокатку при различных скоростях.

Тимофеев М.А.  
Антонов В.Е., инженер  
Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В настоящее время рост объемов производства титановых сплавов вызывает необходимость создания линий, производящих несколько смежных операций, т.е. создание "сквозного" вспомогательного технологического процесса.

Объектом рассмотрения является технологическая линия для центровки и мойки слитков в плавильно-литейном комплексе ОАО "Корпорация ВСПО-АВИСМА". В данном комплексе осуществляется выплавка титановых слитков диаметрами 260-870 мм, дальнейшая их мойка, механическая обработка, шоопирование (металлизация), выходной контроль, УЗК. Немалое количество времени затрачивается на перевозку слитков между технологическими отделениями цеха, что осуществляется транспортными механизмами, а также мостовыми кранами.

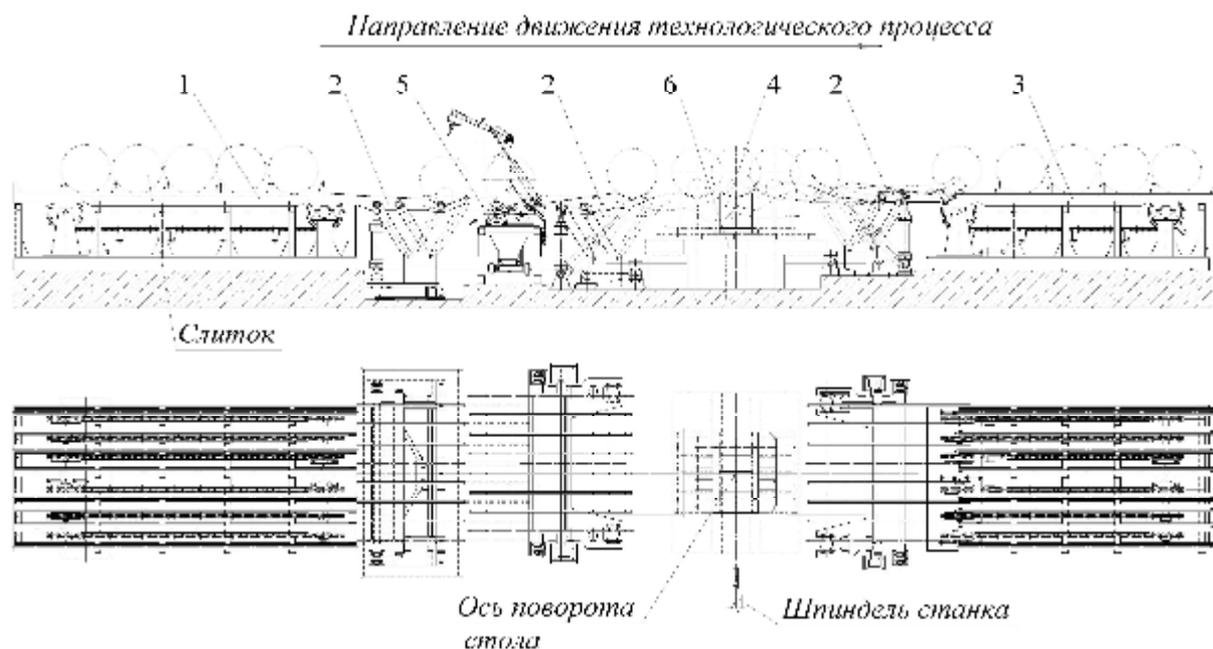


Рис. 1. Технологическая схема процесса мойки и центровки слитков ВДП (вакуумно-дугового переплава)

1-загрузочное устройство; 2-передающе устройство; 3-стеллаж-накопитель; 4-призма; 5-машина моечная; 6-стол подвижный горизонтально-расточного станка мод. 2А662Ф11

На данной технологической схеме (рис. 1) представлена линия "сквозной" отделки слитка, в результате чего он моется и центруется с обоих торцов для дальнейшей механической обработки ("обдирки"). На этой линии слиток проходит следующие стадии: краном слитки укладываются на

загрузочное устройство 1, перекадываются с помощью передающего устройства 2 на моечную машину 5, и далее на призмы станка. Завершается процесс передачей слитка на стеллаж-накопитель 3. Загрузочное устройство и стеллаж-накопитель имеют возможность накопления до 5 слитков. Особенностью данной схемы является, во-первых, то, что рычаги передающих устройств осуществляют перекадку по концентрической траектории с помощью гидроцилиндров, тем самым не вызывая ударов на оборудование при укладке. Во-вторых, исключается работа крана и отпадает необходимость в дополнительной перевозке слитка в другие цеховые отделения для окончательной подготовки его к механической обработке.

Федулов А.А., аспирант  
Паршин В.С., проф., д-р техн. наук  
Некрасов И.И., доц., канд. техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ И ПОЛОС С ОРЕБРЕНИЕМ

На кафедре МиРМ проводятся работы по исследованию параметров формоизменения металла, искажения профиля оребрения и энергосиловых параметров процесса оребрения.

Профиль оребрения является профилем переменного сечения. Наиболее эффективным способом производства профилей переменного сечения является метод прокатки листов и полос в прокатных валках. Процесс производства профилей переменного сечения методом прокатки в валках относится к асимметричным периодическим случаям продольной прокатки.

Обзор существующих теоретических исследований процессов асимметричной и периодической прокатки листов и полос показал, что отсутствуют решения, учитывающие нахождение в очаге деформации нескольких периодов профиля оребрения, упрочнение металла при холодном деформировании, а также периодический характер процесса и наличие натяжения концов полосы. Подобные упрощения не позволяют получить надежные результаты. Образование зон опережения и отставания рассматривается отдельно, хотя при накатке выступов их форма и размеры зависят одновременно от величины отставания и опережения. Исследования не учитывают переменный характер величин опережения и отставания при прокатке полос с резкими поперечными выступами и впадинами, а также влияние формы накатываемого выступа на величину его подреза в результате опережения металлом поверхности валков на выходе из очага деформации. Все это вызывает необходимость постановки и решения новой теоретической задачи определения формоизменения и энергосиловых параметров процесса прокатки полос с поперечным односторонним оребрением. Теоретические исследования основываются на вариационных принципах механики сплошных сред.

Для решения новой теоретической задачи необходимо создание математической модели, которая описывает процесс прокатки листов и полос с односторонним поперечным оребрением. С помощью математической модели должны быть получены параметры формоизменения металла и энергосиловые параметры процесса в зависимости от геометрии инструмента и режимов обжатий, необходимые для выбора соответствующего прокатного оборудования и инструмента и назначения режимов обработки.

Савинов Д.В., студент  
Черненко А.Г., доц., канд. техн. наук

## КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СТАЛИ ПО РЕЗИНЕ

В подъемно-транспортных машинах широко используются механизмы, передающие движения и усилия благодаря трению в парах канат – блок или транспортерная лента – стальной барабан. Для повышения нагрузочной способности этих машин путем увеличения коэффициента трения в названных парах металлические блоки, как правило, футеруют резиной, а наружную поверхность транспортерных лент выполняют из резины. Для проведения достоверных расчетов этих механизмов необходимо точное знание коэффициента трения между названными материалами. В литературе, как правило, даются ориентировочные значения коэффициента трения без учета условий работы механизмов. Так, например, для расчета подвесных канатных дорог А.И. Дукельский рекомендует принимать коэффициент трения стального каната по резине  $f = 0,25$ .

Настоящая работа посвящена экспериментальному определению коэффициента трения стального каната по резине и резины по стальному барабану с учетом влияния на его величину внешних факторов, таких как температура, влажность и прочее.

Экспериментальная установка (см. рисунок) представляет собой неподвижный цилиндр и уравновешенный на нем гибкий элемент. Эксперименты проводились на двух установках, они отличались диаметром и материалом наружной поверхности цилиндра, а также формой поперечного сечения и материалом гибкого элемента.

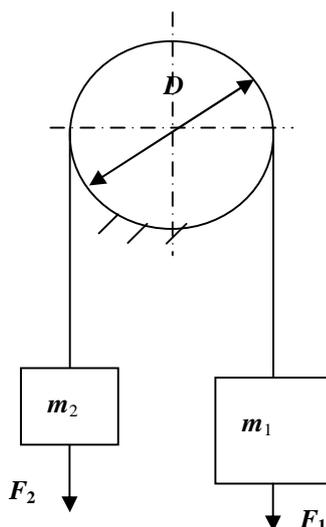


Схема экспериментальной установки

На первой установке использовался металлический цилиндр диаметром  $D = 138$  мм, футерованный резиновым кольцом с полукруглой канавкой, в качестве гибкого элемента стальной трос  $d = 2$  мм; радиус канавки на кольце

равен 3 мм. На второй установке плоский резиновый ремень шириной  $b = 5\text{ мм}$  располагался на гладком металлическом цилиндре диаметром  $D = 68\text{ мм}$ .

Один конец гибкого элемента нагружался усилием  $F_1$ , на другой – усилием  $F_2$ .

$$F_1 = m_1 g, F_2 = m_2 g,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

В начале каждого опыта массы грузов  $m_1$  и  $m_2$  были равны. В процессе эксперимента величина груза  $m_1$  постепенно увеличивалась до начала скольжения гибкого элемента по цилиндру. Коэффициент трения определяем по формуле Эйлера

$$f = \frac{\ln(F_1/F_2)}{\alpha},$$

где  $\alpha$  – угол обхвата цилиндра, рад. В опытах угол  $\alpha = \pi$ .

Для каната по формуле Эйлера определяется приведенный коэффициент трения  $f'$ , учитывающий круглую форму поперечного сечения каната.

Эксперименты проводились при различных условиях: менялась температура окружающей среды; варьировались массы грузов, испытания проводились как без смазки, так и при наличии смазки между трущимися поверхностями. Результаты экспериментов приведены в таблице.

#### Результаты опытов

№	Температура среды, °С	Наличие смазки	Силы, Н		$F_1 / F_2$	Коэффициент трения
			$F_1$	$F_2$		
Установка 1						
1	24	без смазки	19600	5052	3,88	0,43
2	24	без смазки	31062	6062	5,12	0,50
3	0	без смазки	15153	5052	2,99	0,34
4	– 4	без смазки	13456	5052	2,66	0,31
5	24	вода	22991	7073	3,39	0,39
6	24	густая смазка	13253	7073	1,87	0,20
Установка 2						
7	24	без смазки	6069	1011	6	0,57
8	24	без смазки	11114	2021	5,5	0,54
9	24	без смазки	14145	3031	4,66	0,49
10	24	без смазки	19197	4041	4,75	0,496
11	24	без смазки	24230	5052	4,796	0,50
12	24	вода	7072	2021	3,5	0,40

#### Выводы:

1. Приведенный коэффициент трения  $f'$  стального каната по резине зависит от температуры, с понижением температуры коэффициент трения

падает. Так при снижении температуры окружающей среды с  $+24^{\circ}\text{C}$  до  $-4^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения уменьшился почти в 1,4 раза.

2. При росте сил натяжения наблюдается увеличение приведенного коэффициента сухого трения стального каната по резине. Так в опытах 1 и 2 при росте силы натяжения  $F_2$  на 20% коэффициент трения повысился на 16%.

3. При трении резинового ремня по гладкому металлическому цилиндру наблюдается противоположная картина: при увеличении силы натяжения  $F_2$  в 5 раз (в опытах 7...11) коэффициент трения уменьшился всего на 12%.

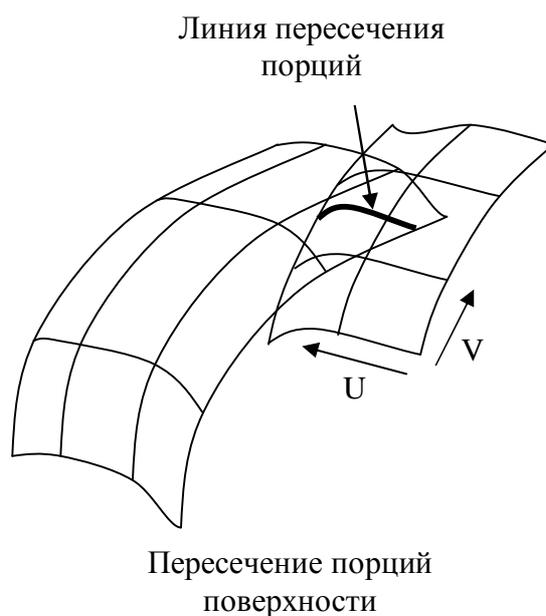
4. При наличии в зоне контакта смазки в виде воды или масла коэффициент трения падает, номер опыта 5, 6, 12.

5. При выполнении расчетов ленточных конвейеров и подъемно-транспортных установок с канатоведущим шкивом необходимо учитывать влияние температуры окружающей среды и других факторов, на коэффициент трения в паре сталь – резина.

Чернышов А.С., студент  
Куреннов Д.В., доц., канд. техн. наук

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОРЦИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В рамках проекта, связанного с разработкой системы геометрического моделирования трехмерных объектов, существует необходимость решения задачи выполнения булевых операций (объединение, вычитание, пересечение) над базовыми геометрическими объектами (куб, сфера, тор, конус, цилиндр), а также над объектами, полученными методами вращения и выдавливания плоского контура. Основной подзадачей в составе указанной выше задачи является задача построения линии пересечения. Учитывая тот факт, что в качестве основы для представления геометрической информации в системе используется метод Безье, задача построения линии пересечения сводится к нахождению линии пересечения двух порций поверхности, заданных в форме Безье.



Даны две пересекающиеся порции поверхности. Требуется построить линию их пересечения (см. рисунок), определяемую характеристической ломаной, которая содержит 4 точки.

Для 1 порции находим 12 ее точек, лежащих ее на краю. Т.е. один из параметров  $V$  или  $U$  должен быть 1 или 0, а второй изменяться от 0 до 1 с некоторым шагом.

Для второй находим 16 равномерно распределенных точек. Таким образом, получаем два набора по 12 и 16 точек. Далее находим пару точек (по одной из каждого набора) с минимальным расстоянием друг от друга (получаем по одной точке на каждой порции). Затем уменьшаем шаг и находим точки в ближайшей окрестности этой пары. Среди них находим две

ближайшие точки. Повторяем процедуру пока расстояние между точками не станет меньше требуемой точности. В результате получаем первую крайнюю точку линии пересечения. Поменяв разбиение местами (на первой находим 16 равномерно распределенных точек, на второй 12, лежащих на краю) и выполняя последовательность второй раз, находим вторую крайнюю точку линии. Методом половинного деления находим оставшиеся точки линии пересечения порций. При достаточном их количестве можно аппроксимировать набор точек характеристической ломаной.

Чирков М.Б., аспирант  
Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  
Михайленко А.М., доц., канд. техн. наук

## ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОКАТКЕ

В отличие от листовой и сортовой прокатки, когда размеры сечения исходного и прокатанного металла не меняются, при прокатке колец раствор валков (как аксиальной, так и радиальной клетей) непрерывно изменяется. Это позволяет значительно сократить время деформации кольца и повысить равномерность распределения деформации по длине заготовки по сравнению со ступенчатым изменением раствора в клетях.

В процессе прокатки длина средней линии заготовки увеличивается, но из-за того, что в общем случае толщина стенки заготовки различная, то форма средней линии заготовки будет отличаться от окружности. Это можно объяснить тем, что при росте диаметра кольца радиус его кривизны будет изменяться неравномерно из-за разного сопротивления изгибу по длине кольца (из-за переменного поперечного сечения кольца). Таким образом, максимальная скорость роста радиуса кривизны кольца будет наблюдаться в области выхода из очага деформации (с поперечным сечением минимальной площади). Если бы заготовка не была замкнутой, то можно сказать, что ее форма стремилась бы к спирали. Но она замкнута и при деформации заготовки в РК одновременно с прокаткой происходит и правка: кольцо попадает в очаг деформации, имея радиус  $R_0$ , а выходит из него с радиусом  $R_1$ , при этом  $R_0 < R_1$  (рис. 3). Таким образом, из-за переменного раствора валков прокатываемая заготовка имеет форму кольца с переменным сечением и радиусом кривизны по длине.

Большая часть кольцепрокатного оборудования в России произведена более 15 лет назад и имеет крайне ограниченные вычислительные возможности систем управления. Поэтому в этих системах размеры заготовки определяются из допущения, что она имеет форму тора с прямоугольным поперечным сечением (рис. 1).

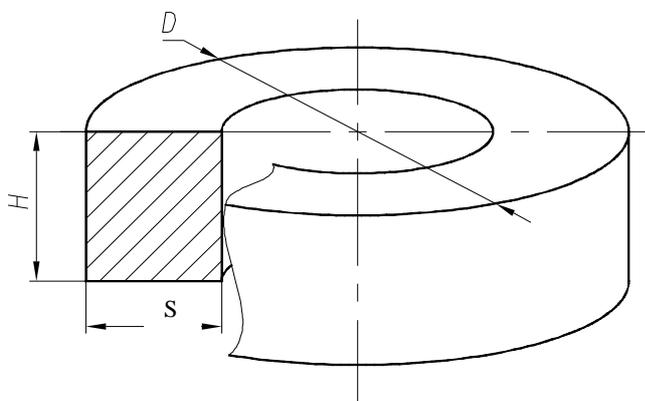


Рис. 1. Условная геометрия кольца на устаревших СУ КПС

Масса такого кольца:

$$m = \pi \cdot \rho \cdot H \cdot B \cdot (D - S), \quad (1)$$

где  $D$  - внешний диаметр кольца,

$H$  - высота кольца,

$S$  - ширина стенки кольца.

Исходя из исходных и конечных размеров заготовки, технолог назначает основной график прокатки (рис. 2).

$$H = f_{HB}(B). \quad (2)$$

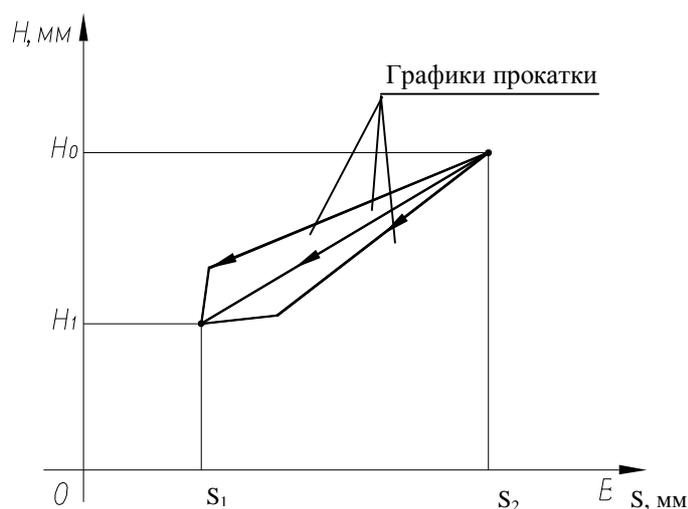


Рис. 2. Основной график прокатки

Решив систему из уравнений (1) и (2), получаем усредненную высоту и толщину заготовки  $H_{CP}$  и  $S_{CP}$ .

Раствор РК можно определить из выражения:

$$S_1 = S_{CP} - \Delta S, \text{ где } \Delta S = f_{\Delta S}(D)$$

- обжатие кольца в РК, задается оператором в зависимости от внешнего диаметра.

При заданном законе изменения раствора РК  $S_1 = f(D)$  находим по формуле (2) закон изменения раствора АК:

$$H_1 = f_{HB}(S_1)$$

и обжатие в АК:

$$\Delta H = H_{CP} - H_1.$$

Определение размеров заготовки по описанной методике приводит к низкой точности размеров получаемых деталей и вынужденному использованию ручного режима управления, что снижает производительность и увеличивает значение квалификации оператора.

Вычислительные, измерительные и функциональные возможности современных СУ позволяют значительно сократить долю ручного управления и увеличить точность регулировки рабочих органов стана. Но для реализации этого потенциала необходимо знать форму заготовки в каждый момент времени. Форму кольца при непрерывном характере изменения

положения валков имеющиеся датчики определить не в состоянии. Поэтому для нормальной работы АСУ, позволяющей получать готовые кольца требуемой точности в автоматическом режиме, необходимо разработать методику определения формы кольцевой заготовки.

Для определения закономерностей формоизменения кольца рассмотрим случай прокатки только в РК. Такой метод прокатки возможен на практике, кроме того, закономерности формоизменения для АК и РК подобны.

В исследуемом КПС применяется система центрирования заготовки, что позволяет уменьшать овальность и отклонение заготовки от оси стана при прокатке. Кроме того, скорости прокатки в АК и перемещения АК согласуются таким образом, чтобы максимально придать заготовке круглую форму.

Поэтому все последующие рассуждения основываются на нескольких допущениях:

- Прокатка происходит только в РК.
- Форма средней линии заготовки – окружность.
- Уширение заготовки при прокатке отсутствует.
- Отклонение заготовки от оси стана отсутствует.

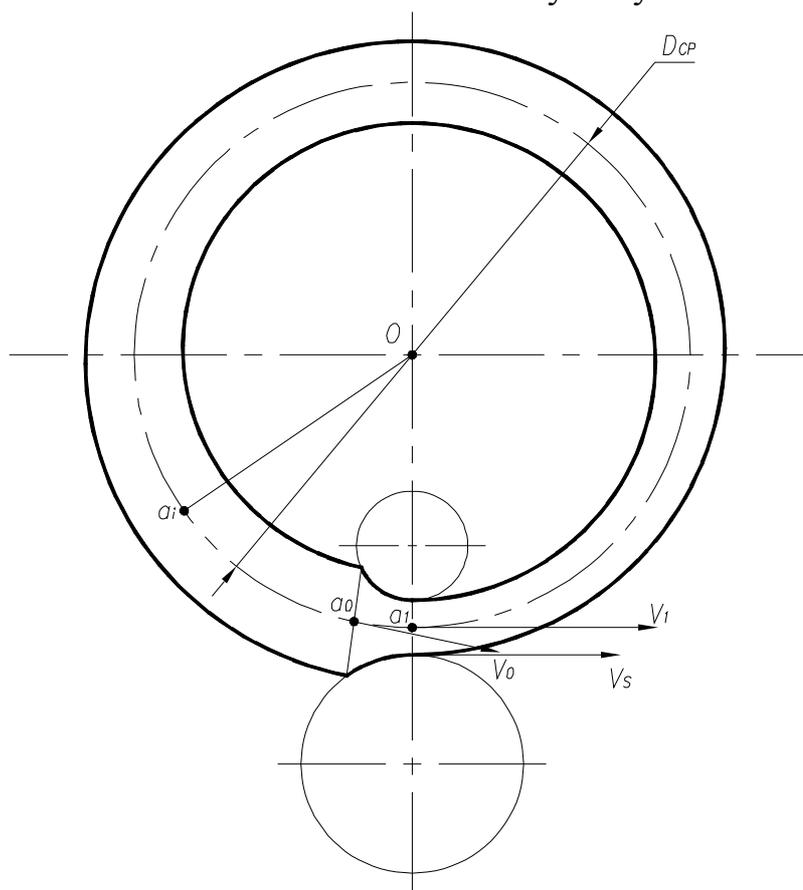


Рис. 3. Прокатываемая заготовка

Как правило, оператор КПС перед прокаткой задает:

1)  $V_{DCP} = f_{DCP}(t)$  - зависимость скорости роста среднего диаметра заготовки от времени,

2)  $V_s = f_s(t)$  - зависимость скорости передвижения дорн-вала от времени.

В этом случае зависимость окружной скорости главного вала от времени не задается. Для однозначного определения формы кольца требуется найти эту зависимость:  $V_B = f_B(t)$ .

$S_1$  - толщина кольца на выходе из очага деформации, определяется из следующего выражения (контролируется по показаниям датчика положения дорн-вала):

$$S_1 = \int V_s \cdot dt = \int f_s(t) \cdot dt .$$

Средний диаметр заготовки найдем из формулы:  $D_{CP} = \int V_{DCP} \cdot dt$ .

Длина средней линии заготовки:  $L = \pi \cdot D = \pi \cdot \int V_D \cdot dt$ .

Суммарная длина прокатанного металла (длина проката):

$$l_{ПП} = \int_0^t V_1 \cdot dt = (1+s) \int_0^t V_B \cdot dt = (1+s) \int_0^t f_B(t) \cdot dt ,$$

где  $s$  – опережение.

Тогда общая масса прокатанного металла:

$$m_{ПП} = \rho \cdot H \cdot \int_0^l S_1 \cdot dl_{ПП} = \rho \cdot H \cdot (1+s) \int_0^t \left[ \int f_s(t) \cdot dt \right] \cdot f_B(t) \cdot dt ,$$

где  $\rho$  - плотность металла заготовки.

Число оборотов кольца  $n = \frac{m_{ПП}}{m_3}$ , где  $m_3$  - масса заготовки.

Зная продолжительность прокатки  $t_1$ , запишем уравнение для массы проката, равной массе заготовки.

$$m_3 = \rho \cdot H \cdot (1+s) \int_{t_0}^{t_1} \left[ \int f_s(t) \cdot dt \right] \cdot f_B(t) \cdot dt ,$$

где  $t_0$  – время, когда металл, заходящий в валки, выходил из них ( $t_1$  минус период прокатки)

Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} V_1 - V_0 = \pi \cdot V_{DCP} \\ \frac{V_1}{V_0} = \frac{S_0}{S_1} \\ m_3 = \rho \cdot H \cdot (1+s) \int_{t_0}^{t_1} \left[ \int f_s(t) \cdot dt \right] \cdot f_B(t) \cdot dt \\ S_0 = \int f_s(t_0) \cdot dt \end{cases}$$

Решение:

$$m_3 = \rho \cdot H \cdot \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\pi \cdot V_D \cdot \left[ \int V_s \cdot dt \right]}{1 - \frac{S_1}{\int f_s(t_0) \cdot dt}} \right] \cdot dt ,$$

откуда находим  $t_0$ .

$$\text{Затем } S_0 \text{ по формуле: } S_0 = \int f_3(t_0) \cdot dt ,$$

$$\text{скорость выхода металла из очага: } V_1 = \frac{\pi \cdot V_D}{1 - \frac{S_1}{S_0}} ,$$

$$\text{и скорость захода металла в очаг: } V_0 = \frac{S_1 \cdot V_1}{S_0} .$$

Из полученных величин можно определить остальные неизвестные геометрические параметры кольца.

Таким образом, в данной работе предлагается методика определения основных геометрических параметров кольцевой заготовки при прокатке, учитывающая основные особенности ее формоизменения, без которых невозможно определить основные параметры процесса прокатки.

Чирков М.Б., аспирант  
Беляев С.Ю., доц., канд. техн. наук  
Михайленко А.М., доц., канд. техн. наук

## КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ КОЛЬЦЕПРОКАТНОГО СТАНА

Большая часть кольцепрокатного оборудования в России произведена более 15 лет назад и имеет крайне ограниченные вычислительные возможности систем управления. Поэтому в этих системах размеры заготовки определяются из допущения, что она имеет форму тора с постоянным прямоугольным сечением по длине заготовки. При определении текущих размеров прокатываемой заготовки для реализации возможностей современных АСУ необходимо учитывать непостоянство сечения по длине заготовки.

Так, для точного управления приводами центрирующих роликов и приводом перемещения АК необходимо определить линейную скорость кольца в точках контакта с ЦР и датчиком наружного диаметра заготовки. Таким образом, требуется разработать метод определения линейной скорости кольца в любой точке на ее поверхности, учитывая особенности ее формы.

В процессе прокатки длина средней линии заготовки увеличивается, но из-за того, что в общем случае толщина стенки заготовки различная, то форма средней линии заготовки будет отличаться от окружности.

В исследуемом КПС применяется система центрирования ЦР, что позволяет уменьшать овальность и отклонение заготовки при прокатке. Кроме того, скорости прокатки в АК и перемещения АК задаются таким образом, чтобы максимально придать заготовке круглую форму.

Последующие рассуждения основываются на нескольких допущениях:

- Прокатка осуществляется только в РК.
- Форма средней линии заготовки – окружность.
- Уширение заготовки при прокатке отсутствует.
- Отклонение заготовки от оси стана отсутствует.

Произвольно выбранная точка на средней линии заготовки  $a_i$  совершает сложное плоское движение (см. рисунок). Введем подвижную систему координат (ПСК I), центр которой совпадает с центром средней линии заготовки С.

Тогда скорость этой точки будет равна сумме скоростей центра ПСК I и скорости движения точки относительно этого центра:  $\vec{V}_a = \vec{V}_C + \vec{V}_a^C$ .

Пусть  $V_B$  - окружная скорость главного вала,

$V_S$  - скорость перемещения дорн-вала (обжатия в РК),

$V_o$  - линейная скорость заготовки при входе в очаг деформации,

$V_1$  - линейная скорость заготовки на выходе из очага деформации,

$V_{DCP}$  - скорость роста диаметра средней линии заготовки.



$$V' = -\frac{D_{CP}}{2} \cdot \omega' = -\frac{l}{D_{CP}} \cdot V_{D_{CP}},$$

где  $V'$  - дополнительная касательная скорость, возникающая вследствие того, что длина дуги  $a_1a_i$  остается постоянной при увеличении диаметра. Точка  $a_i$  будет перемещаться вдоль средней линии.

$$V_{\tau}^C = V_1 - \frac{l}{D_{CP}} \cdot V_{D_{CP}} = V_1 - \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot V_{D_{CP}},$$

$$D_{CP} = \frac{L}{\pi},$$

где  $L$  - длина средней линии заготовки,

$$\frac{d}{dt} D_{CP} = \frac{d}{dt} \cdot \frac{L}{\pi} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{dL}{dt},$$

$$V_{D_{CP}} = \frac{1}{\pi} \cdot V_L,$$

где  $V_L$  - скорость роста средней линии, равная:

$$V_L = V_1 - V_0 + V_{i_B},$$

где  $V_{i_B}$  - скорость изменения дуги контакта (принимаяем  $V_{i_B} = 0$ ).

$$V_0 = V_1 - V_L = V_1 - \pi \cdot D_{CP}$$

Таким образом, проекции скорости точки  $a$ , лежащей на средней линии заготовки, на оси  $X$  и  $Y$ :

$$V_a^Y = V_n^C - V_C \cdot \cos \varphi = \frac{V_{D_{CP}}}{2} - \frac{V_{D_{CP}} + V_S}{2} \cdot \cos \varphi = \frac{V_{D_{CP}} \cdot (1 - \cos \varphi) - V_S \cdot \cos \varphi}{2},$$

$$V_a^X = V_{\tau}^C - V_C \cdot \sin \varphi = V_1 - \frac{l}{D_{CP}} \cdot V_{D_{CP}} - \frac{V_{D_{CP}} + V_S}{2} \cdot \sin \varphi,$$

$$V_a = \sqrt{V_a^{X^2} + V_a^{Y^2}}.$$

Для точки  $b$ , лежащей на внешней поверхности кольца:

$$V_{bi}^Y = V_{ai}^Y = \frac{V_{D_{CP}} \cdot (1 - \cos j) - V_S \cdot \cos j}{2},$$

$$V_{bi}^X = \frac{D_{CP} + S_i}{D_{CP}} \cdot \left( V_1 - \frac{l}{D_{CP}} \cdot V_{D_{CP}} \right) - \frac{V_{D_{CP}} + V_S}{2} \cdot \sin \varphi,$$

$$V_{bi} = \sqrt{V_{bi}^{X^2} + V_{bi}^{Y^2}}.$$

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Ханина А.Б., аспирант  
Алехин В.Н., проф.

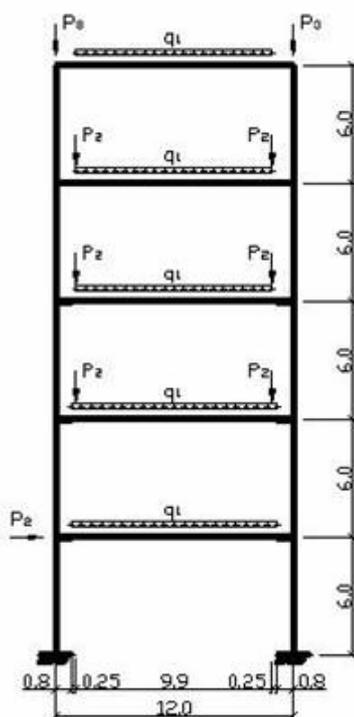
## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ РИСКА ИХ ЛАВИНООБРАЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Проблема безопасности и экономичности зданий и сооружений относится к числу основных проблем, выдвинутых на первый план непрерывно увеличивающимся объемом строительства в нашей стране. В последнее время активно обсуждаются методы расчета конструкций зданий и сооружений с учетом риска лавинообразного разрушения. Как отмечается в, необходимы разработки по развитию усовершенствованной методики оценки уязвимости конструктивных систем и их совершенствования для смягчения последствий лавинообразного обрушения при различных вариантах опасности. Инженеры нуждаются в простых методах проектирования и расчетов, способных предотвратить потенциальную опасность лавинообразного обрушения зданий. В свете необходимости снижения материалоемкости строительства, повышения требований к качеству проектирования особенно актуальной становится задача внедрения в практику проектирования алгоритмов и программ автоматизированного подбора оптимальных решений. В работе рассмотрена концепция создания экспертной системы (ЭС) оптимального проектирования конструкций зданий и сооружений с учетом риска лавинообразного разрушения этих конструкций.

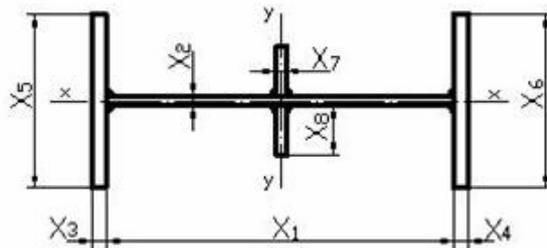
В США, Германии, Японии и других развитых странах разработаны и функционируют сотни систем поддержки принятия решений интеллектуального типа (базирующиеся на ЭС) в различных областях строительства: в проектировании гражданских и промышленных объектов; организационно-технологической подготовки и управления строительством; экологии, предотвращении и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. В России академические и отраслевые институты разрабатывают ЭС в сфере инвестиционно-строительного процесса, ряд из них находится в эксплуатации.

Концептуальное решение предлагаемой экспертной системы для расчета конструкций с учетом риска прогрессирующего обрушения рассмотрено на примере проектирования многоэтажной стальной рамы, представленной на рисунке.

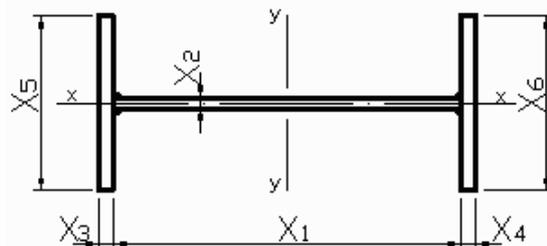
Расчетная схема многоэтажной рамы (размеры даны в метрах)



Оптимизируемое сечение колонны



Оптимизируемое сечение ригеля



$$X = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ X_4 \ X_5 \ X_6 \ X_7 \ X_8]$$

Оптимизируемая стальная рама

Экспертная система содержит следующие основные компоненты: решатель (интерпретатор), рабочую память (РП), именуемую также базой данных (БД), базу знаний (БЗ), компоненты приобретения знаний, объяснительный компонент, диалоговый компонент.

Основу ЭС составляет база знаний, которая закладывается во время ее разработки и может уточняться и расширяться при использовании по мере утверждения новых строительных норм, появления новых рекомендаций по проектированию конструкций. БЗ разрабатывается во взаимодействии с ведущими специалистами и представляет собой свод квалифицированных мнений (правил) и постоянно обновляющийся справочник наилучших методов и стратегий, используемых для решения конкретных задач. Экспертную систему предусмотрено построить на основании четких правил и рекомендаций зарубежных и отечественных строительных норм, с учетом таких документов, как «Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях», Москомархитектура, 2002, и СНиП 21-01-97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений» и тому подобных, а также европейских стандартов и мирового опыта аварий зданий и сооружений. С помощью ЭС собирается и систематизируется требуемая исходная информация по объекту: тип, размеры, этажность, уровень ответственности, функциональное назначение, специфика происходящих в нем процессов при эксплуатации, местоположение, грунтовые условия, размещение и т.д. База данных при необходимости уточняется. Посредством диалога с пользователем, на основании сценарного подхода и базы знаний ЭС, задача формализуется. Как справедливо отмечено, небольшие строения, габариты

которых сопоставимы с размерами «локальных» повреждений, не имеет смысла проверять на возможность прогрессирующего разрушения. Осуществляется отбор объектов анализа согласно классификации зданий и сооружений по следующим признакам:

1. Объекты класса 1, при проектировании которых возможность возникновения аварийных ситуаций не принимается во внимание.

2. Объекты класса 2, в которых все конструкции могут быть защищены от аварийных повреждений за счет увеличения несущей способности или применения защитных устройств.

3. Объекты класса 3, некоторые конструктивные элементы которых невозможно защитить от аварийных повреждений, что потребует проверки на прогрессирующее разрушение.

На следующем этапе блок решателя ЭС, согласно введенным пользователем данным, относит здание к тому или иному классу, в зависимости от габаритов рассматриваемой конструкции и списка возможных аварийных ситуаций. ЭС по согласованию с пользователем выбирает один из трех возможных вариантов: расчет конструкции без учета лавинообразного разрушения; расчет конструкции без учета лавинообразного разрушения с указанием возможных превентивных мер защиты сооружения, либо расчет конструкции с учетом аварийной ситуации, но при условии сохранения целостности конструкции; третий вариант- расчет с учетом лавинообразного обрушения конструкции, то есть с удалением из расчетной схемы некоторых элементов. Удаляемые элементы выбираются в зависимости от исходной информации об объекте. Это означает, что, например, при размещении в здании взрывчатого вещества, опасности подвергнуты прежде всего элементы, находящиеся в непосредственной близости от него. Расчет конструкции ведется с учетом возможного разрушения этих элементов.

Полученные от ЭС советы по корректировке исходной расчетной схемы конструкции (нагрузки от аварийных воздействий, исключение из расчетной схемы некоторых элементов конструкции) пользователь может применить для расчета объекта в одном из доступных расчетных программных комплексов. На основе полученных усилий в элементах конструкции предусмотрена возможность оптимизации этих элементов на основе генетического алгоритма, хорошо зарекомендовавшего себя эвристического метода поиска решений.

Постановка задачи оптимизации формулируется как определение проектных параметров  $\{x_1 \dots x_n\}$  элементов стального каркаса здания по критерию минимума объема конструкции при выполнении ограничений по прочности, жесткости, местной и общей устойчивости.

ГА начинает работу с некоторого случайного набора исходных решений, который называется популяцией. Каждый элемент популяции именуется хромосомой и представляет решение проблемы в первом приближении:

$X = \{x_1 \dots x_n\}$ . Таким образом, гены хромосомы - это проектные параметры сечений оптимизируемых элементов конструкции.

Хромосомы эволюционируют на протяжении множества итераций, носящих название поколений (или генераций). В ходе каждой итерации хромосома оценивается с использованием некоторой меры соответствия, которая именуется функцией приспособленности. Для создания следующего поколения новые хромосомы, называемые отпрысками, формируются либо путем скрещивания двух хромосом - родителей из текущей популяции, либо путем случайного изменения (мутации) одной хромосомы. Для реализации процедур скрещивания и мутации используются двоичные строки фиксированной длины. Новая популяция формируется путем выбора согласно функции цели некоторых родителей и отпрысков и удаления оставшихся для того, чтобы сохранять постоянным размер популяции. Хромосомы с большей функцией соответствия имеют больше шансов быть выбранными (выжить). После нескольких итераций алгоритм сходится к лучшей хромосоме, которая является либо оптимальным, либо близким к оптимальному решением.

В процессе работы пользователя с ЭС последняя обобщает накопленные знания в своей базе и предлагает пользователю рациональные пути решения поставленной задачи, приводя цепочку рассуждений и ссылки на параграфы нормативной документации. Заложенные в ЭС знания экспертов по расчету зданий с учетом прогрессирующего разрушения позволяют повысить качество проектирования, и, как следствие, надежность конструкций. Путем использования модуля оптимизации на основе генетического алгоритма решается задача нахождения оптимальных, либо близких к оптимальным параметров сечений оптимизируемых элементов конструкции.

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ФАКУЛЬТЕТА СТРОИТЕЛЬНОГО  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Пономаренко А.А., аспирант  
Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук  
Гашкова В.И., доц., канд. техн. наук

## СПОСОБ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ФТОРАНГИДРИТОВЫХ ОТХОДОВ

На ОАО «Полевской криолитовый завод» ежегодно образуется от 70 до 150 тыс. т фторангидритовых отходов, которые являются токсичными вследствие наличия в них свободной серной кислоты, адсорбированного фтороводорода. Поэтому такие отходы можно утилизировать после предварительной нейтрализации.

Исследования проводили с использованием фторангидрита, отобранного из реакционной печи с температурой 200°C, следующего состава: мас. %: 0,3 SiO<sub>2</sub>; 1,9 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,9 H<sub>2</sub>O<sub>крист.</sub>; 57,5 SO<sub>3</sub>общ; 27,3 Ca<sup>2+</sup>общ; 0,5 Fобщ; 91,5 CaSO<sub>4</sub>; 1,3 CaF<sub>2</sub>; 4,5 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Наличие во фторангидрите свободной серной кислоты обусловлено следующим:

- во-первых, ее избытком по отношению к дорогостоящему флюоритовому концентрату с целью достижения максимальной степени превращения в основной реакции получения фтористого водорода и экономии концентрата;
- во-вторых, отсутствием дозирующего устройства, контролирующего процесс подачи кислоты в печь;
- в-третьих, температурным режимом в самой печи.

На заводе используются вращающиеся барабанные печи с внутренним обогревом, поэтому выходящий фторангидрит имеет различный фракционный состав, размер отдельных его кусков может достигать 100 мм и более, а следовательно, и количество серной кислоты в разных фракциях тоже будет различным (табл. 1).

Таблица 1

Содержание серной кислоты во фракциях фторангидрита

Фракции, мм	Количество в пробе № 1		Количество в пробе № 2	
	Зерен	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , мас. %	Зерен	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , мас. %
Менее 5	54,4	2,78	31,0	5,80
5-20	45,6	5,80	22,2	5,10
20-40	-	-	16,9	6,77
40-60	-	-	21,5	6,08
60-80	-	-	8,4	6,37

Одним из условий, влияющих на фракционный состав фторангидрита и количество в нем серной кислоты, является температурный режим обжига в печи. Более высокие температуры способствуют образованию сильно обожженного относительно дисперсного фторангидрита с низким содержанием серной кислоты (до 4-4,5%), и, наоборот, при пониженной

температуре образуется кускообразный менее обожженный фторангидрит с достаточно высоким содержанием в нем серной кислоты. В первом случае процесс благоприятен для фторангидрита, с точки зрения улучшения его качества, но не благоприятен для продукционной плавиковой кислоты, так как возникают большие проблемы с разделением смеси двух кислот и в выпускаемой в этом случае фтороводородной кислоте неизбежно присутствует серная кислота. Во втором случае таких проблем не возникает, поскольку большая часть серной кислоты остается в ангидрите. В настоящее время на ОАО «Полевской криолитовый завод» нейтрализацию фторангидритовых отходов осуществляют пульпой известнякового молока и частично нейтрализованный материал перекачивают на шламохранилище при Ж:Т=10-15. Такой способ нейтрализации затрудняет последующую переработку техногенного ангидрита, так как требуется его сушка. Кроме того, данный способ нейтрализации фторангидрита весьма энергоемок, так как известняк берется с большим избытком и в процессе подготовки пульпы его размалывают в мельницах мокрого помола со значительным расходом электроэнергии и воды. Это приводит к образованию дополнительного количества сточных вод, а транспортирование приготовленной пульпы на расстояние более 1 км к месту выхода фторангидрита увеличивает себестоимость готовой продукции по причине частого ремонта шламовых линий.

Отраслевыми институтами «Уралгипрохим», «Унихим с ОЗ», а также Ир-кутский и Уральский филиалы «ВАМИ» совместно с «Гипроцемент» и «Сиб-НИИпроектцемент» был предложен ряд технологических схем, предусматривающих иную нейтрализацию фторангидритовых отходов и дальнейшую их утили-лизацию. В частности, рассматривалось сухое смешивание фторангидрита с из-вестковой или известняковой мукой, при котором, однако, прочные ангидрито-вые куски размером 40-80 мм не разрушались, а содержащаяся в них серная кислота не нейтрализовалась и общий остаток ее в материале составлял 2-2,5%. Для получения во фторангидрите не более 1%  $H_2SO_4$  и 0,3% HF проводили дополнительное его вылеживание в бункерах в течение 10-20 суток.

Другой способ нейтрализации фторангидрита заключается в измельчении фторангидрита в шаровой мельнице совместно с известьсодержащим компонен-том (известью, известняком, пылью цементных печей, феррохромовым саморас-спадающим шлаком). Схема нейтрализации фторангидрита, предложенная кафедрой «Технология неорганических веществ» УГТУ-УПИ и апробированная в течение восьми лет работы на опытно-промышленной установке позволила получать фторангидритовое вяжущее и поэтому для получения только гранулированного (транспортабельного) материала представляется нецелесообразной, так как в этом случае нейтрализатор брали в количестве 60-80% сверх стехиометрии, полная нейтрализация при этом наступала через 4 суток, а полученный порошок снова гранулировали, чтобы получить прочные гранулы для цементной промышленности.

Выполненная нами работа направлена на совершенствование технологии нейтрализации фторангидрита с целью улучшения его потребительских свойств для использования в производстве строительных материалов. Изучали возможности использования для нейтрализации фторангидритовых отходов ОАО «Полевской криолитовый завод» высокоактивного электросталеплавильного саморассыпающегося синтетического шлака от внепечной обработки стали ОАО «Северский трубный завод», содержащего 43,19%  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 31,48%  $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$ ; около 5,0%  $\text{MgO}$  и 18,03% стекловидной фазы включая периклаз. Предусмотрено дробление крупных кусков фторангидрита размером от 40 до 80 мм с использованием камневыделительных валцов с регулируемым зазором между валками и последующим опудриванием фторангидрита в присутствии 10-15 % воды на закрытом тарельчатом грануляторе шлаком с целью использования полученного продукта в качестве регулятора сроков схватывания цемента. В ноябре 2008 года на Северском трубном заводе начались горячие испытания нового сталеплавильного комплекса с электродуговой печью немецкой фирмы SMS Demag емкостью 135 тонн. Выход шлака составляет 1,5 т на тонну выплавленной стали. Теоретической предпосылкой, обосновывающей применение этого шлака для нейтрализации токсичных фторангидритовых отходов, послужил термодинамический расчет зависимости Энергии Гиббса реакций взаимодействия серной кислоты с минералами шлака от температуры в сравнении с аналогичным расчетом при использовании в качестве нейтрализатора  $\text{CaCO}_3$  и получаемой из него  $\text{CaO}$ . Графики, иллюстрирующие эти зависимости, приведены на рис. 1 и 2.

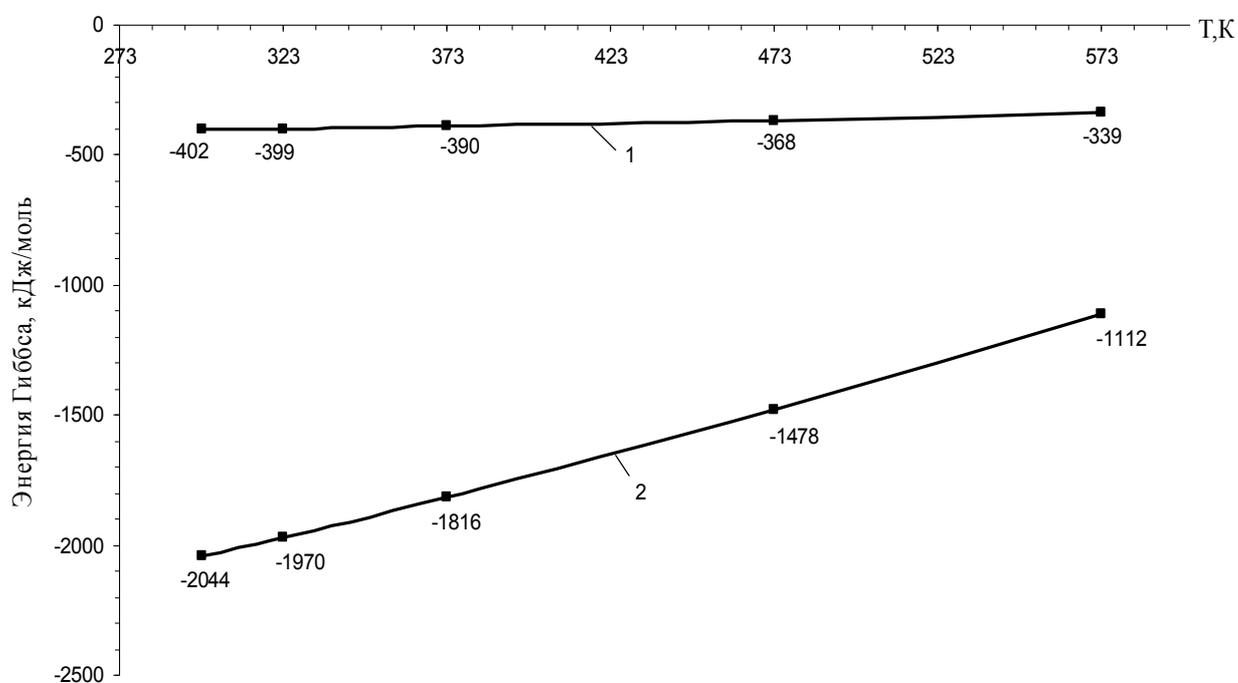
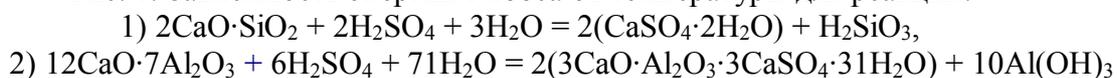


Рис. 1. Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций:



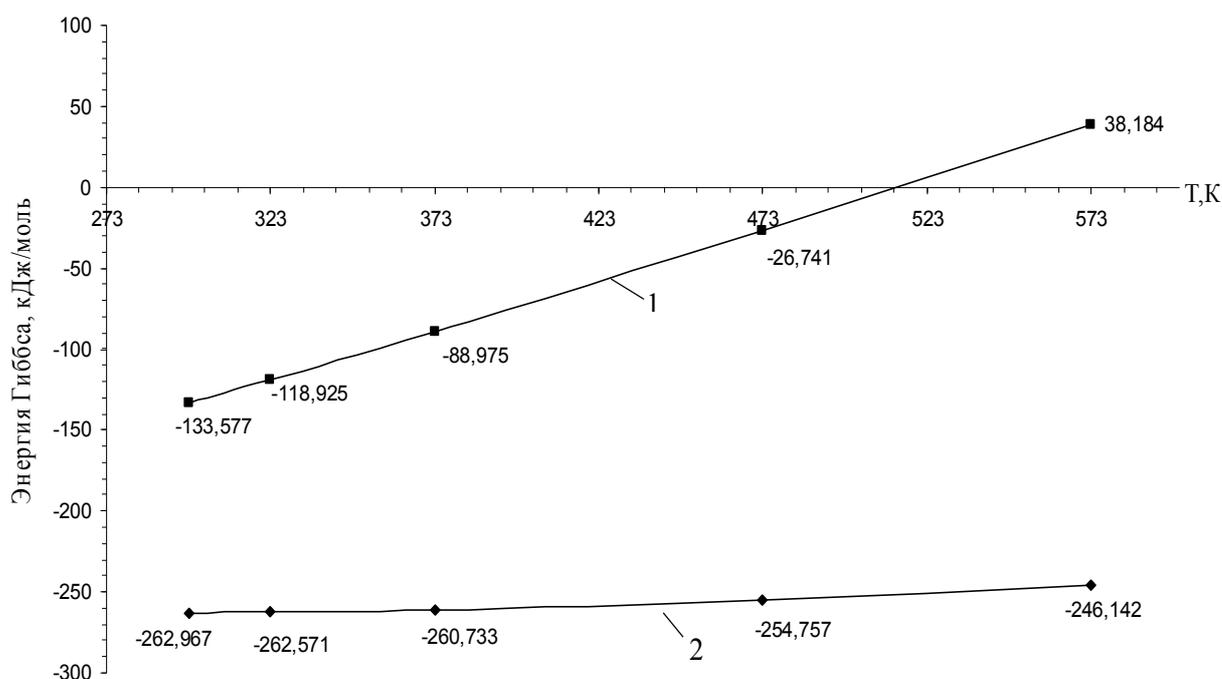


Рис. 2. Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций:  
 1)  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ,  
 2)  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Из представленных данных видно, что наименьшее значение энергии Гиббса достигается при использовании заявляемого шлака, причем температуры возможного протекания реакций намного превышают температуры образования фторангидритовых отходов, следовательно и скорость протекания реакций нейтрализации будет выше, чем в случае использования в качестве нейтрализатора  $\text{CaO}$  и  $\text{CaCO}_3$ . в традиционных схемах. Образующийся при нейтрализации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  упрочняет гранулы, а силикагель и гипс служат активными фазами, релаксирующими расширения при образовании  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$  в объеме  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , что подтверждается точечной начальной прочностью гранул 20-25 Н, которая в дальнейшем растет при условии воздушно-влажного хранения гранул вследствие дальнейшей гидратации ангидрита.

Для проведения испытаний по нейтрализации фторангидрита пробы № 2 с учетом колеблющегося фракционного состава приготовили массу на нейтрализацию, состоящую из 30% фракции < 5 мм, 20% фракции 5-20 мм, 20% фракции 20-40 мм и 30% фракции 40-80 мм. Для проведения нейтрализации пробы фторангидрита № 1 при стабильном фракционном составе всю имеющуюся массу сразу же помещали на тарельчатый гранулятор для опудривания шлаком. Результаты испытаний по нейтрализации проб фторангидрита представлены на рис. 3 и табл. 2

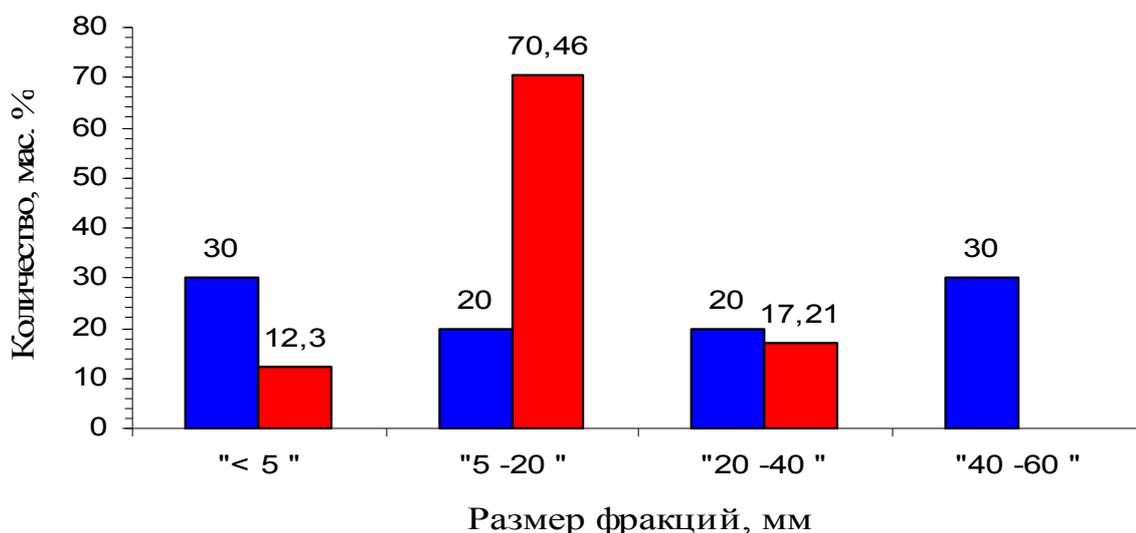


Рис. 3. Фракционный состав пробы фторангидрита № 2 до и после опудривания шлаком с дроблением фракции 40-80 мм.

■ – до опудривания ■ – после опудривания

Таблица 2

Содержание свободной серной кислоты во фракциях фторангидрита после нейтрализации

Фракции, мм	Содержание H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , мас. %		
	1 ч	1 сутки	7 суток
	Проба № 2		
< 5	0,1	0,1	0,1
5-20	0,49	0,39	0,39
20-40	3,14	0,78	0,78
	Проба № 1		
0-20	0,98	0,58	0,58

Эффективность нейтрализации по предлагаемой схеме составляет 87 и 93% для проб № 1 и 2 соответственно. Таким образом, электросталеплавильный шлак ОАО «Северский трубный завод» может служить эффективным нейтрализатором свободной серной кислоты во фторангидрите, исключая стадии помола отходов в шаровой мельнице и традиционную мокрую нейтрализацию известняковой суспензией. Решается очень важная экологическая и экономическая проблемы двух предприятий г. Полевского в целом, так как, с одной стороны, предприятия отчисляют значительные средства за складирование и хранение этих отходов, что увеличивает стоимость продукции, с другой стороны, отходы размещаются вблизи источников питьевого водоснабжения города, мало того, в черте города, и разносимой ветром пылью дышат люди, а также вымываемая из отходов природными осадками серная кислота и фтор в конечном счете попадают в питьевую воду. Для уточнения механизма нейтрализации и особенностей состава шлака проводятся дополнительные исследования.

Гаврилюк М.Н., аспирант  
 Терёхина О.Ю., студентка  
 Семериков И.С., проф., д-р техн. наук

## ГОРНБЛЕНДИТ КАК АКТИВНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА

Снижение расхода энергии и себестоимости портландцемента является актуальной задачей. Применение активных минеральных добавок (АМД) существенно снижает энергоёмкость производства и увеличивает объём выпуска портландцемента. В данной работе изучена возможность применения горнблендита в качестве активной минеральной добавки. Горнблендит представляет собой ультраосновную горную породу, содержащую повышенное количество  $\text{CaO}+\text{MgO}$  от 19,68 до 26,49% (таблица). Горнблендит – яснокристаллическая магматическая порода, существенно состоящая из роговой обманки. Месторождение находится около г. Первоуральска.

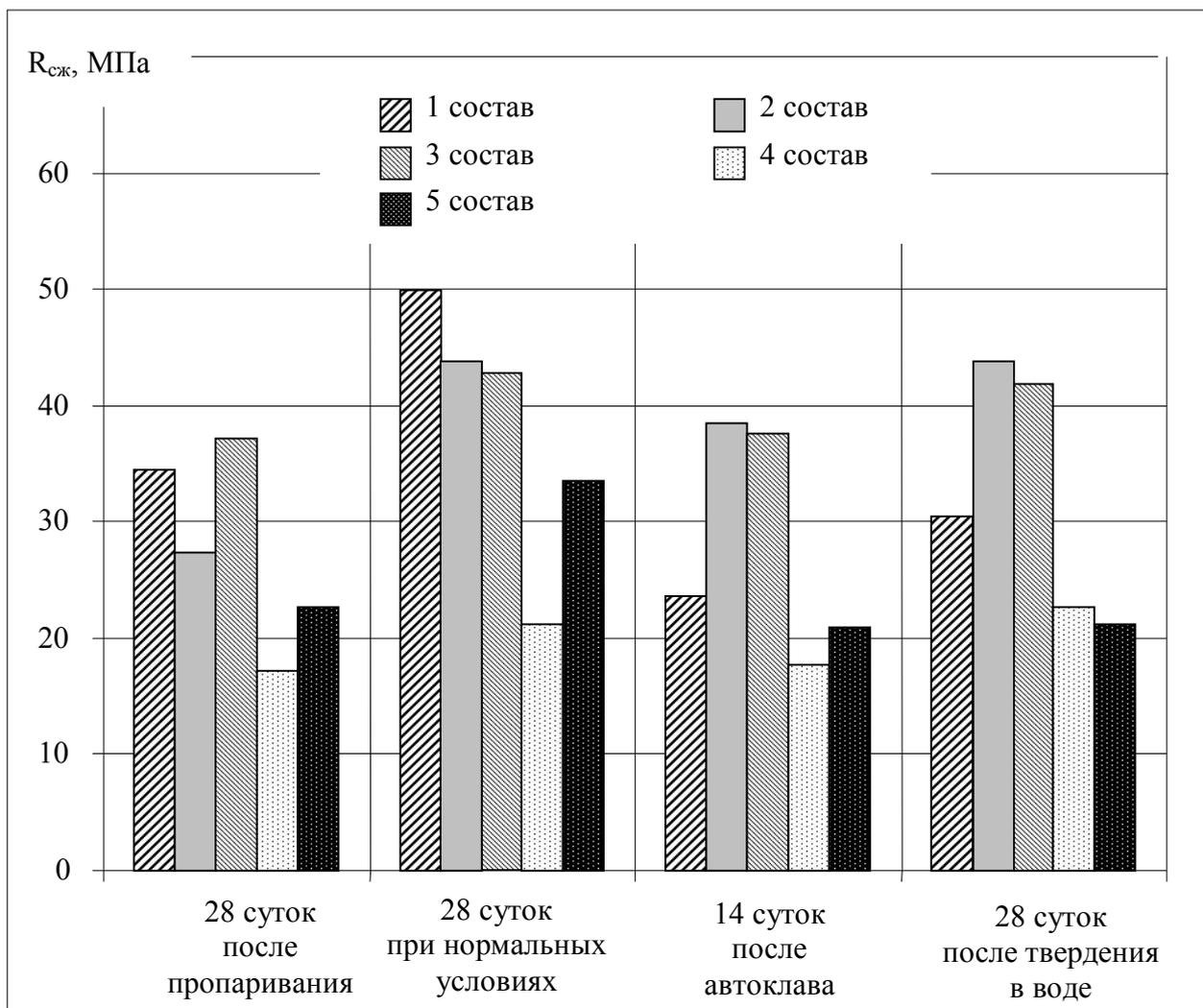
Химический состав горнблендита

Наименование	Содержание оксидов, % массовых												
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\Delta m_{\text{прк}}$
Горнблендит	37,07-38,88	14,50-17,89	1,21-1,56	5,12-8,64	6,72-9,94	11,15-12,44	8,53-14,05	0,03-0,08	следы	не опр.	0,29-0,93	1,28-2,42	1,55-3,94

Были проведены испытания на активность горнблендита в сочетании с портландцементным клинкером. Приготовлены цементы из тонкоразмолотых компонентов следующих составов:

- 1) портландцемент без добавок;
- 2) портландцемент с добавкой 30% горнблендита;
- 3) портландцемент с добавкой 30% кварцевого песка;
- 4) портландцемент с добавкой 70% горнблендита;
- 5) портландцемент с добавкой 70% кварцевого песка.

Составы были перемешаны в течение 5 минут в шаровой мельнице. Из теста нормальной густоты заформованы образцы в цилиндрических формах диаметром 25 мм и высотой 20 мм. Образцы испытывались после пропаривания, после автоклава, после твердения в воде, а также после твердения в нормальных условиях. Результаты испытания представлены на рисунке.



Зависимость прочности образцов на сжатие от времени при различных условиях твердения.

Составы образцов: 1 – ПЦ 500 Д0; 2 – 70% ПЦ 500 Д0 и 30% горнблендита; 3 – 70% ПЦ 500 Д0 и 30% кварцевого песка; 4 – состав 30% ПЦ 500 Д0 и 70% горнблендита; 5 – состав 30% ПЦ 500 Д0 и 70% горнблендита

По результатам прочностных показателей цемента вычислен основной модуль, %:

$$HK = \frac{R_{сж\ 2} - R_{сж\ 3}}{R_{сж\ 1} - R_{сж\ 3}} \cdot 100 \quad (1)$$

и дополнительный модуль, %:

$$NK = \frac{R_{сж\ 4} - R_{сж\ 5}}{R_{сж\ 1} - R_{сж\ 5}} \cdot 100 \quad (2)$$

Эти модули количественно характеризуют активность АМД по сравнению с инертным кварцевым песком. При этом *HK* у разных АМД должен составлять от 12 до 79, а *NK* от 1 до 62.

Основной модуль у горнблендита равен 69,23; 50; 63,13; 52,39, а дополнительный модуль равен 44; 1,4; 25; 32,8 для следующих условий

твердения: после пропаривания; при нормальных условиях; после автоклава и после твердения в воде соответственно.

Из экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

– добавление активной минеральной добавки горнблендит приводит к повышению прочности на сжатие цементного камня до 44 МПа, что превышает прочность ПЦ 500 Д0;

– при твердении в воде и нормальных условиях у составов с горнблендитом наблюдается значительное увеличение прочности на сжатие;

– при пропаривании и твердении в автоклаве составов с горнблендитом наблюдается снижение прочности на сжатие;

– горнблендит является активной минеральной добавкой и его можно рекомендовать для использования в многокомпонентных цементах;

– оптимальным составом является 70% ПЦ 500 Д0 + 30% горнблендита.

Гусак Д.Н., Капустин А.Ф., студенты  
Пьячев В.А., проф., канд. техн. наук  
Рогозин Д.В., главный технолог, ЗАО «Невьянский цементник», г. Невьянск

## СОСТАВ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ ПО ГОСТ 31108-2003

В России в 2003 г. введен в действие новый ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», унифицированный с европейским стандартом EN 197-1. Вместе с этим не отменен и действует ГОСТ 10178-85, регламентирующий требования к физико-механическим свойствам портландцементов и шлакопортландцементов. Параллельное действие обоих стандартов обусловлено необходимостью отечественных цементных заводов накопить опыт работы по новому стандарту, а проектным и строительным организациям, предприятиям строительной индустрии научиться наиболее эффективно использовать цементы, прочностные характеристики которых оцениваются по новой методике. В дальнейшем после накопления достаточного опыта, как цементными заводами, так и потребителями цемента, ныне действующие ГОСТ 310-76, ГОСТ 310.4-81 и ГОСТ 10178-85 должны быть отменены.

Основные отличия нового ГОСТ 31108-2003 от действующего ГОСТ 10178-85 заключаются в следующем:

- вместо марок введены классы прочности на сжатие, значения которых имеют вероятностный характер и установлены с доверительной вероятностью 95%;

- для цементов всех классов прочности, кроме требований к прочности в возрасте 28 сут., дополнительно установлены нормативы по прочности в возрасте двух суток, за исключением классов 22,5Н и 32,5Н, для которых прочность устанавливается в возрасте 7 сут. (см. таблицу);

- для всех классов прочности, кроме класса 22,5, введено разделение цементов по скорости твердения на нормально твердеющие и быстротвердеющие;

- испытание цементов на прочность проводится по ГОСТ 30744-2001 с использованием полифракционного песка;

- для цементов некоторых типов установлены дополнительные требования к химическим показателям, таким как потери массы при прокаливании, содержание нерастворимого остатка и хлорид-иона в цементе.

В новом стандарте предусмотрены два вида портландцемента: ЦЕМ II/A-III, содержащий 6-20% доменного гранулированного шлака, и ЦЕМ II/B-III, содержащий от 21 до 35% шлака. Отдельно маркируются портландцементы с добавками пуццоланов, золы-уноса, глиняжа, микрокремнезема и известняка. Предусмотрен композиционный портландцемент, содержащий различные минеральные добавки, а также неодинаковая дозировка гипса к цементам разных классов и указано только максимально допустимое его количество по  $SO_3$ . Также введено допустимое содержание в цементе хлорид-иона и приведены требования к минеральным

добавкам в цементы: гранулированным доменным и электротермофосфорным шлакам, пуццоланам, золам-унос, микрокремнезему, гипсосодержащим и вспомогательным материалам. Удельная эффективность естественных радионуклидов в цемен-тах не должна превышать 370 Бк/кг.

#### Требования к классам прочности цементов

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 суток, не менее	7 суток, не менее	28 суток			
			не менее	не более		
22,5Н	-	11	22,5	42,5	75	10
32,5Н	-	16	32,5	52,5		
32,5Б	10	-	42,5	62,5	60	
42,5Н	10	-				
42,5Б	20	-	52,5	-	45	
52,5Н	20	-				
52,5Б	30	-				

Для производства цементов общестроительного назначения должен использоваться портландцементный клинкер с суммарным содержанием алита и белита не менее 67 %, а массовое отношение CaO к SiO<sub>2</sub> должно быть не менее 2,0. Содержание оксида магния в клинкере не должно превышать 5,0 %. По назначению все минеральные добавки в цементе подразделяются на основной компонент, вспомогательный компонент, для регулирования сроков схватывания и специальные и технологические добавки.

К минеральным добавкам предъявляются следующие требования:

- доменные и электротермофосфорные гранулированные шлаки должны удовлетворять ГОСТ 3476-74;
- золы-унос должны содержать не менее 25% реакционно-способного SiO<sub>2</sub>, потери их массы при прокаливании в течение одного часа не должны быть более 5%, а количество свободного CaO в кислах золах – менее 1%;
- содержание CaCO<sub>3</sub> в известняке – не менее 75%, а глинистых и илистых примесей в нем – не более 1%;
- при испытаниях минеральных добавок по ГОСТ 25094-94 различие между прочностью на сжатие цементов с добавкой и кварцевым песком (*t*-критерий) должно быть более 2,07, конец схватывания известкового теста – не позднее 7 суток, а водостойкость образцов – не менее 3 суток.

В качестве вспомогательных компонентов цемента могут использоваться специально выбранные горные породы и минеральные техногенные продукты и отходы производства клинкера, а также минеральные добавки, применяемые как основные компоненты цемента. Они могут быть инертными или проявлять слабо выраженные гидравлические, скрыто гидравлические или пуццоланические свойства. Вспомогательные компоненты используются в исходном или переработанном виде, т.е. они

могут быть подвергнуты высушиванию, усреднению и измельчению, и, благодаря своему зерновому составу, улучшают физические свойства цементов и бетонных смесей. Они не должны существенно повышать водопотребность цемента, а также не должны снижать долговечность бетонов или растворов, ухудшать защиту арматуры от коррозии.

Концерном ОАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» проводится работа по переходу цементных заводов на выпуск цементов по ГОСТ 31108-2003. Разработана инвестиционная программа «Добавки», направленная на увеличение производства цемента за счет ввода вспомогательного компонента и замены доменного шлака на более доступные минеральные добавки природного и техногенного происхождения. В настоящее время ЗАО «Невьянский цементник» выпускает цементы ПЦ400-Д0, ПЦ500-Д0, ПЦ400-Д20 и ШПЦ400. В качестве активной минеральной добавки при помолу цементов на заводе применяется доменный гранулированный шлак ОАО «Нижне-Тагильский металлургический комбинат». В соответствии с инвестиционной программой «Добавки» в 2008 г. на ЗАО «Невьянский цементник» выпущены опытные партии портландцементов типа ЦЕМ I 42,5Н, ЦЕМ II/A-III 32,5Н, ЦЕМ II/B-III 32,5Н и ЦЕМ II/A-3 32,5Н со свойствами по ГОСТ 31108-2003, в составе которых использовали доменный шлак и золошлаковую смесь с отвала Верхнетагильской ГРЭС. Полученные цементы содержали повышенное количество указанных добавок, что может отрицательно повлиять на физико-механические свойства и долговечность строительных бетонных изделий и конструкций.

На опытных портландцементных бетонах подобраны составы бетонов классов В10-В40, определены удельный расход цементов, свойства бетонных смесей и бетонов. При подборе состава бетонов на цементе ЦЕМ I 42,5Н в расчетной формуле прочности необходимо использовать уточненный коэффициент  $A$ . Изучено влияние количества доменного гранулированного шлака на физико-механические свойства, морозостойкость, водонепроницаемость, усадочные деформации, коррозийную стойкость и способность бетонов защищать стальную арматуру от воздействия агрессивных сред. Установлено, что увеличение количества шлака уменьшает стойкость цементов к выщелачиванию, сульфатной и кислотной коррозии, повышает стойкость к магниезольно-сульфатной коррозии.

Тяжелые бетоны, полученные на цементах ЦЕМ I 42,5Н, ЦЕМ II/A-III 32,5Н и ЦЕМ II/B-III 32,5Н, по физико-механическим и эксплуатационным свойствам удовлетворяют требованиям ГОСТ 26633-91. Бетоны с классом В22,5 характеризуются морозостойкостью более F150, водонепроницаемостью не менее W6 и способностью защищать стальную арматуру от воздействия агрессивной среды. Усадочные деформации бетонов после пропаривания значительно меньше усадки при естественном твердении на воздухе. Разработаны дополнительные требования к производству цементов типа ЦЕМ I 42,5Н, ЦЕМ II/A-III 32,5Н и ЦЕМ II/B-III 32,5Н, которые внесены в технологический регламент ЗАО «Невьянский цементник».

Турлова О.В., аспирант  
Михайлова Н.А., доц., канд. техн. наук  
Кашеев И.Д., проф., д-р техн. наук

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В СОСТАВЕ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЙОЛИКИ

Задача исследовательской работы состояла в том, чтобы заменить глину Веско месторождения Украины на глину Нижнеувельскую месторождения Челябинской области России в составе майоликовой массы для производства керамических штофов и получить водопоглощение данного изделия не более 3%.

Майоликовая масса состояла из следующих сырьевых компонентов: Шолоковская глина (месторождение Удмуртии), глина Веско-Прима, кварцевый песок, нефелин-сиенит и бой изделий.

Свойства шликера и готового изделия, при частичной замене глины Веско на Нижнеувельскую (НУК) в составе массы, которые необходимо получить, должны быть следующие: влажность шликера 40 – 45%, коэффициент загустевания 1,1 – 1,5, тонкость помола до 1,5%, линейная воздушная усадка массы 5,0 – 7,0%, полная усадка массы после двукратного обжига 11,0 – 14,0%.

В ходе научно-исследовательской работы были произведены изменения в составе керамической массы и в технологии получения шликера. Для исследования выбраны три состава массы со следующим соотношением в них глин НУК и Веско – 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30. Составы массы с полной заменой глины Веско на НУК не применяли, так как водопоглощение изделий, отлитых из такого шликера, составило около 12,0%.

При увеличении в массе Нижнеувельской глины шликер получается с коэффициентом загустевания около 2,0, которое объясняется тем, что глина НУК и Шолоковская содержат в своем составе минерал монтмориллонит, плохо разжижающийся под действием электролитов. Поэтому кроме жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,8\text{SiO}_2$ ) и соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) в состав шликера необходимо вводить полиакрилат натрия в количестве 0,42 – 0,77%. При этом свойства шликера были: влажность составила 41 – 45%, плотность – 1,52 – 1,57 г/см<sup>3</sup>, коэффициент загустевания 1,1 – 2,4. Дефектов на образцах при введении полиакрилата натрия не наблюдалось.

Установлено, что при увеличении содержания глины НУК в шихте и после политого обжига при температуре 1050°C повышается водопоглощение изделий и составляет более 3,0%. С увеличением содержания нефелин-сиенита с 13,0 до 18,7% после обжига у образцов снижается водопоглощение до 3,0%. Оптимальной является температура обжига 1070°C, при этом общая усадка образцов составила 14,0%, водопоглощение изделий – 1,2%.

Рыжкова И.В., студент  
Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ БЕЗОБЖИГОВОГО ЗОЛЬНОГО ГРАВИЯ ДЛЯ БЕТОНОВ

Предприятия по производству бетонных и железобетонных изделий имеют дефицит высокопрочных гранитного щебня и гравия. Эти природные материалы необходимы также в регионах, на территории которых нет месторождений высокопрочных заполнителей, например Тюменская и Омская области, а перевозка их к месту использования несет весьма значительные финансовые расходы. Среди искусственных высокопрочных заполнителей, со свойствами близкими к природным, можно выделить керамдор и безобжиговый зольный гравий (БЗГ), основным сырьевым компонентом которого является зола-унос и зола-шлаковая смесь от сжигания каменных и бурых углей на ТЭС.

БЗГ представляет собой искусственный пористый заполнитель, получаемый в виде гранул из тонкомолотой предварительно увлажненной сырьевой смеси золы и портландцемента с последующим твердением при тепловой обработке (ТВО) или в естественных условиях. В отличие от обжиговых заполнителей, например керамдор из глины, безобжиговые заполнители не требуют дополнительных расходов на электроэнергию, топливо, использования для обжига сложных высокотемпературных установок.

С целью ускорения твердения и более быстрого использования БЗГ в бетоне нами выполнены исследования по повышению качества БЗГ и увеличению прочности заполнителя в ранние сроки твердения. В работе использовали химические добавки ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , жидкое стекло), а также комплексные добавки (Реламикс-М, Полипласт СП-1, ПФМ-НЛК). Для получения высокопрочного БЗГ подбирали составы сырьевой смеси с различным содержанием цемента, золы-уноса и химических добавок. В исследованиях использовали следующие материалы: портландцемент бездобавочный ПЦ500-Д0 производства ОАО «Ачинский цемент» и зола-унос от сжигания каменного угля Экибастузского месторождения. В таблице приведены результаты испытаний на сжатие после пропаривания образцов, полученных из бездобавочной сырьевой смеси, смеси с однокомпонентными и комплексными добавками.

Как показали эксперименты, введение  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с водой затворения в сырьевую смесь способствует упрочнению золоцементного камня на 60-80 % в начальные сроки твердения,  $\text{NaCl}$  – на 45-79%, комплексные добавки не оказали положительного влияния на прочность образцов. Таким образом, добавки серно-кислого натрия и хлорид натрия являются наиболее эффективными ускорителями твердения БЗГ. Данные добавки, интенсифицируя процессы гидратации цемента, приводят к ускорению

твердения образцов не только в естественных условиях, но и увеличению их прочности после тепловлажностной обработки.

Влияние химических добавок и условий твердения на плотность и прочность золоцементных образцов

Состав сырьевой смеси (условия твердения)	В/Т	Плотность золоцементного камня, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа
85% зола + 15% ПЦ (ТВО)	0,50	1,598	1,81
80% зола + 20% ПЦ (ТВО)	0,50	1,568	3,05
80% зола + 25% ПЦ (ТВО)	0,47	1,632	4,38
80% зола + 20% ПЦ + NaCl (ТВО)	0,46	1,540	5,46
80% зола + 20% ПЦ + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ТВО)	0,47	1,522	5,57
80% зола + 20% ПЦ + жидкое стекло (ТВО)	0,47	1,566	4,07
85% зола + 15% ПЦ + Реламикс-М (ТВО)	0,46	1,536	1,82
85% зола + 15% ПЦ (воздушно-влажные, 7 суток)	0,50	1,610	0,64
80% золы + 20% ПЦ (воздушно-влажные, 7 суток)	0,50	1,787	2,9
80% золы + 25% ПЦ (воздушно-влажные, 7 суток)	0,47	1,833	4,714
80% золы + 20% ПЦ + NaCl (воздушно-влажные, 7 суток)	0,46	1,757	4,2
80% золы + 20% ПЦ + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (воздушно-влажные, 7 суток)	0,47	1,459	3,18
85% золы + 15% ПЦ + Реламикс-М (воздушно-влажные, 7 суток)	0,46	1,516	1,714

Увеличение количества цемента в составе смесей повышает прочность при сжатии БЗГ не только за счет собственного твердения портландцемента, но и за счет активирующего действия на вяжущие свойства золы-унос при пропаривании. Использование при производстве БЗГ для высокопрочных бетонов золы-унос ТЭС позволяет освободить площади земель, занимаемые золоотвалами, сократить расходы на их содержание и уменьшить отрицательное влияние золо-шлаковых отходов теплоэнергетики на загрязнение окружающей среды.

Черемных М.М., студент  
Капустин Ф.Л., проф., д-р техн. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Цемент является одним из основных строительных материалов и используется в основном для производства бетонов различного назначения. Доля стоимости цемента в общем объеме затрат на строительные-монтажные работы составляет около 7,5%. При получении цемента около 70% энергозатрат приходится на помол клинкера и добавок. В этой связи приоритетным направлением снижения в производстве цемента является уменьшение энергоёмкости процесса его измельчения.

Снижение энергозатрат при помоле клинкера с добавками может быть обеспечено применением принципиально новых измельчителей, в частности центробежно-ударных мельниц. При центробежно-ударном способе измельчения уменьшается содержание частиц цемента размером 0-5 мкм и крупнее 30 мкм, увеличивается количество частиц средних фракций. При этом частицы цемента обладают высокой дефектностью, более однородны по форме, что предотвращает их агрегацию.

Вследствие более узкого зернового состава цементы центробежно-ударного измельчения имеют более низкую удельную поверхность, несколько большую нормальную плотность цементного теста. Однако высокая водопотребность теста не приводит к повышению расхода воды при получении цементно-песчаного раствора. Сроки схватывания цементного теста наступают в более отдаленные сроки по причине повышенного показателя нормальной плотности. Несмотря на это, полученные цементы соответствуют требованиям ГОСТ 10178-85.

Для испытаний были взяты четыре различных состава цементов, которые мололи на измельчительном комплексе КИ-0,36. В первых трех опытах использовали портландцемент ПЦ400-Д0, кварцевый песок и добавку суперпластификатора. Содержание компонентов в цементах было постоянным, изменяли только режим работы помольного комплекса. В четвертом опыте измельчали портландцемент, золу-унос и суперпластификатор.

В ходе работы были определены тонкость помола цемента по остатку на сите № 008, нормальная плотность, сроки схватывания и равномерность изменения объема, предел прочности при изгибе и сжатии через 3 и 28 суток водного твердения и сразу после пропаривания. Исследования, проводимые по данному вопросу, являются перспективным направлением в открытии новых способов по активации и экономии цемента. По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При помоле портландцемента с минеральной добавкой возрастает водопотребность и уменьшается прочность. Введение суперпластификатора не только снижает водопотребность и удлиняет сроки схватывания цемента, но также уменьшает время помола и увеличивает показатели прочности.

2. Для получения цементов центробежно-ударным измельчением с активностью, равной прочности исходного портландцемента ПЦ400-Д0, рекомендуется использовать следующие составы: 60% цемента, 40% минеральной добавки и 0,7% суперпластификатора (сверх 100%).

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОМОЛОМ РУДЫ ПРИ РУДОПОДГОТОВКЕ.

СИЛАЧЕВ В. В - аспирант,

ЛАПИН Э. С – профессор, доктор технических наук,  
ЛЕОНОВ Р. Е., - профессор, кандидат технических наук

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Одной из основных операций черной металлургии является рудоподготовка, осуществляемая на обогатительных фабриках (ОФ), продуктом которых является агломерат, концентрат и окатыши. При этом основой любой продукции ОФ является концентрат.

В настоящее время известны локальные автоматические системы регулирования (АСР), которые стабилизируют отдельные технологические параметры ОФ. Сюда относятся системы регулирования плотности пульпы в магнитных сепараторах, системы стабилизации уровня в зумпфах гидроциклонов, регулирования грансостава в сливе гидроциклонов и др. Однако, эти системы лишь компенсируют неэффективность работы стержневой мельницы в «голове» процесса мокрого магнитного обогащения (ММО). Именно невозможность эффективно контролировать тип руды, подаваемой на измельчение и следить за заполнением мельницы приводит к недостаточному раскрытию рудных зерен и как к следствию – к попыткам с помощью локальных АСР поднять извлечение, качество концентрата, снизить потери в "хвосты".

Известен способ управления заполнением мельницы по косвенному признаку – издаваемому при работе шуму. Представляется, что его эффективность можно повысить, проанализировав спектр издаваемого шума.

С целью выявления взаимосвязей между характерными гармониками и заполнением мельницы был проведен специальный эксперимент.

Экспериментальные данные получены на мельнице института «УралМеханобр». Мельница работала в открытом цикле.

Характеристики оборудования:

Мельница шаровая 103-А-УС, объем – 60 л, масса шаров – 100 кг.

Измельчалась руда Гаринского месторождения с общим содержанием железа в руде – 51%. Крупность руды 6-0 мм.

Было проведено 10 экспериментов. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1. – Результаты экспериментов.

№ опыта	Расход руды, кг/час	Расход воды, кг/час	Время записи звукового файла, сек	Примечания
1	0	0	30	Только шаровая загрузка
2	0	27	30	Шары + вода
3	0	81	30	Шары + вода
4	35	25,2	60	Т:Ж=1,39
5	55	36	60	Т:Ж=1,53
6	70	48	60	Т:Ж=1,49
7	85	57,6	60	Т:Ж=1,48
8	105	70,8	60	Т:Ж=1,48
9	117	78	60	Т:Ж=1,5
10	156	103,2	60	Т:Ж=1,51

В первом опыте в мельнице находилась только шаровая загрузка. В опытах 2 и 3 шаровая загрузка и вода. В остальных экспериментах увеличивался расход руды от 35 кг/час до 156 кг/час. Одновременно, для поддержания примерно постоянным соотношения Т:Ж=1,39-1,51 увеличивался и расход воды. После каждого изменения расхода руды было выдержано некоторое время для того, чтобы процесс установился. Для каждого опыта с помощью микрофона с полосой пропускания 0-16 кГц и ноутбука с программным обеспечением NGWave был записан звук, издаваемый мельницей при работе. Частота

дискретизации 44100 Гц. Для первых трех опытов длительность записи составляла 30 сек, для всех последующих – 60 сек.

Полученные звуковые файлы были обработаны с помощью GUI оболочки sptool программного математического комплекса Matlab. Был произведен Фурье анализ звуковых файлов, результаты которого представлены рисунком 1.

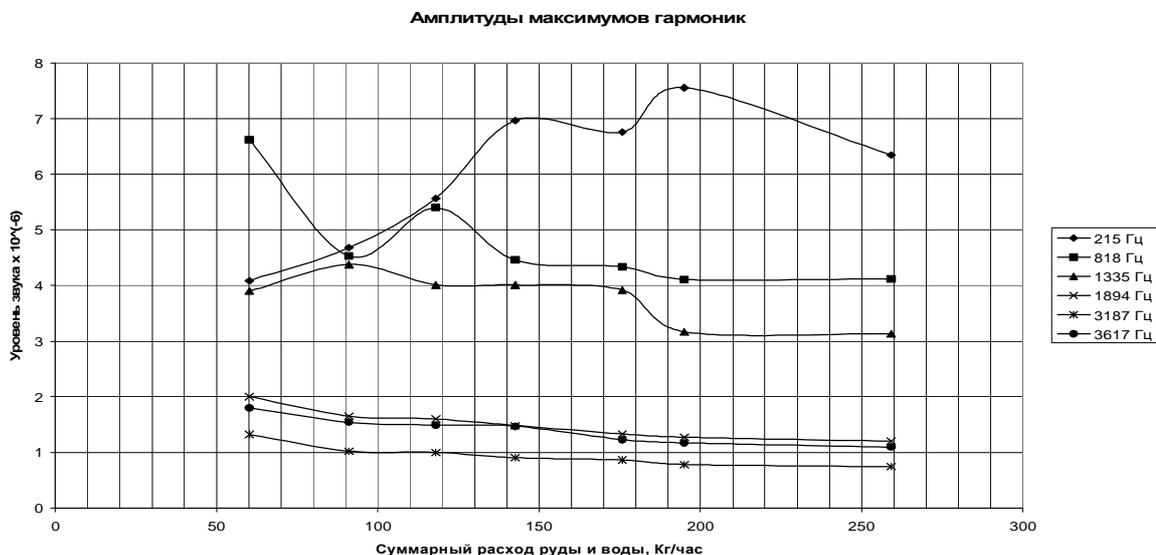


Рисунок 1 – Зависимость спектральной плотности мощности звукового сигнала от суммарной загрузки мельницы.

На рис. 1. показана зависимость амплитуды спектральной плотности мощности звука по характерным частотам от суммарной загрузки мельницы.

Как видно из рисунка 1 при изменении суммарной загрузки мельницы существенно изменяют амплитуду спектральной плотности мощности гармоники частоты 215 Гц и частоты 1335 Гц. Отклонение от общей тенденции при максимальном расходе руды и воды, по-видимому, объясняется тем, что мельница работала в этом случае на грани перегруза.

Из результатов эксперимента после Фурье-анализа звука, издаваемого мельницей при работе, можно сделать вывод о возможности управления заполнением мельницы по отношению амплитуд низкочастотных (215 Гц) и высокочастотных составляющих (1335 Гц) шума мельницы, что может быть предложено в качестве способа повышения эффективности существующего метода управления заполнением мельницы по звуку. Это связано с тем, что при наличии мультипликативной помехи при измерении звука, в результате вычисления отношения амплитуд спектральной плотности мощности гармоник влияние помехи исключается.

При частом изменении состава обогащаемой руды возникает самостоятельная задача подстраивать технологический процесс в зависимости от типа руды.

Однако, не существует средств эффективного контроля типа руды, поступающей на обогащение.

Предлагаемый нами метод основан на косвенном определении типа руды, под которым в данном случае понимается её измельчаемость, влияющая на раскрытие рудных зерен. Этот способ управления наиболее рационально использовать на ОФ, перерабатывающих руды разных типов.

«Тип руды», упомянутый выше, определяется трудностью раскрытия рудных зерен.

Способ управления состоит в нанесении пробного воздействия в виде скачкообразного изменения расхода руды в мельницу и управлении мельницей на основе реакции на это воздействие.

Для подтверждения предложенного метода управления были использованы экспериментальные данные.

В процессе эксперимента скачкообразно изменялся расход руды (породы и железомарганцевой руды). Новое значение расхода поддерживалось 5 минут в первой серии опытов и 10 – во второй. Регистрировалось изменение плотности пульпы (изменение количества мелких фракций в пульпе). Результаты эксперимента были сглажены методом скользящего среднего по трем точкам. На рисунке 2 в качестве примера представлено изменение плотности пульпы для 5-ти минутного опыта для руды и породы.

Как видно из рисунка характер переходных процессов для пустой породы и руды явно отличаются. Скорость изменения плотности пульпы для породы намного выше, чем скорость изменения плотности для руды, что позволяет предложить этот параметр в данном случае в качестве показателя типа руды, подаваемой на обогащение.

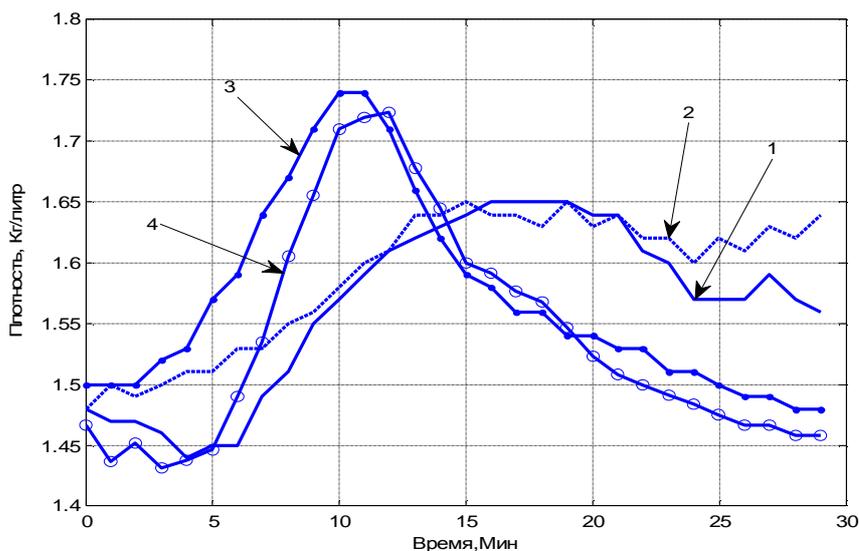


Рисунок 1 - Изменение плотности пульпы (импульс 5 минут)

1 – Руда, импульс 5 минут опыт 1; 2 – руда, импульс 5 минут опыт 2; 3 – порода, импульс 5 минут опыт 1; 4 – порода, импульс 5 минут опыт 2.

Исходя из изложенного, можно предложить следующий алгоритм управления процессом помола:

1. Через определенный интервал времени  $t$  на небольшой промежуток времени  $\Delta t$  следует нанести пробное воздействие в виде скачкообразного изменения расхода руды. По истечении времени  $\Delta t$  расход руды следует вернуть в исходное состояние.

2. По истечении времени запаздывания  $\tau$ , определяемому при предварительном анализе конкретной мельницы, зарегистрировать плотность пульпы  $\rho_1$

3. Через интервал времени  $\Delta t_1$  следует повторно замерить плотность пульпы  $\rho_2$  и оценить скорость изменения плотности  $V = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\Delta t_1}$ .

4. От величины  $V$  зависит тип руды. В результате предварительного анализа следует определить диапазон возможного изменения  $V$  ( $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$ ). Сигнал, пропорциональный величине  $V$  следует использовать как сигнал коррекции задания АСР расхода руды, подаваемой в мельницу. Пропорционально заданию по расходу руды следует скорректировать расход воды, выдерживая соотношение руда/вода, в соответствии с технологическим режимом.

Рекомендуемый алгоритм управления легко реализовать на основе микропроцессорного контроллера. Выделение гармоник шума реализуется в этом случае с помощью цифрового фильтра. Такой способ выделения гармонических составляющих позволяет легко перестраивать устройство управления при изменении типов технологических агрегатов, перерабатывающих руду.

В настоящее время микропроцессорная система разрабатывается нами на основе микроконтроллера AVR ATМega8535 фирмы Atmel.

Попов С.И., студент гр. Р-54051

Мительман Ю.Е., ст. преподаватель каф. ВЧСРТ

ГОУ ВПО "Уральский государственный технический университет-УПИ  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина", г. Екатеринбург

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В настоящее время высокими темпами развивается вычислительная техника, возрастают вычислительные мощности и всё больше прикладных задач возлагается на ЭВМ, поэтому постоянно создаётся и совершенствуется соответствующее программное обеспечение. Эта тенденция, естественно, коснулась и проектирования антенно-фидерных устройств, в связи с чем появилась необходимость знакомить будущих инженеров не только с теорией расчета различных антенно-фидерных устройств, но и с современными методами моделирования и сопутствующим программным обеспечением. Именно поэтому планируется внедрить современные пакеты для моделирования антенно-фидерных устройств в учебный процесс.

Одним из планируемых нововведений является студенческая версия пакета Ansoft Designer ведущего разработчика программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных систем – фирмы Ansoft. Программа предназначена для анализа планарных сверхвысокочастотных структур. Ansoft Designer позволяет проектировать электронные компоненты, схемы и радиосистемы связи, работающие в ВЧ и СВЧ-диапазонах. Имеется возможность просчитывать эффекты, возникающие в СВЧ-структурах с распределенными параметрами, создания модели активных узлов с учётом шумов и изменений во временной области для моделирования, например, систем с ФАП. Расчеты в Ansoft Designer могут производиться как на электродинамическом уровне, так и на схемном или системном уровне. Возможен расчёт устойчивости, проектирование транзисторных СВЧ-усилителей, перестраиваемых генераторов, смесителей и т.п. При этом продукт обладает достаточно простым и удобным интерфейсом, подходящим для пользователей любого уровня, поэтому он весьма популярен среди производителей техники ВЧ и СВЧ.

Студенческая версия данного пакета имеет некоторые ограничения в сравнении с полной версией, тем не менее, сохраняя большую часть функциональности. Из существенных ограничений можно назвать: малое количество треугольников на которые разбиваются структуры при так называемом 2.5D анализе (псевдотрехмерное описание структуры из относительно тонких слоев), отсутствие возможности работы с другими программами (экспорт топологии в формат AutoCAD, работа с Matlab, работа со скриптами из C++, Visual Basic, JavaScript и другое), отсутствие возможности синтеза фильтров, отсутствие нелинейного шумового анализа и некоторые другие. Несмотря на эти ограничения студенческая версия Ansoft

Designer, всё же, подходит для моделирования таких структур как: элементы антенных решёток (АР), схемы питания АР, управляющие элементы фазированных АР, СВЧ-фильтры и т.д. Главное же достоинство студенческой версии в том, что она бесплатно распространяется компанией Ansoft и её возможностей вполне достаточно для образовательных целей. Данный программный продукт планируется использовать для двух учебных задач.

Во-первых, это проектирование прямоугольных и круглых полосковых резонаторных излучателей. Эти излучатели в настоящее время являются самыми распространенными в антенной технике, что объясняется возросшей потребностью в легких низкопрофильных, конформных и недорогих антеннах, которые можно размещать на летательных аппаратах, автомобилях и других объектах, не нарушая их аэродинамических качеств. Полосковые излучатели просты в изготовлении (используется технология изготовления печатных плат), обладают большой стабильностью и повторяемостью параметров, могут работать с любой поляризацией поля. В процессе проектирования таких антенн в студенческой версии единственное существенное ограничение - это количество треугольников, на которые разбивается излучатель для расчета поверхностных токов, по которым впоследствии считаются все характеристики излучения. Естественно с данным ограничением слегка страдает точность получаемых характеристик, но для ознакомления студентов с принципами моделирования вышеупомянутых излучателей это ограничение не существенно. В качестве примера получаемых результатов можно привести прямоугольный резонатор, спроектированный на частоту 5.8 ГГц, изображённый на рисунке 1.

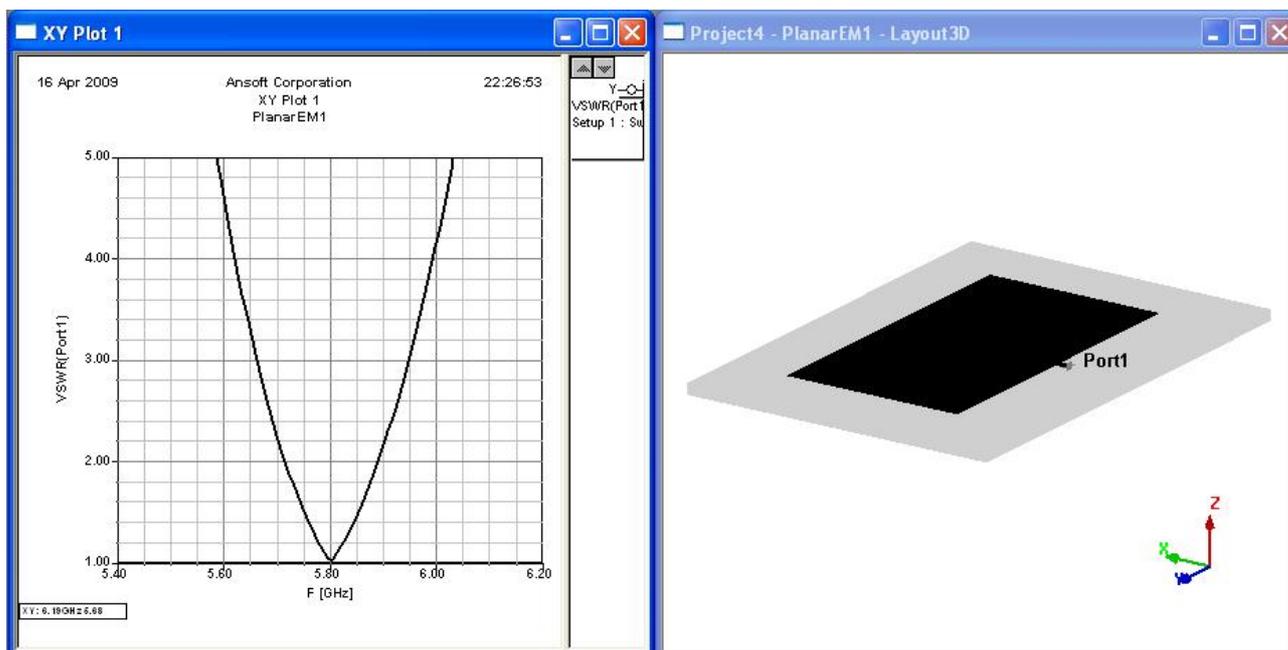


Рис.1. Частотная зависимость КСВ и топология прямоугольного резонатора, смоделированного в Ansoft Designer SV

Во-вторых, в студенческой версии планируется рассчитывать схемы питания АР. Очевидно, что из-за вышеупомянутого ограничения на число треугольников невозможно создать полностью всю решётку для исследования на электродинамическом уровне, но, поскольку это требует слишком большой вычислительной мощности, данный метод не используется при моделировании АР. Всю схему питания и фазовращателей проектируют на схемном уровне, моделируя излучатель в виде двухполюсника с рассчитанными по электродинамической модели входными параметрами. Это позволяет получить все необходимые характеристики АР (кроме полей в ближней и дальней зоне) и решить проблему, как с ограничением студенческой версии, так и с нехваткой вычислительной мощности. Однако у данного метода есть и свои минусы: поскольку излучатели представляются в схеме в виде двухполюсника, не имеющего определенных размеров, то не учитывается взаимное влияние между излучателями и на топологии они не отображаются. На рисунке 2 представлен пример смоделированной в Ansoft Designer SV схемы питания АР, где в качестве излучателя взят упоминавшийся выше прямоугольный резонатор.

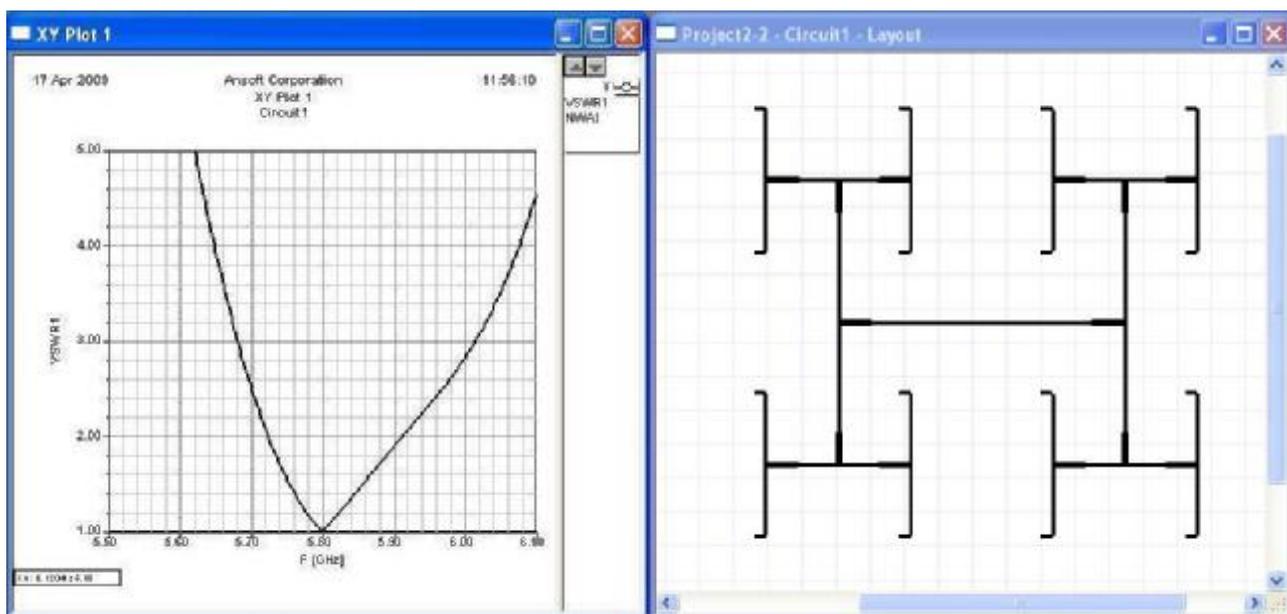


Рис.2. Частотная зависимость КСВ и топология схемы питания АР размером 4x4, смоделированной в Ansoft Designer SV

Тем не менее, данный способ позволяет рассчитывать схемы питания для любых антенн, в том числе и спроектированных в других программах. Вышеупомянутая функция подключения устройства в виде многополюсника с заданными в виде характеристической матрицы параметрами позволяет не только импортировать файлы с записанными параметрами устройств (полученными при анализе в другом программном пакете или измеренными на векторном анализаторе), но и задавать все параметры вручную, что сильно расширяет возможности применения данного способа. В качестве примера можно привести пакет MMANA – ещё одна бесплатная программа,

используемая для моделирования проволочных антенн, не уступающая платным аналогам. С помощью неё можно спроектировать любые проволочные антенны: от простого полуволнового вибратора до сложных логопериодических антенн и даже зеркальных антенн с рефлектором, заданным в виде мелкой сетки из тонких проводников (пример такой антенны, смоделированной в данном пакете, представлен на рисунке 3). Кроме того, достоинства MMANA это простой и интуитивно понятный интерфейс, а также наличие полной документации на русском языке. Соответственно, спроектировав проволочную антенну в данном пакете можно, переписав её параметры и импортировав ее в виде двухполюсника в Ansoft Designer, рассчитать диаграммообразующую схему для АР, состоящей из проволочных излучателей.

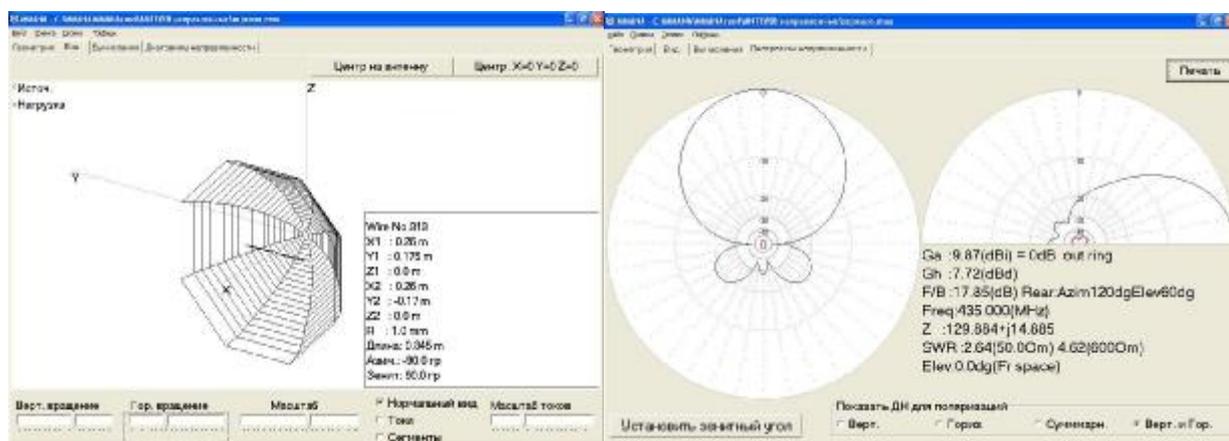


Рис.3. Конструкция и диаграмма направленности антенны смоделированной в пакете MMANA

Данное программное обеспечение планируется применять в курсовом проектировании по дисциплине "Устройства СВЧ и антенны", «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства систем подвижной связи», в лабораторных работах по курсу «Учебно-исследовательская работа студентов», а также рассматривается возможность введения ПО в курс дисциплины "Фазированные антенные решётки". Следует заметить, что различные пакеты для анализа антенно-фидерных устройств не заменяют процесс численного расчета при проектировании, а лишь упрощают и дополняют его, расширяя область получаемых результатов и позволяя точнее определить параметры проектируемых устройств, представляя схему и конструкцию антенной системы в удобном и наглядном виде. Соответственно, использование такого программного обеспечения при курсовом проектировании и в лабораторных работах приближает работу студентов к реальным условиям проектирования в инженерной практике.

Крицкий А.А., аспирант каф. «Редкие металлы и наноматериалы», Физико-технический факультет  
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет-УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СМЕСИ АССОЦИИРОВАННЫХ ДИОКСИДОВ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ МЕТОДОМ СПЕКАНИЯ ЦИРКОНА С ОКСИДОМ МАГНИЯ

**Объектом исследования** является способ твёрдофазного преобразования циркона в диоксид циркония (т.н. "прямого" получения диоксида циркония) и попутного получения диоксида кремния, включающий спекание циркона с оксидами щёлочноземельных металлов с образованием пека, содержащего диоксид циркония, и солянокислотное выщелачивание пека.

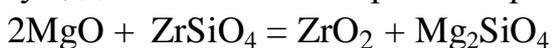
Так, традиционный способ "прямого" получения  $ZrO_2$  методом спекания циркона с карбонатом кальция (мелом) в мольном отношении 1:1 был реализован в промышленном масштабе (например, на Вольногорском горно-металлургическом комбинате, Украина). Данный способ имеет ряд **существенных недостатков**:

- получаемый в результате спекания пек, помимо целевого продукта – диоксида циркония – содержит кислоторастворимые **цирконат и цирконосиликат кальция**, что обуславливает безвозвратные **потери циркония** на стадии выщелачивания пека;
- качественный состав пека предопределяет **двухстадийное его выщелачивание** (сначала разбавленной, затем концентрированной соляной кислотой), и образование, вследствие этого, больших объёмов сбросных экологически опасных солянокислых разбавленных растворов;
- безвозвратные **потери кремния, кальция и соляной кислоты** вместе со сбросными растворами;
- **повышенное содержание диоксида кремния** (не менее 5% масс.) в готовой продукции – техническом диоксиде циркония - обуславливает его применение только при производстве плавленных огнеупоров – бакоров.

**Целью настоящей работы** является устранение недостатков "прямых" способов получения диоксида циркония (кроме способа спекания с мелом, к "прямым" относится также способ спекания циркона с доломитом) и определение оптимальных условий получения смеси ассоциированных диоксидов циркония и кремния из циркона методом спекания его с оксидом магния.

Из анализа литературных источников и в результате проведённых термодинамических расчётов установлено, что при нагревании смеси  $ZrSiO_4 + MgO$  при конечной температуре  $1275 \pm 25^\circ C$  в течение 3-х часов образуется **только один цирконий содержащий продукт – диоксид циркония**, а также кислоторастворимые силикаты магния – метасиликат

MgSiO<sub>3</sub> и ортосиликат Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. Логично предположить, что существует, как минимум, два возможных варианта протекания процесса:



(1)



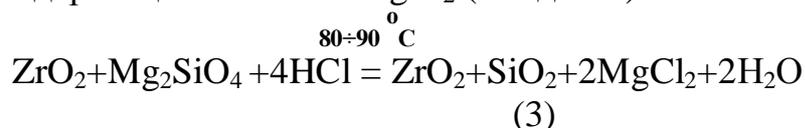
(2)

С целью уточнения механизма спекания, пеки, полученные при нагревании смесей до конечной температуры 1275±25°С в течение 3-х часов с различными мольными отношениями компонентов (ZrSiO<sub>4</sub>:MgO) – 1:1; 1:1,5 и 1:2,5 – анализировали на содержание фаз методом РФА.

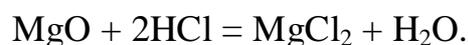
Рефлексы дифрактограммы пека, полученного при мольном отношении в нагреваемой смеси 1:1 соответствовали ZrO<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> и ZrSiO<sub>4</sub>. Отсутствие в пеке MgSiO<sub>3</sub>, а также наличие недовскрытого ZrSiO<sub>4</sub> свидетельствовало о том, что при мольном отношении компонентов 1:1 процесс спекания протекает в соответствии с реакцией (1).

На дифрактограммах пеков, полученных спеканием смесей с МО=1:1,5 и 1:2,5 рефлексов, соответствующих MgSiO<sub>3</sub> так же не было обнаружено. На дифрактограмме пеков, полученных спеканием смесей с МО=1:2,5 имелись рефлексы, соответствующие MgO и недовскрытого ZrSiO<sub>4</sub>, что можно объяснить неполнотой протекания реакции вследствие влияния объёмных факторов. Таким образом, было установлено, что процесс спекания протекает в соответствии с уравнением реакции (1) и, следовательно, по стехиометрии мольное отношение **ZrSiO<sub>4</sub>:MgO должно быть 1:2.**

Полученные в результате спекания пеки, состоящие из ZrO<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, MgO и ZrSiO<sub>4</sub>, выщелачивали при температуре 80÷90°С в одну стадию **26%-ной соляной кислотой** (реакции 3 и 4), которую возможно получить при регенерации смеси паров HCl и H<sub>2</sub>O, образующейся при термоллизе исходной пульпы, содержащей ≈ 420 г/л MgCl<sub>2</sub> (см. далее):



(3)

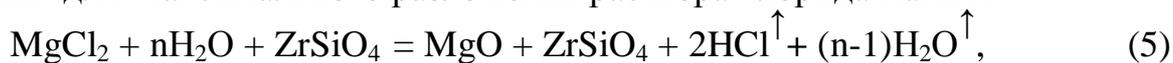


(4)

С целью определения оптимального расхода соляной кислоты для максимального преобразования Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> и MgO в водный, солянокислый раствор хлорида магния пеки обрабатывали 10-, 15-, 20-, 25-, 30- и 35-ти %ным избытком HCl относительно содержания магния в пеке. В результате выполненных исследований установлено, что для получения кека – смеси ассоциированных ZrO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> – с минимальным содержанием MgO (**0,31÷0,34 % масс.**) необходимо и достаточно обработать пек соляной кислотой, взятой с **20÷25 %-ным избытком.**

Для осуществления возможности регенерации 26%-ной по HCl соляной кислоты, исходную шихту для нагревания готовили в виде пульпы: циркон в отношении количества молей ZrSiO<sub>4</sub>:MgO=1:2,5 засыпали в оборотный, очищенный от примесных элементов раствор хлорида магния, полученный в

результате солянокислого выщелачивания пека. Затем проводили нагрев пульпы для максимального разложения раствора хлорида магния:



с образованием парогазовой смеси, состоящей из воды и хлористого водорода, из которой при последующей операции конденсации образовывалась обратная соляная кислота, и твёрдой смеси, состоящей из циркона и оксида магния. Полученную твёрдую далее спекали при  $1275 \pm 25^\circ\text{C}$  в течение 3-х часов (реакция 1), что позволяло получить пек с максимально преобразованным цирконом только в диоксид циркония и ортосиликат магния и, в последующем, выщелачивать пек в одну стадию.

С целью определения влияния конечной температуры нагревания и продолжительности выдерживания шихты при конечной температуре на степень удаления из неё соляной кислоты (реакция 5), исследовали процесс нагревания исходной пульпы от  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  до  $550 \div 650^\circ\text{C}$ . Фиксированные массы (объёмы) пульпы подвергали тепловой обработке изменяя конечную температуру ( $550$ ,  $600$  и  $650^\circ\text{C}$ ) и продолжительность выдерживания шихты (1, 2 и 3 ч) при конечной температуре нагревания. После охлаждения до температуры  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  полученные пеки взвешивали. Фактическая масса пеков сравнивалась с расчётной их массой при конечной температуре нагреваемой смеси  $600^\circ\text{C}$  и  $650^\circ\text{C}$  и продолжительности выдерживания **3 часа**.

Процесс получения смеси твёрдых продуктов  $\text{ZrSiO}_4 + \text{MgO}$  с регенерацией соляной кислоты можно реализовать на распылительно-обжиговых установках, производимых, например, фирмой ANDRITZ Ruthner Division, Austria, обеспечивающих извлечение Cl-иона из раствора  $\text{MgCl}_2$  в регенерированную соляную кислоту **не менее 90 %**.

Полученная смесь ассоциированных диоксидов циркония и кремния может быть разделена на **индивидуальные диоксиды** с применением известных способов, как например:

- высокотемпературная обработка газообразным фтористым водородом;
- обработка гидроксидом натрия с последующим взаимодействием силиката натрия с раствором хлористого кальция и кислотами;
- обработка смеси водным раствором фтористого аммония.

### Выводы

1. При реализации способа спекания циркона с оксидом магния, возможно устранить существенные недостатки, которые содержатся в применяемых в промышленном масштабе традиционные "прямые" способы получения диоксида циркония.

2. Предлагаемый способ позволяет:

- исключить потери циркония на стадии выщелачивания пека;
- реализовать замкнутую технологическую схему по оксиду магния и соляной кислоте;
- получать смесь ассоциированных диоксидов циркония и кремния, с содержанием в ней оксида магния не более  $0,31 \div 0,34\%$  масс.

## ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО МЕЖИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ

Одним из наиболее развитых методов расчета термодинамических свойств металлических систем в конденсированном состоянии является метод псевдопотенциала. Основы его были разработаны еще У.Харрисоном [1], а суть заключается в том, что истинное уравнение Шредингера для электронной подсистемы  $H\psi = (T+V)E\psi$ , где  $H$  – гамильтониан,  $T$  – оператор кинетической энергии,  $V$  – полный потенциал в системе, а  $E$  и  $\psi$  – собственные значения энергии электронов и их волновые функции, точными преобразованиями приводится к виду  $H_p\phi = (T+W)E\phi$ , где  $H_p$  называют псевдогамильтонианом,  $W$  – псевдопотенциалом, а  $\phi$  – псевдоволновыми функциями. Собственные значения энергии этого уравнения точно совпадают с собственными значениями истинного уравнения Шредингера, соответствующими зоне проводимости. Для его решения используется теория возмущений Рэля-Шредингера. Соответственно, металлическая система подменяется на псевдометаллическую, поскольку предполагается, что плотность электронов проводимости описывается псевдоволновой функцией  $\phi$ .

Для компенсации разницы между  $\phi$  и  $\psi$  в теорию вводятся дополнительные величины (например, потенциал ортогонализационной дырки, эффективная валентность и др.). Это приводит к осложнениям. В данной работе плотность электронов проводимости вычисляется с использованием их истинных волновых функций. В этом случае не нужно вводить указанные выше дополнительные понятия. Основные идеи такого подхода изложены в работе [2]. Кроме того, появляется возможность оценить сдвиги энергий основных электронов за счет взаимодействия с реальной плотностью электронов проводимости. При этом формфакторы первопринципных псевдопотенциалов оказываются явно зависящими как от объема системы, так и от концентраций всех компонентов в ней. Это позволило провести расчеты концентрационной и объемной зависимостей эффективного парного взаимодействия в бинарных системах простых металлов:

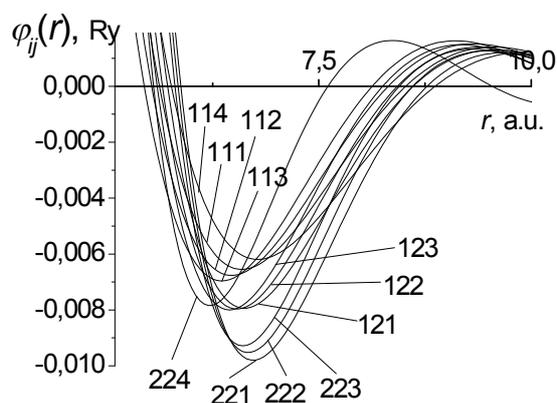
$$V_{mm'}(r) = \frac{z_m z_{m'}}{r} + \frac{\Omega_0}{\pi^2} \int_0^\infty F_{mm'}(q) \frac{\sin(qr)}{qr} q^2 dq,$$

где  $m$  – сорт иона,  $z_m$  – заряд иона,  $\Omega_0$  – средний атомный объем,  $F_{mm'}(q)$  – характеристическая функция зонной структуры,  $q$  – вектор обратного пространства.

В качестве примера на рисунке приведено эффективное парное взаимодействие в системе Li-Mg.

1. Харрисон, У. Псевдопотенциалы в теории металлов [Текст] / У.Харрисон – М.: Мир, 1968. – 366 с.

2. Крашанинин, В.А. О методе псевдопотенциала из первых принципов для расчета свойств жидких и твердых металлов [Текст] / В.А. Крашанинин. Расплавы. №4, 1999. С. 3–15.



Эффективное парное взаимодействие в системе Li-Mg при объеме, равном  $147(\text{a.u.})^3$ . Введены следующие обозначения  $ijk$ :  $i, j = 1, 2$  – Li или Mg,  $k$  соответствует концентрациям, равным: 1 – 85, 2 – 75, 3 – 65 ат.% Li; 4 – по 100 ат.% Li или Mg

## ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ НИКЕЛЬ-МАРГАНЕЦ-ГАЛЛИЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

В настоящее время большой интерес представляют исследования материалов с памятью формы. Они применяются для изготовления термочувствительных силовых элементов, разъемных и неразъемных соединений, не требующих пайки и сварки, в качестве различного рода фиксаторов в медицине, для изготовления термомеханических реле.

К таким материалам относится сплав Гейслера  $Ni_2MnGa$ . Магнитный и структурный переходы в ферромагнитных сплавах  $Ni_2MnGa$  с эффектом памяти формы происходят не только при стехиометрическом составе, но и при существенных отклонениях от него. Это представляет интерес с точки зрения практического применения сплава, поскольку позволяет изменять температурный интервал, разделяющий мартенситное и магнитное превращения, с помощью изменения состава. Поскольку большинство исследованных сплавов расположены на тройной фазовой диаграмме системы произвольно, их основные свойства рассматриваются как функции средней электронной концентрации на один атом  $e/a$ .

В данной работе методами дилатометрии и дифференциального термического анализа определены температуры фазовых превращений для четырех сплавов на основе  $Ni_2MnGa$ , образующих ряд, в котором происходит замещение марганца никелем при постоянном содержании галлия и изучено их структурное и фазовое состояния.

Образцы 1, 2 и 4 однофазны. Сплавы 1 и 2 имеют кубическую решетку ( $L2_1$ ). Параметр кристаллической решетки  $a = 0,5809$  нм. Сплав 4 находится в мартенситном состоянии, его структура описана как тетрагональная  $L1_0$  ( $a = 0,7716$ ;  $c = 0,6704$ ;  $c/a = 0,87$ ). Сплав 3 является двухфазным, в нем мартенситное превращение не завершено и при комнатной температуре наряду с мартенситом присутствует кубическая фаза. Температуры ликвидуса  $T_{ликв}$  и солидуса  $T_{сол}$  возрастают по мере роста концентрации никеля в сплаве (с ростом электронной концентрации  $e/a$ ) относительно стехиометрического состава. Температура полного упорядочения  $T_{упор}$  по всем трем элементам медленно понижается по мере уменьшения концентрации  $Mn$ . Температура мартенситного превращения  $T_m$  возрастает, температура магнитного превращения  $T_c$  уменьшается.

Таблица – Температуры фазовых превращений в сплавах  $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$

№	Состав, ат. %			$e/a$	Температуры фазовых превращений				
	$Ni$	$Mn$	$Ga$		$T_{сол}$ , К	$T_{ликв}$ , К	$T_{упор}$ , К	$T_m$ , К	$T_c$ , К
1	49,9	25	25,1	7,50	1397	1433	1084	212	370
2	51,5	23,6	24,9	7,56	1404	1444	1084	240	350
3	53,7	21,2	25,1	7,60	1411	1444	1070	300	333
4	54,2	20,3	25,3	7,61	1418	1447	1057	310	333

Получены данные необходимы для построения разреза тройной диаграммы сплавов  $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$  при неизменном содержании  $Ga$  и показывают возможность и пути получения температур  $T_m$  и  $T_c$ , близких к комнатным, что существенно для практического использования изученных сплавов в качестве материалов с памятью формы.

## ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЮМИНЕВОГО СПЛАВА АБМ-102У СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg

Методом термического анализа исследовали процессы плавления и затвердевания сплава АБМ-102у системы Al-Zn-Mg. Исходные образцы вырезали из гомогенизированного (по режиму 445–460°C, 30 ч) промышленного плоского слитка поперечным сечением 300×1100 мм. Химический состав сплава (в мас. %): 4.7 Zn; 2.2 Mg; 0.15 Cr; 0.10 Zr; 0.06 Ti; 0.22 Fe; 0.05 Si; остальное – Al.

Особенности проведения экспериментов заключались в следующем. Цилиндрические образцы диаметром 16 мм и высотой 16 мм с наличием осевого отверстия, предназначенного для размещения горячего спая термопары, помещали в корундовый тигель, находящийся в специальном блоке термоанализатора. При монотонном нагревании образца до 670°C и последующем охлаждении его фиксировали через одинаковые промежутки времени  $\Delta t = 5$  с. Числовые значения термо-ЭДС с помощью цифрового вольтметра ГЦ31. Полученные зависимости «температура  $t$  – время  $\tau$ » численно дифференцировали и строили графики в координатах «скорость изменения термо-ЭДС  $dE/dt$  – время  $\tau$ », из которых находили значения температур солидуса  $t_s$  и ликвидуса  $t_l$  с погрешностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

На рисунке 1 приведена кривая скорости нагревания образца сплава АБМ-102у в зависимости от времени. Из графика видно, что плавление эвтектики в этом сплаве начинается при температуре 570°C и заканчивается при 576°C. По мере дальнейшего повышения температуры происходит постепенное плавление зерен  $\alpha$ -твердого раствора, которое завершается при температуре 642°C, соответствующей точке ликвидуса сплава.

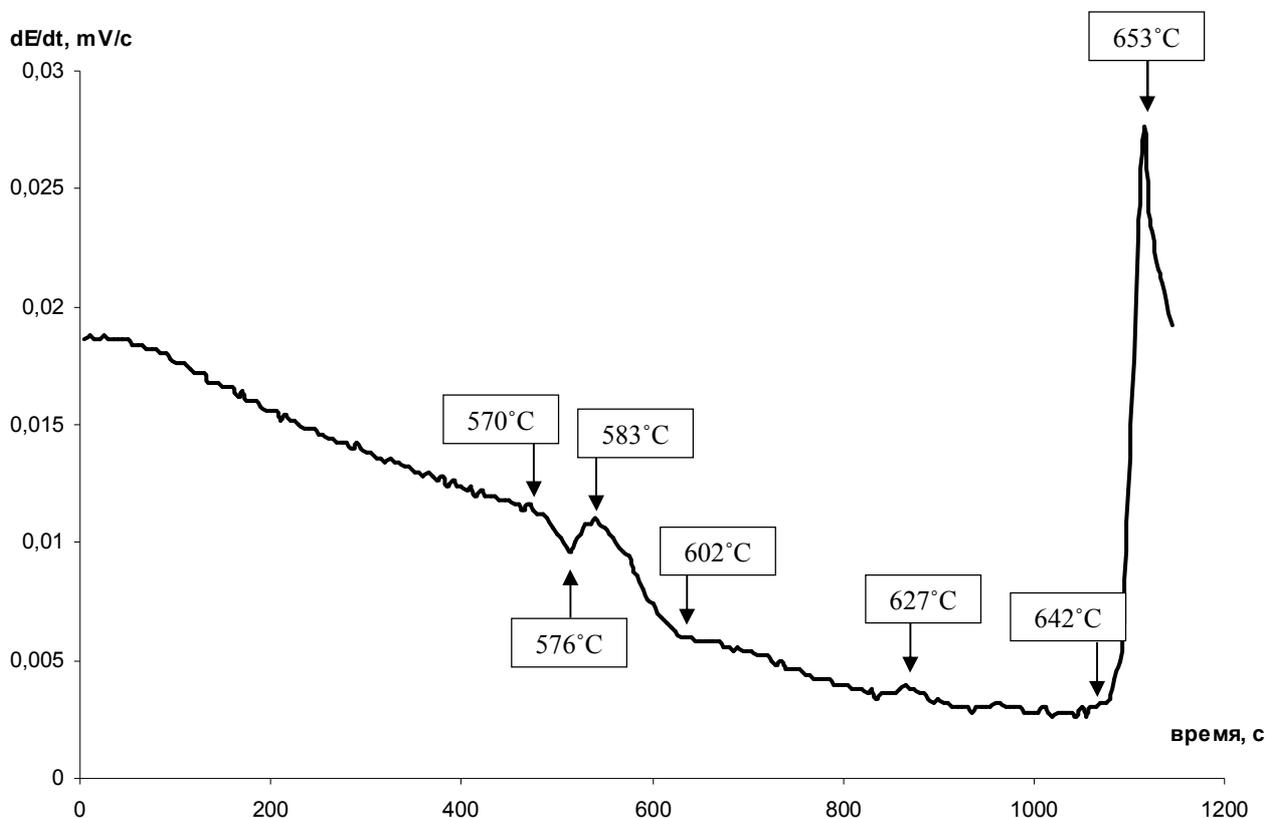
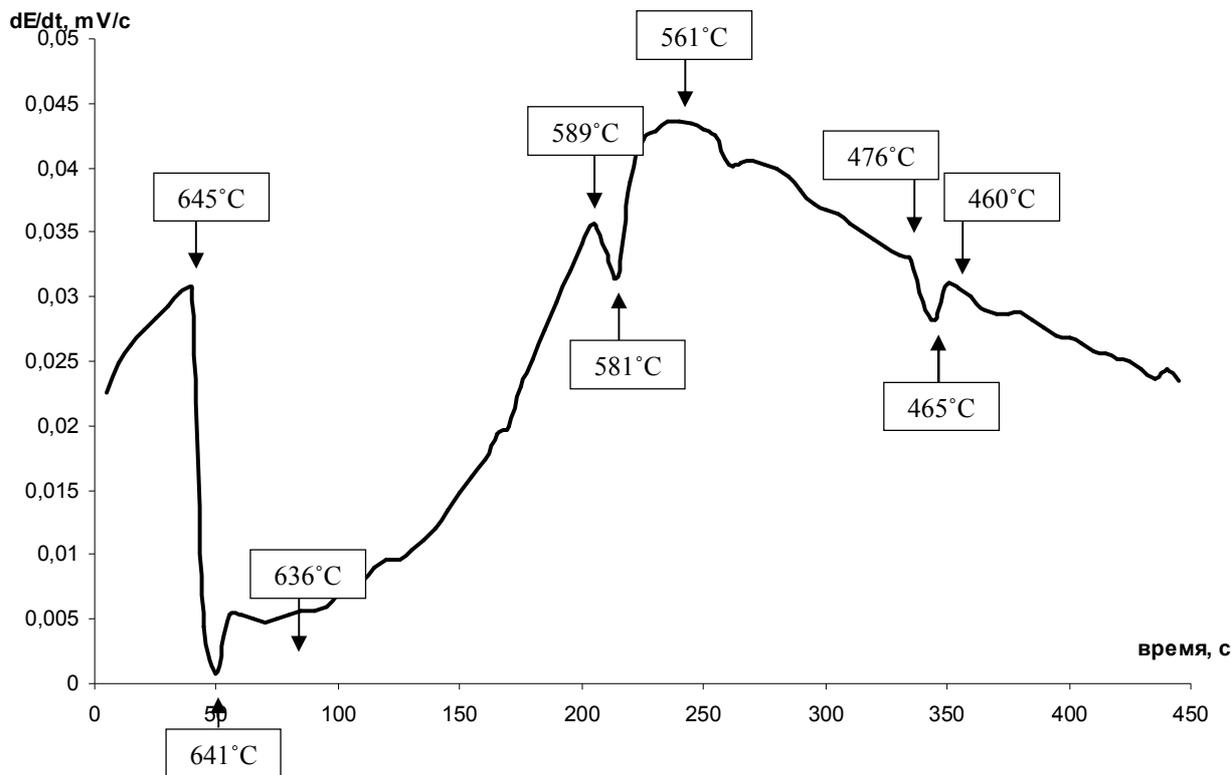


Рисунок 1 - Кривая скорости нагревания образца сплава АБМ-102у в зависимости от его времени

На рисунке 2 представлена кривая скорости охлаждения образца от 670°C в зависимости от времени. Из этого графика следует, что температура начала затвердевания расплава, охлаждаемого со скоростью 45 °C/мин, составляет 476°C.



**Рисунок 2 - Кривая скорости охлаждения образца сплава АБМ-102у в зависимости от времени**

Сопоставление кривых на рисунках 1 и 2 показывает, что режим гомогенизации 445–460°C, 30 ч слитков из сплава АБМ-102у обеспечивает полное растворение в них неравновесной эвтектики. Не исключено, что и меньшая продолжительность гомогенизации слитков способна обеспечить полное растворение в них неравновесной эвтектики.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СООТНОШЕНИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ ФАЗ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СОЛЕВЫХ СИСТЕМАХ

Известно, что для двойных металлических эвтектик характерны определенные ориентационные соотношения, которые могут быть определены экспериментально, а также расчетным путем. Для описания межкристаллитных и межфазных границ используется понятие решетки совпадающих узлов (PCY) – наиболее мелкоячеистой общей подрешетки двух структур. Ее важнейшей характеристикой является обратная плотность совпадающих узлов  $\Sigma$ . Она обратна отношению числа совпадающих узлов в плоскости контакта к общему их числу. Энергетически наиболее выгодны границы, проходящие по плоскостям с максимальной плотностью PCY (минимальным  $\Sigma$ ). Ранее нами были получены благоприятные соотношения для бинарных систем с простыми эвтектиками, а также включающими интерметаллиды. Кроме того, проанализирован ряд систем с эвтектоидными превращениями, в которых также расчетным путем обнаружены ориентационные соотношения, обеспечивающие образования низкоэнергетических межфазных границ.

В данной работе получены результаты расчетов для тройных металлических систем с тройными и квазидвойными эвтектиками, а также для двойных солевых систем. В таблице представлены ориентационные соотношения, найденные попарно для фаз тройных металлических эвтектик и двойных солевых эвтектик. Как следует из данных таблицы, на границе раздела фаз рассмотренных систем возможен контакт плоскостей с низкими значениями ( $hkl$ ), следовательно, с достаточно высокой плотностью упаковки атомов, а также с незначительными размерными несоответствиями ( $\Delta a$ ) и малыми значениями  $\Sigma$ .

Таблица 1 — Ориентационные соотношения фаз в эвтектических системах

Система <i>A-B-C</i>	Тройная эвтектика	Контакт фаз	Ориентационные соотношения		$\Delta a, \%$	$\Sigma$
			$\{hkl\} \parallel \{hkl\}$	$\langle uvw \rangle \parallel \langle uvw \rangle$		
Ag-Se-Sn	Ag <sub>2</sub> Se-SnSe-Ag	Ag-SnSe	$\{100\} \parallel \{100\}$	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,3	2,5
		Ag-Ag <sub>2</sub> Se	$\{112\} \parallel \{112\}$	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	0,2	1,2
		SnSe-Ag <sub>2</sub> Se	$\{101\} \parallel \{101\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	3,9	2,5
Cd-Se-Sn	CdSe-SnSe-Sn	Sn-SnSe	$\{001\} \parallel \{001\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,7	2
		Cd-CdSe	$\{1010\} \parallel \{100\}$	$\langle 101 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	4,5	2
		SnSe- CdSe	$\{100\} \parallel \{100\}$	$\langle 110 \rangle \parallel \langle 110 \rangle$	1,0	1,3
KF-BaF <sub>2</sub>		KF-BaF <sub>2</sub>	$\{011\} \parallel \{330\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 113 \rangle$	4,9	1
NaF-CdF <sub>2</sub>		NaF-CdF <sub>2</sub>	$\{012\} \parallel \{220\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 111 \rangle$	1,3	3
LiF-NaF		LiF-NaF	$\{100\} \parallel \{100\}$	$\langle 102 \rangle \parallel \langle 100 \rangle$	2,9	5
KF-NaF		KF-NaF	$\{100\} \parallel \{100\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 102 \rangle$	3,4	5
KF-LiF		KF-LiF	$\{100\} \parallel \{100\}$	$\langle 100 \rangle \parallel \langle 110 \rangle$	6,4	1,6

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МОДЕЛИ К РАСЧЕТУ ВЯЗКОСТИ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $P_2O_5$

Ранее была показана возможность применения полимерной модели для расчета вязкости силикатных систем [1]. В основе расчета вязкости лежит уравнение

$$\frac{d\eta}{\eta} = K_{\eta} \frac{di}{i}$$

Это уравнение показывает, что относительное приращение вязкости прямо пропорционально относительному приращению среднего числа тетраэдров в комплексном кремнекислородном анионе  $i$ .

Для расчета вязкости многокомпонентных оксидных расплавов необходимо знать параметры многокомпонентных систем:  $\overline{A}_{\eta}$  – предэкспоненциального множителя,  $\overline{E}_{\eta}$  – энергии активации,  $\overline{K}_{\eta}$  – коэффициента пропорциональности.

$$\ln \eta = \overline{A}_{\eta} + \frac{\overline{E}_{\eta}}{RT} + \overline{K}_{\eta} \cdot \ln \bar{i}$$

Чтобы данную полимерную модель можно было применить для силикатных систем, содержащих  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  нужно знать расчетные параметры бинарных систем FeO- $Al_2O_3$ , CaO- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $P_2O_5$ :  $A_{\eta}$ ,  $E_{\eta}$ ,  $K_{\eta}$ .

В работе с целью получения параметров  $A_{\eta}$ ,  $E_{\eta}$ ,  $K_{\eta}$  рассмотрены экспериментальные данные вязкости бинарных систем: FeO- $Al_2O_3$ , CaO- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $P_2O_5$  [2]. По тангенсу наклона прямых в координатах  $\ln \eta - \ln i$  определен  $K_{\eta}$ , а экстраполируя эти прямые на ось ординат, найдены  $\ln \eta_{i=1}$  при различных температурах и по зависимости  $\ln \eta_{i=1} - 1/T$  оценены значения энергии активации  $E_{\eta}$  и предэкспоненциального множителя  $A_{\eta}$ .

Значения полученных параметров бинарных систем приведены в таблице.

Система	$A_{\eta}$ , Па·с	$E_{\eta}$ , Дж/моль	$K_{\eta}$
FeO- $Al_2O_3$	-0,75	78945	3,95
CaO- $Fe_2O_3$	-9,24	83100	0,4
Na <sub>2</sub> O- $Fe_2O_3$	-11,11	95565	0,74
Na <sub>2</sub> O- $P_2O_5$	-2,52	10803	2,35

Таким образом определены параметры  $A_{\eta}$ ,  $E_{\eta}$ ,  $K_{\eta}$  для бинарных систем FeO- $Al_2O_3$ , CaO- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $Fe_2O_3$ , Na<sub>2</sub>O- $P_2O_5$ , которые в дальнейшем будут использоваться для расчета многокомпонентных силикатных систем, содержащих  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$ .

Библиографический список:

- Новиков, В.К., Полимерная природа расплавленных шлаков [Текст] / В.К. Новиков, В.Н. Невидимов. – Екатеринбург: ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 62 с. – ISBN 5-321-00969-4.
- Лепинских, Б.М., Транспортные свойства металлических и шлаковых расплавов [Текст] / Б.М. Лепинских, А.А. Белоусов, С.Г. Бахвалов. – М.: Металлургия, 1995. – 649 с.

## РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ФУЛЛЕРЕНАМИ

В связи с синтезом новых углеродных форм – фуллеренов целесообразно применить структурный анализ для исследования рассеяния ими излучения.

В молекуле  $C_{60}$  (рисунок) существует два типа симметрически неэквивалентных связей, расположенных соответственно на стыках пяти- и шестичленного и двух шестичленных циклов (связи 5/6 и 6/6). Связь 6/6 имеет больший вклад составляющей (66,7 %) и меньшую длину. Межатомные расстояния  $C-C$  по данным газовой электронографии равны 1,40 Å (6/6) и 1,46 Å (5/6), валентные углы в пятичленных циклах –  $108^\circ$ , а в шестичленных –  $120^\circ$ . Диаметр молекулы – 7,1 Å, а ее внешней полости – 5 Å.

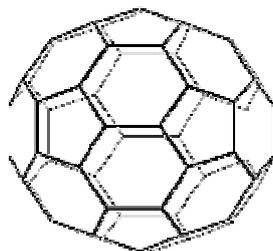


Рисунок. Молекула фуллерена  $C_{60}$

Чистый кристаллический фуллерен  $C_{60}$  имеет гранцентрированную кубическую (ГЦК) решётку с параметром элементарной ячейки 14,2 Å, расстоянием между ближайшими соседями 10 Å. Связи в молекуле фуллерена – ковалентные, между молекулами в решетке – Ван-дер-Ваальсовы. При понижении температуры до 258 K происходит фазовый переход, первого рода, сопровождающийся перестройкой структуры в простую кубическую.

В данной работе получены дифракционные картины  $I(s)$  для отдельной молекулы  $C_{60}$  и простой кубической решетки, в узлах которой находятся фуллерены. Угловые зависимости интенсивности рассеяния электронов рассчитали по уравнению Дебая

$$I(s) = \sum_i^N \sum_j^N f_i(s) f_j(s) \frac{\sin sr_{ij}}{sr_{ij}} = \sum_{i=j}^N f_i^2(s) + 2 \sum_{i \neq j} f_i(s) f_j(s) \frac{\sin sr_{ij}}{sr_{ij}},$$

где  $r_{ij}$  – межатомные расстояния;  $f(s)$  – атомный фактор рассеяния;  $s = 4\pi \frac{\sin \theta}{\lambda}$  – волновое число.

Рассчитанные зависимости интенсивности показывают, что вследствие большого параметра элементарной ячейки, первые и наиболее сильные отражения наблюдаются при достаточно малых волновых числах. Проведено сопоставление с экспериментальными данными по рассеянию рентгеновского излучения.

## КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Традиционная технология извлечения никеля из окисленной руды с содержанием NiO около 1 мас.% является сложным и многостадийным процессом. Более простым и экономически выгодным процессом, может оказаться восстановление никеля прямым электролитическим путем из расплавленной оксидной руды. Оценить перспективность электрохимического способа получения никеля можно, имея данные о кинетике и механизме реакций с участием ионов никеля в оксидных расплавах. Получить такие сведения позволяет анализ поляризационной характеристики никелевого электрода.

Потенциостатическим методом исследовали стационарную катодную поляризацию никелевого электрода в интервале температур 1350–1420°C. Исследование проводили на границе с оксидным расплавом состава мас.% 40 CaO, 40 SiO<sub>2</sub>, 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с добавками NiO до 3 мас.%. Основные компоненты исследуемого модельного расплава присутствуют в окисленных никелевых рудах.

Показано, что потенциалопределяющим процессом является разряд ионов двухвалентного никеля на границе раздела фаз.

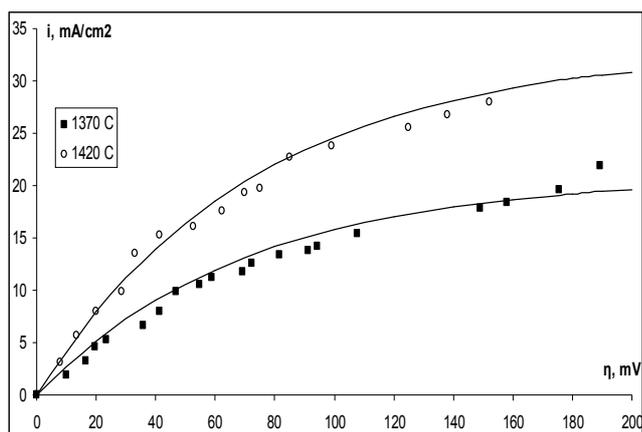
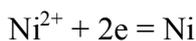


Рис. 1. Поляризационные кривые никелевого электрода при температуре  $T=1420^\circ\text{C}$  и  $T=1370^\circ\text{C}$

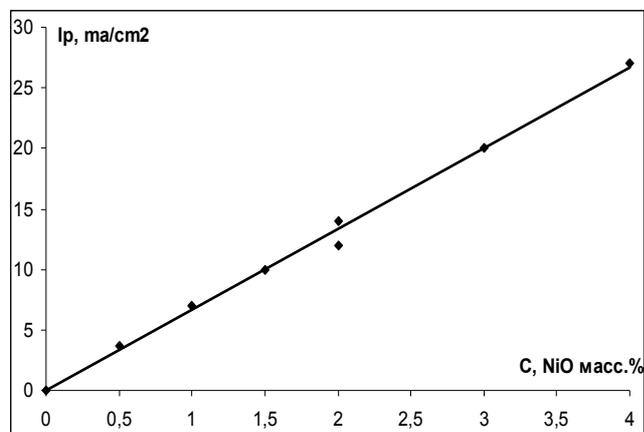


Рис. 2. Зависимость предельной плотности тока от концентрации никеля

Подтверждена концентрационная природа поляризации никелевого электрода. На поляризационных кривых выявлены характерные площадки предельных токов диффузии (рис. 1). Заторможенной стадией восстановления является диффузия ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в оксидном расплаве.

Предельная плотность тока линейно возрастает с увеличением концентрации  $\text{Ni}^{2+}$  (рис. 2) в расплаве, что свидетельствует о независимости коэффициентов диффузии ионов никеля от их концентрации.

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДРУГИХ  
УНИВЕРСИТЕТОВ  
(включая РИ-РТФ)**

Левашкина А.О., аспирант  
Поршнеv С.В., проф., д-р техн. наук

## ПОИСК ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ВОСХОДЯЩЕГО ВНИМАНИЯ

В настоящее время задачи оцифровки и хранения больших объемов визуальной информации имеют законченные технические решения, вполне удовлетворяющие требованиям пользователей, в то время как в области разработки методов решения задач поиска и семантической классификации изображений ситуация оказывается прямо противоположной. Отметим, что до последнего времени наиболее часто использовался поиск визуальной информации, опирающийся на индексирование текстовых описаний, ассоциированных с изображением (например, поиск картинок на Яндекс и *Google*). При очевидной необходимости организации доступа к коллекции изображений посредством поиска по текстовой информации, ассоциированной с изображениями, данный подход представляется недостаточным. Действительно, существующая неоднозначность при установлении соответствия между визуальным содержанием и текстовым описанием снижает показатели точности и полноты поиска, в целом ряде случаев оказывается весьма трудным или вообще невозможным составить словесное описание изображения (например, абстрактные картины).

В начале 80-х годов для преодоления недостатков поисковых систем на основе текста были начаты разработки методов поиска изображений по содержанию (в зарубежной литературе для обозначения данного подхода используется аббревиатура *CBIR* – *Content-based image retrieval*). В *CBIR*-системах изображения индексируются по их визуальному содержанию (по цвету, текстуре, форме и т.д.). Изучением различных аспектов рассматриваемой проблемы занимались многие исследователи, в том числе: F. Long, H. Zhang, D. Feng, R.C. Veltkamp, M. Tanase, Y. Rui, Th. S. Huang, S.-F. Chang, L.-J. Hove, Y. Xhuang, X. Liu, Y. Pan, I. Naqa, M. Wernick, Y. Yang, N.P. Galatsanos, Th. Deselaers, А.В. Белков, Н. Васильева, А. Дольник, И. Марков.

Анализ современных тенденций развития систем поиска изображений показывает, что наиболее популярным оказывается подход, основанный на использовании тех или иных алгоритмов анализа изображений. Например, одним из последних нововведений *Google* стало введение новых типов изображений, которые *Google* автоматически классифицирует. На текущий момент данная поисковая система распознает следующие типы изображений: портреты, фотографии, гравюры, карандашные рисунки и схемы, «клипарт». В поисковой системе Яндекс в конце 2008 года стал возможен поиск портретов, а ранее был запущен поиск картинок по преобладающему цвету, поиск фотографий и механизм выявления дубликатов.

В настоящее время известны демо-версии систем поиска изображений по содержанию (*MFIRS*, *CIRES*, *Tiltomo*, *INRIA*, *Retrievr* и др.). Проведенный

анализ качества поиска в перечисленных системах показывает, что качество поиска в них существенно ниже по сравнению с системами поиска изображений по текстовым аннотациям. Так, из 20 первых найденных изображений запросу соответствует не более 16% изображений (при поиске по текстовым аннотациям в системе Яндекс аналогичный показатель равнялся 51%).

Анализ базовых принципов, используемых в современных *CBIR*-системах, показывает, что в большинстве из рассмотренных систем поиска изображений по содержанию поиск ведется по признакам, извлекаемым из всего изображения (глобальные признаки). Кроме того, при поиске изображений пользователь зачастую интересуется вполне конкретным объектом, присутствующим на изображении, и, соответственно, результатом поиска должны быть изображения, содержащие искомый объект. В ряде работ используется сегментация изображений для выделения областей, однородных с учётом выбранных характеристик изображений. Однако сегментация изображения не приводит к идентификации визуально наблюдаемых объектов, поскольку необходимо отделение областей фона от областей, содержащих объекты.

В то же время в научной литературе описаны результаты исследования механизмов восприятия человеком изображений, согласно которым внимание человека в процессе анализа изображений концентрируется не на всем изображении, но на некоторых вполне конкретных областях изображения. При этом выбор области (или нескольких областей), привлекающей внимание человека, в большей степени обусловлен свойствами данной области, но в меньшей степени высокоуровневыми когнитивными процессами (модель восходящего внимания).

В этой связи представляется целесообразным проведение исследований возможности использования моделей восходящего внимания для нахождения области изображения, приблизительно соответствующей объекту, разработка методов поиска изображений, механизм которых подобен механизму восприятия изображений человеком. При этом можно ожидать, что использование информации, извлекаемой из данных областей, позволит повысить качество поиска *CBIR*-систем по сравнению с широко используемым поиском по глобальным признакам изображений.

Цель работы – разработка методов поиска изображений по содержанию, основанных на использовании модели восходящего внимания.

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния проблемы поиска изображений по содержанию и обзор информационных признаков изображений, используемых в *CBIR*-системах.

2. Построение универсальной классификации алгоритмов сегментации изображений, позволяющей однозначно классифицировать все известные на сегодняшний день алгоритмы сегментации изображений.

3. Анализ критериев качества сегментации и выделение критериев, которые целесообразно использовать для оценки качества алгоритмов сегментации изображений.

4. Анализ известных моделей восходящего визуального внимания и исследование степени субъективности внимания человека.

5. Разработка алгоритма автоматического нахождения объекта на изображении, привлекающего внимание человека.

6. Разработка методов поиска изображений с использованием информации об объекте и проведение экспериментальной проверки их работоспособности.

7. Разработка на основе предложенных методов поиска изображений прототипа *CBIR*-системы.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведён анализ современного состояния проблемы поиска изображений по содержанию и *CBIR*-систем, находящихся в свободном доступе в Интернет. Выполненный анализ позволил обобщить низкоуровневые признаки изображений, используемые в *CBIR*-системах.

2. Предложен универсальный подход к классификации алгоритмов сегментации изображений, являющийся обобщением ранее известных. Созданная универсальная классификация позволяет однозначно классифицировать все известные на сегодняшний день алгоритмы сегментации изображений.

3. Выполнено исследование алгоритмов сегментации изображений и супервизорных критериев, используемых для количественной оценки качества сегментации. Разработана методика сравнительного анализа супервизорных критериев качества сегментации, в соответствии с которой проведены количественные исследования супервизорных критериев. Выделены четыре критерия (*Dku*, *GCE*, *RI*, *RMS*), которые обеспечивают наиболее объективную оценку качества сегментации. Выполнено сравнение ряда современных алгоритмов сегментации изображений, по результатам которого выбран алгоритм *JSEG*.

4. Выполнено исследование степени субъективности внимания человека, результаты которого обнаружили высокий уровень согласованности мнений независимых экспертов, вообще говоря, субъективного, при выделении областей, привлекающих внимание. Сделан вывод, что данную характеристику можно рассматривать как некий информативный признак, однозначно связанный между изображением и его содержанием, и использовать для построения алгоритмов поиска изображений по содержанию.

5. Рассмотрены известные модели восходящего визуального внимания. Предложен новый алгоритм нахождения прото-объекта, обеспечивающий в сравнении с аналогичным алгоритмом более высокое качество поиска прото-объекта.

6. Разработаны новые методы поиска изображений с использованием признака цвета прото-объекта: (1) поиск по признаку цвета прото-объекта,

при котором объект на запросе задаётся пользователем, (2) поиск по признаку цвета прото-объекта, при котором объект на запросе находится автоматически с использованием алгоритма нахождения прото-объекта, (3) комбинированный поиск, учитывающий глобальный признак цвета и признак цвета прото-объекта (при этом объект на запросе находится автоматически).

7. Проведено сравнение эффективности поиска изображений методами, предложенными в диссертационном исследовании, с поиском по глобальному признаку цвета, который широко используется в современных *CBIR*-системах. Результаты сравнения свидетельствуют о более высоком качестве комбинированного поиска и поиска по признаку цвета прото-объекта, при котором объект на запросе задаётся пользователем.

8. На основе предложенных методов поиска изображений построен прототип *CBIR*-системы.

Сделан общий вывод о том, что использование информации о цвете автоматически находимого прото-объекта действительно позволяет повысить качество поиска. Следовательно, направлением дальнейшего исследования является дополнительное использование признаков текстуры и форм, выделяемых прото-объектов для того, чтобы сделать поиск изображений по содержанию ещё более эффективным.

Кроме этого, в ходе экспериментов было обнаружено, что глобальный поиск и поиск по признаку прото-объекта позволяют найти разные классы изображений. Поэтому одной из возможностей улучшения качества поиска является комбинирование данных методов поиска – комбинированный метод поиска в нашей работе показал наилучшие результаты. Хотя более вероятно, что целесообразнее предоставить пользователю возможность выбора метода поиска – в зависимости от изображения-запроса искать либо глобально похожие изображения (например, «закат», «пейзаж»), либо изображения, содержащие искомый объект.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Сбалансированная система показателей (ССП) Д. Нортон и Р. Каплана отвечает требованиям менеджмента обрести взвешенный набор монетарных и немонетарных показателей для расширения базы принятия стратегических управленческих решений.

Данная система направлена прежде всего на увязку показателей в денежном выражении с операционными измерителями таких аспектов деятельности организации, как удовлетворенность клиента, внутренние бизнес-процессы, инновационная активность и способность организации к развитию. Таким образом, она призвана дать ответы на четыре важнейших для организации вопроса:

- как его оценивают клиенты (проекция маркетинга);
- какие процессы могут обеспечить организации исключительное положение (проекция внутренних бизнес-процессов);
- каким образом можно добиться дальнейшего улучшения положения (проекция инноваций и обучения);
- как оценивают предприятие собственники и потенциальные инвесторы (финансовый аспект).

Таким образом, СПП объединяет интересы представителей внешней среды, самой организации как субъекта экономики, а также персонала организации.

«Баланс» в рамках данной концепции носит многоплановый характер, охватывая:

- четыре взаимосвязанных аспекта деятельности организации, изменение в одном из которых неизменно отразится на других;
- мониторинг как материальных, так и нематериальных (интеллектуальных) активов (связи между монетарными и немонетарными показателями);
- стратегический и оперативный уровень управления, прошлые и будущие результаты, а также внутренние и внешние аспекты деятельности организации.

Для целей планирования деятельности организации важной является сама идея СПП и ее основные принципы, сформулированные Р.С. Капланом и Д.П. Нортоном:

- причинно-следственная связь всех показателей;
- связь результирующих показателей, которые организация имеет возможность измерить по окончании определенного периода, и упреждающих показателей, которые можно измерить мгновенно;
- связь всех показателей с финансовыми результатами деятельности.

Концепция Нортон и Каплана является довольно популярной, но не единственной зарекомендовавшей себя системой управления организацией с помощью показателей (индикаторов). Примером удачного расширения модели Нортон и Каплана называют опыт компании Nova Chemical (Канада), которая включила в структуру ССП еще одну проекцию (блок показателей) «Социальная сфера»<sup>1</sup>.

Для практического применения идеи ССП и других подобных концепций в российских организациях требуется разработка системы конкретных показателей с учетом:

- объективных требований, предъявляемых к любому показателю (возможность управленческого воздействия, однозначность, возможность количественной оценки, чувствительность даже к незначительным изменениям в ходе процесса и др.);
- разработанных методик анализа хозяйственной деятельности;
- экономико-математических и статистических методов мониторинга экономико-статистических показателей;
- условий российской экономики и специфики функционирования конкретных организаций.

Преимущества и недостатки сбалансированной системы показателей представлены в таблице.

Преимущества и недостатки сбалансированной системы показателей<sup>2</sup>

Преимущества ССП	Недостатки ССП
<ul style="list-style-type: none"> <li>• увязка оперативного и стратегического менеджмента достигается с помощью многоаспектного и практичного метода;</li> <li>• четыре основных аспекта образуют всеохватывающую схему для “проводки” сверху вниз стратегии организации по всем ее иерархическим уровням;</li> <li>• дискуссии по проблеме реализации стратегии приобретают объективный характер в связи с необходимостью отыскания единиц измерения и благодаря так называемой стратегической карте;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• внимание чрезмерно фокусируется на управлении, базирующемся на показателях, и игнорируются “мягкие” факторы;</li> <li>• не обеспечивается однозначность определенных связей “цель - средство” и “стратегической карты”;</li> <li>• еще не решены многие проблемы измерения;</li> <li>• компоненты “проводки” сверху вниз по иерархии организации могут тормозить мотивацию осуществления проекта;</li> <li>• концепцией не предусмотрены механизмы разрешения конфликтов.</li> </ul>

<sup>1</sup> Бухонова С.М., Дорошенко Ю.А., Трунова Е.В. Применение систем показателей функционирования предприятий в целях управления // Экономический анализ: теория и практика. 2004. №9.

<sup>2</sup> Составлено по: Хорват П. Сбалансированная система показателей как средство управления предприятием // Проблемы теории и практики управления. 2000. №4.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• предлагаемая система делает возможной широкую, сориентированную на обучение коммуникацию по всем уровням организации;</li> <li>• новая концепция удачно интегрируется с системой контроллинга и хорошо увязывается с методами управления, нацеленными на повышение стоимости организации</li> </ul>	
--	--

Концепция ССП (финансы, клиенты, внутренние процессы и персонал) описывает, как организация создает потребительскую ценность, исходя из интересов акционеров и клиентов, при этом совершенствуя внутренние процессы за счет координации усилий персонала, информационных систем и организационной культуры.

Внедрение концепции ССП означает широкую перестройку всего процесса осуществления организационной стратегии.

В этой связи важны два следующих обстоятельства. Во-первых, применение сбалансированной системы показателей – это процесс не разработки стратегии, а процесс ее реализации и оценки эффективности, предполагающий наличие в организации уже четко сформулированной стратегии. Во-вторых, новую концепцию надо рассматривать не столько как систему показателей, сколько как всеохватывающую систему управления<sup>3</sup>.

Сбалансированная система показателей является инструментом, позволяющим полномасштабно увязать стратегию организации с оперативной деятельностью; кроме того, новая система дает возможность принимать вполне объективные решения в области распределения ресурсов.

На основе ключевых показателей эффективности и причинно-следственных связей между ними и, исходя из стратегических целей организации, формулируются основные функциональные цели, которые логически раскладываются на частные составляющие и становятся задачами линейного менеджмента.

<sup>3</sup> Ольве Н., Рой Ж., Веттер М. Оценка эффективности деятельности компании. Практическое руководство по использованию сбалансированной системы показателей: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.

Баженова Е.В., аспирант  
Третьякова Е.В., доц., канд. экон. наук  
ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет»  
г. Екатеринбург

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ЗА УСЛУГИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Каждый пользователь сотового телефона знаком с термином «Роуминг». Так называется услуга, оказываемая абоненту сотовой сети.

Роуминг (от англ. *roaming* - скитаться, путешествовать) - это возможность получать услуги связи в чужой сети, расположенной в другом регионе страны или мира. Главные условия роуминга состоят в том, чтобы в сетях взаимодействующих операторов использовался единый стандарт связи и между ними были подписаны соответствующие соглашения. Сегодня наибольшим распространением в мире, а следовательно, и самым широким роумингом обладает стандарт GSM. Все операторы сотовой связи стран Европейского Союза пользуются общей сетью GSM.

Для обеспечения обмена роуминговой информацией между компаниями-операторами приняты специальные международные биллинговые стандарты. Биллинговый стандарт – это спецификация, определяющая структуру файлов для обмена биллинговой информацией. В настоящее время существуют три основных международных стандартных формата записей о роуминге. Это стандарты CIBIR, TAP и комбинация стандартов ANSI124 и NSDP B&S. Стандарт TAP был разработан специально для обмена биллинговой информацией компаний-операторов стандарта GSM.

Расшифровка начислений за период представляет собой перечень пронумерованных TAP-файлов с указанием суммы расходов. Количество TAP-файлов за месяц соответствует количеству дней месяца.

Услуги международного роуминга относятся к специфическому роду экономической деятельности, так как сама услуга может быть оказана как абонентам российских операторов радиотелефонной связи за пределами территории Российской Федерации, так и абонентам операторов зарубежных стран на территории Российской Федерации.

Если абонент российского оператора находится за пределами Российской Федерации, то услуга оказывается, в основном, зарубежным оператором, и наоборот, если абонент зарубежного оператора пребывает на территории Российской Федерации, услуга, в основном, оказывается российским оператором.

При предоставлении услуг международного роуминга оператором одной страны абонентам оператора другой страны договорных отношений между ними не возникает. Автором выявлена основная особенность понятия «роуминг», которая заключается в том, что оператор, фактически оказавший услугу абоненту зарубежного оператора, имеет договорные отношения не с самим абонентом, а напрямую с его оператором.

Согласно п.2 ст.70 Федерального закона «О связи» № 126-ФЗ от 07.07.2003 г. порядок расчетов между операторами международной электросвязи устанавливается на основе международных эксплуатационных соглашений и с учетом рекомендаций международных организаций электросвязи, участником которых является Российская Федерация.

Все организации, оказывающие услуги международной электросвязи иностранным организациям, обязаны учитывать положения Регламента международной электросвязи, принятого Всемирной административной конференцией по телефонии и телеграфии в г.Мельбурне 09.12.1988 г.

Регламент международной электросвязи - один из основных документов Международного союза электросвязи.

Устав Международного союза электросвязи ратифицирован Российской Федерацией Федеральным законом от 30.03.1995 г. № 37-ФЗ. Поскольку ст.54 Устава предусматривает, что его ратификация означает также согласие соблюдать административные регламенты, принятые на компетентных всемирных конференциях, предшествующих дате подписания Устава и Конвенции, то данный Регламент, являющийся составной частью Устава Международного союза электросвязи, имеет силу международного договора Российской Федерации, а следовательно, является составной частью ее правовой системы. В связи с вышеизложенным Регламент международной электросвязи является обязательным для применения на территории Российской Федерации.

Роуминговые суммы как у российских, так и у иностранных роумеров выражаются в универсальной валюте, в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи.

Наиболее известной международной расчетной единицей является единица специального права заимствования (сокращенно - СПЗ или SDR (Special drawing rights)), определенная Международным валютным фондом.

SDR - эмитируемые Международным валютным фондом (МВФ) международные резервные и платежные средства, предназначенные для регулирования сальдо платежных балансов, пополнения официальных резервов и расчетов в МВФ, соизмеримые со стоимостью национальных валют.

В денежном обязательстве может быть предусмотрено, что оно подлежит оплате в рублях в сумме, эквивалентной определенной сумме в иностранной валюте или в условных денежных единицах (эю, «специальных правах заимствования» и др.). В этом случае подлежащая уплате в рублях сумма определяется по официальному курсу соответствующей валюты или условных денежных единиц на день платежа, если иной курс или иная дата его определения не установлены законом или соглашением сторон.

Счета за международные услуги связи, выставяемые расчетной

организацией, пересчитываются в доллары США по текущему курсу доллара США к SDR. Для универсальности расчетов между операторами курс может быть зафиксирован на определенное число месяца, предыдущего расчетному периоду.

С позиции оператора основная проблема, при оказании услуг сотовой связи, состоит в своевременном предъявлении абонентам стоимости услуг по междугородному и международному роумингу. Информация об оказанных услугах поступает от роуминговых партнеров оператору связи не ежедневно, т.е. оплата за оказанные услуги сотовой связи также снимается с лицевого счета абонента не в режиме он-лайн. Таким образом, в течение определенного периода времени оператор связи продолжает оказывать услуги связи абонентам, на лицевых счетах которых имеется положительный остаток. После предъявления оператору связи счетов от роуминговых партнеров стоимость оказанных услуг отражается на счетах абонентов. У некоторых абонентов сальдо лицевого счета становится отрицательным, то есть появляется дебиторская задолженность. Значительная часть абонентов погашают свою задолженность вовремя, но у некоторых потребителей услуг нет возможности своевременно покрыть образовавшуюся задолженность. В связи с этим возникает сомнительная дебиторская задолженность и необходимость в отключении абонентов, предъявлении претензий, составлении исковых заявлений на дебиторов для обращения в судебные инстанции. Под сомнительной задолженностью абонентов понимают задолженность перед оператором связи, возникшую в связи с оказанием услуг и не погашенную в сроки, установленные договором (счетом), и не обеспеченную залогом, поручительством, банковской гарантией.

Таким образом, в ходе повседневной хозяйственной деятельности многие российские операторы сотовой связи нередко сталкиваются с неплатежами контрагентов за оказанные услуги связи, часть которых являются недобросовестными абонентами, часть – не располагает достаточным количеством наличных денежных средств. У операторов сотовой связи возникает такое понятие, как дебиторская задолженность, взыскание и предупреждение возникновения которой для операторов является одной из главных задач. В настоящее время для предупреждения дебиторской задолженности операторы внедряют современные биллинговые системы, которые позволяют производить начисление за услуги связи не раз в месяц, а каждый день, и не позволяют абонентам пользоваться мобильными услугами при кредитовом сальдо на лицевом счете. Также для предупреждения образования дебиторской задолженности производится предварительная проверка контрагентов, обеспечивается предварительное получение аванса, залога, гарантии банка, поручительства или других обеспечительных мер.

При возникновении дебиторской задолженности операторами сотовой связи ведется активная работа по ее досудебному взысканию путем направления писем, осуществления телефонных переговоров, персональных встреч с должниками, проверок биллинговой системы на наличие других

лицевых счетов абонента с положительным остатком и принудительным списанием переплаты на кредитовый лицевой счет. Также активно направляются иски в судебные инстанции, осуществляется взаимодействие с коллекторскими агентствами, занимающимися взысканием дебиторской задолженности.

В ходе исследования было предложено внести изменения в действующий Федеральный закон «О связи» путем добавления пункта о праве оператора связи, в случае нарушения абонентом связи своих обязательств по оплате услуг, установленных договорами об оказании услуг связи, производить расчеты без акцепта плательщиков на основании показаний оборудования связи, учитывающего объем оказанных услуг. Мы считаем, что возвращение к первоначальной редакции Федерального закона «О связи» по выявленной проблеме позволит уменьшить дебиторскую задолженность контрагентов операторам связи. Следовательно, значительно увеличит оборачиваемость средств в расчетах и повысит деловую активность компаний.

В заключение следует отметить, что взаиморасчеты между операторами связи и их абонентами – сложная динамичная система, которая требует постоянного совершенствования в направлении более полного учета вклада каждого оператора в конечные результаты хозяйственной деятельности при изменении технической базы и технологии производственных процессов, совершенствования схем построения сетей связи, общеэкономических и внутрипроизводственных процессов.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНДЕКСА ХЕРФИНДАЛЯ-ХИРШМАНА

Рассмотрим выражение, адаптированное для исследования в реальных экономических средах, являющееся аналогом индекса Лернера,

$$-\frac{Q_{PФ}}{P_{PФ}} * \frac{\partial P_{PФ}}{\partial Q_{PФ}} * \sum \frac{q_{iPФ}}{Q_{PФ}} * \frac{q_{iPФ}}{Q_{PФ}} * \frac{\partial Q_{PФ}}{\partial q_{iPФ}} = \frac{P_{PФ} - P_{экл.}}{P_{PФ}}$$

Для облегчения понимания данной зависимости принимаем неизменной эластичность рынка, в силу ее менее динамичной (в ретроспективе) природы по сравнению с прочими факторами, что трансформирует исходное выражение в модифицированный индекс Херфиндаля-Хиршмана.

$$\sum \frac{q_{iPФ}}{Q_{PФ}} * \frac{q_{iPФ}}{Q_{PФ}} * \frac{\partial Q_{PФ}}{\partial q_{iPФ}} = ННІ_{\text{модифицированный}} \approx \frac{P_{PФ} - P_{экл.}}{P_{PФ}}$$

Рассмотрим далее абстрактное изменение рынка представленное в табл. 1.

Таблица 1  
 Модифицированный ННІ и различные варианты изменения рынка

Показатель	Игрок	Вариант изменения структуры рынка													
		Базовая структура	Рост рынка						Снижение рынка						
			Равномерное увеличение	Рост (ограниченный) + новый игрок	Неравномерный рост	Снижение / рост	Снижение / рост поставок +игрок	Снижение / рост поставок - игрок	Равномерное снижение	Снижение + новый игрок	Неравномерное снижение	Рост / снижение	Рост / снижение + новый игрок	Рост / снижение -игрок	
Объемы, ед	1	20	24	21	36	32	40	66	66	15	18	22	22	29	
	2	20	24	21	21	31	40	18	18	15	18	22	22	17	
	3	20	24	21	21	19	10	18	18	15	18	12	10	17	
	4	20	24	21	21	19	10	18	18	15	18	12	10	17	
	5	20	24	21	21	19	10	10		15	8	12	10		
	6			15			10			5			6		
	∑	100	120	120	120	120	120	120	120	80	80	80	80	80	
Доли, %	1	20%	20%	18%	30%	27%	33%	55%	55%	19%	23%	28%	28%	36%	
	2	20%	20%	18%	18%	26%	33%	15%	15%	19%	23%	28%	28%	21%	
	3	20%	20%	18%	18%	16%	8%	15%	15%	19%	23%	15%	13%	21%	
	4	20%	20%	18%	18%	16%	8%	15%	15%	19%	23%	15%	13%	21%	
	5	20%	20%	18%	18%	16%	8%	0%	0%	19%	10%	15%	13%	0%	
	6	0%	0%	13%	0%	0%	8%	0%	0%	6%	0%	0%	8%	0%	
	∑	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Изменение доли в поставках	1		5	20	1	2	1	0	0	4	10	-10	-10	-2	
	2		5	20	20	2	1	-10	-10	4	10	-10	-10	7	
	3		5	20	20	-20	-2	-10	-10	4	10	3	2	7	
	4		5	20	20	-20	-2	-10	-10	4	10	3	2	7	
	5		5	20	20	-20	-2	-1	-1	4	2	3	2	1	
	6			1						-4			-3		
Квадрат доли на изменение поставок	1		20%	61%	11%	12%	11%	13%	13%	14%	51%	-76%	-76%	-29%	
	2		20%	61%	61%	12%	11%	-23%	-23%	14%	51%	-76%	-76%	30%	
	3		20%	61%	61%	-50%	-1%	-23%	-23%	14%	51%	6%	3%	30%	
	4		20%	61%	61%	-50%	-1%	-23%	-23%	14%	51%	6%	3%	30%	
	5		20%	61%	61%	-50%	-1%	0%	0%	14%	2%	6%	3%	0%	
	6		0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	0%	0%	-2%	0%	
	∑		10 000	30 833	25 625	-12 643	1 806	-5 435	-5 435	6 875	20 417	-13 438	-14 375	6 111	
ННІ		2 000	2 000	1 688	2 125	2 131	2 500	2 949	3 700	3 700	2 125	2 188	2 038	2 669	

Интерпретация и визуализация поведения модифицированного индекса Херфиндаля-Хиршмана в условиях роста и сокращения рынка представлено соответственно на рис. 1, табл. 2 и на рис. 2 и табл. 3.

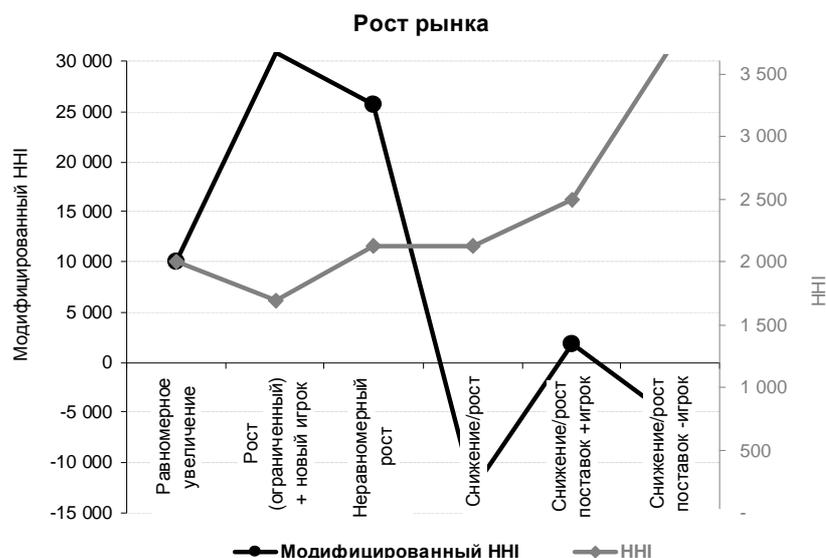


Рис. 1. Модифицированный ННІ при росте рынка

Таблица 2

Влияние на цену ННІ и модифицированного ННІ в случае роста рынка

Тип рынка	Значение		Влияние на превышение цены		Примечание
	ННІ модифицированный	ННІ	ННІ модифицированный	ННІ	
Равномерное увеличение	10 000	2 000			
Рост (ограниченный) + новый игрок	30 833	1 688	↑	↓	В случае отставания темпа увеличения поставок действующих производителей от темпа роста рынка, например, вследствие ограниченности производственной мощности, имеется вероятность повышения цены на рынке ввиду необеспечения в полном объеме потребностей выросшего рынка. Таким образом, несмотря на выход нового игрока и формального снижения ННІ, модифицированный ННІ увеличивается, что в свою очередь обуславливает возможность увеличения меры переплаты рынка.

Тип рынка	Значение		Влияние на превышение цены		Примечание
	НН модифицированный	НН	НН модифицированный	НН	
Неравномерный рост	25 625	2 125	↑	↑	В случае неравномерного увеличения поставок производителей ряд поставщиков имеет отставание темпа роста поставок (лимитируемой, например, мощностью производства) от темпа роста рынка, что в свою очередь может привести к увеличению ими цен и принятию их производителями, обладающими резервом мощности. Таким образом, увеличивается НН, равно как и модифицированный НН, который в свою очередь обуславливает возможность увеличения меры переплаты рынка.
Снижение/рост	-12 643	2 131	↓	↑	Случай сокращения рядом производителей поставок на фоне роста прочих приводит к возникновению избытка мощностей у снизивших объемы производителей и необходимостью снижения ими цены для восстановления загрузки. Таким образом, несмотря на формальное увеличение НН, происходит снижение модифицированного НН, которое может привести к снижению меры переплаты рынка.
Снижение/рост поставок + игрок	1 806	2 500	↓	↑	При наличии разнонаправленных динамике рынка изменений объемов поставок игроков, усугубляемых выходом нового игрока, возникает стимул снижения цен со стороны игроков, теряющих объемы для восстановления традиционного уровня поставок и равновесных исторических долей рынка. При этом модифицированный НН сокращается, хотя НН формально увеличивается.

Тип рынка	Значение		Влияние на превышение цены		Примечание
	ННІ модифицированный	ННІ	ННІ модифицированный	ННІ	
Снижение/ рост поставок - игрок	-5 435	3 700	↓	↑	При наличии разнонаправленных динамике рынка изменений объемов поставок игроков, поддерживаемых уходом одного из них, возникает стимул сокращения цен со стороны игроков, теряющих объемы для восстановления традиционного уровня поставок и равновесных исторических долей рынка. При этом модифицированный ННІ сокращается, хотя ННІ формально увеличивается.

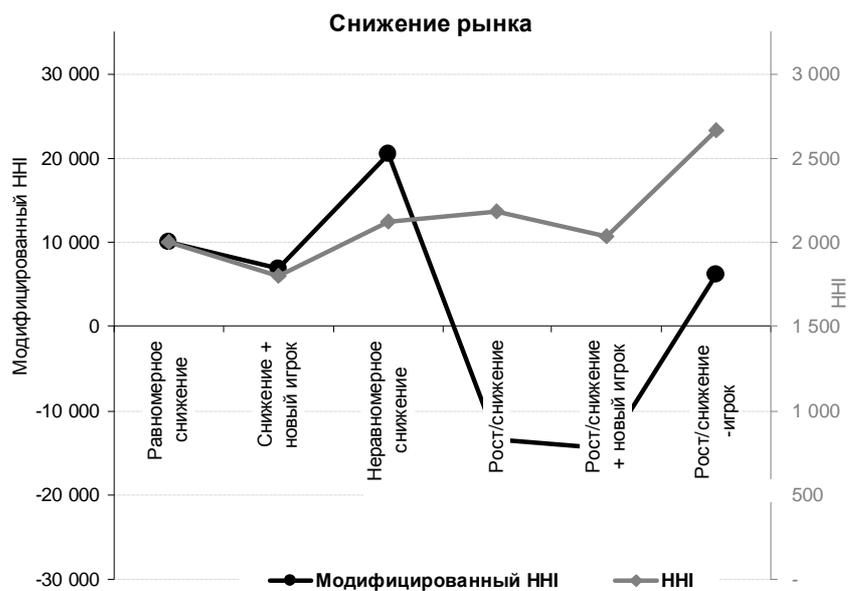


Рис. 2. Модифицированный ННІ при снижении рынка

Таблица 3

## Влияние на цену ННІ и модифицированного ННІ в случае сокращения рынка

Тип рынка	Значение		Влияние на превышение цены		Примечание
	ННІ модифицированный	ННІ	ННІ модифицированный	ННІ	
Равномерное снижение	10 000	2 000			
Снижение + новый игрок	6 875	1 797	↓	↓	Вход нового игрока на рынок в совокупности с сокращением рынка оказывает подавляющее воздействие на меру переплаты цены рынка. Синхронное сокращение ННІ и модифицированного ННІ.
Неравномерное снижение	20 417	2 125	↑	↑	Сокращение рынка компенсируется только одним из игроков, при этом доминирующие игроки не испытывают таким образом, критического давления фактора отсутствия загрузки производства и способны поддерживать высокую степень переплаты цены рынка. Синхронный рост ННІ и модифицированного ННІ.
Рост / снижение	-13 438	2 188	↓	↑	В случае разнонаправленного изменения поставок игроков возникает стимул снижения цены с целью восстановления традиционных долей рынка игроков по сравнению с минимальным уровнем отчетных поставок. Асинхронное сокращение модифицированного ННІ при формальном увеличении ННІ.
Рост / снижение + новый игрок	-14 375	2 038	↓	↑	В случае разнонаправленного изменения поставок игроков, усугубляемых входом нового игрока, возникает стимул снижения цены с целью восстановления традиционных долей рынка игроков с минимальным уровнем поставок. Асинхронное сокращение модифицированного ННІ при формальном увеличении ННІ.

Тип рынка	Значение		Влияние на превышение цены		Примечание
	ННІ модифицированный	ННІ	ННІ модифицированный	ННІ	
Рост / снижение - игрок	6 111	2 669	↓	↑	В случае разнонаправленного изменения поставок игроков возникает стимул снижения цены, с целью восстановления традиционных долей рынка игроков с минимальным уровнем поставок, частично компенсируемый выходом одного участника. Асинхронное сокращение модифицированного ННІ при формальном увеличении ННІ.

Учет модифицированного индекса Херфиндаля-Хиршмана приводит к возможности учета эффектов, которые не объясняются его традиционной формой, в частности:

- прослеживается положительная взаимосвязь роста модифицированного индекса Херфиндаля-Хиршмана и цен на рынке (в случае, например ограниченности производственных мощностей и выходе нового игрока), в то время как классический индекс Херфиндаля-Хиршмана снижается;

- прослеживается положительная взаимосвязь снижения модифицированного индекса Херфиндаля-Хиршмана и цен на рынке, (в случае разнонаправленного рынку изменения поставок действующих производителей), в то время как классический индекс Херфиндаля-Хиршмана повышается.

Таким образом, определенный модифицированный индекс Херфиндаля-Хиршмана позволяет установить адекватную зависимость изменения структуры и динамики рынка на формируемую цену реализации продукции.

Голубев В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов

## САМОДОСТАТОЧНОСТЬ ЭКОНОМИКИ РОССИИ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ МИРОВОГО ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА

В настоящее время в структуре мирового хозяйства происходят значительные изменения, проявлением которых являются падения на финансовых рынках, постепенное снижение роли доллара как основной мировой валюты, национализация ряда банков, банкротство крупных компаний и т.д. Все это обуславливает изменение отношения к ориентирам экономического развития, ценностям рынка как института, роли государства в системе мирового хозяйства, что подтверждает активная деятельность различных народов за право самоопределения, формирование самостоятельных государств, мировой финансовый кризис и т.д. На фоне этих событий представляет интерес трансформация экономических ценностей либерализма и перспективы развития в данных условиях национальной экономики России.

Национальная экономика представляет собой одну из основных составляющих государство социальных систем, функционирующую в тесной взаимосвязи со всеми остальными системами политической, правовой, системой образования, науки и т.д. Каждая из них занимает свою функциональную нишу. Так, экономика поддерживает материальную среду существования человека. Экономические системы различных государств обладают уникальной конфигурацией, экономика развивается в общем русле развития государства и соответствует ему. Определяющими условиями развития государства и экономики являются природно-климатические, ресурсные, географические. В зависимости от них изначально различные экономические системы развивались по-разному, и в настоящее время это привело к наличию множества национальных систем, имеющих свои особенности. В частности, свои особенности имеет национальная экономика России.

Национальная экономика России функционирует и развивается в сложных природно-климатических условиях, выраженных в суровом климате, коротком лете, плохих почвах [См., напр.: Синяков С.В. Идеология и реформы // Философия хозяйства. Альманах Центра общественных наук и экономического факультета МГУ им. Ломоносова. 2000. №6]. При этом территория России обладает огромным ресурсным потенциалом, который требует освоения, что далеко не так просто. Возникающие в данном контексте трудности связаны с тем, что за исключением железных руд и калийных солей ресурсы сосредоточены в восточных районах (в Сибири и на Дальнем Востоке), а основные производства, использующие их – в европейской части России. Это приводит к необходимости перевозок огромных масс грузов с востока на запад. Все это обуславливает

необходимость совместных усилий большого количества людей для возделывания земли, сбора урожая, строительства инфраструктуры, освоения полезных ископаемых, что имело исключительное значение на первоначальном этапе развития, и не потеряло свою актуальность и в настоящее время.

В таких жестких условиях в России сложилась особая культура хозяйствования. Ее отличительной особенностью является общинность используемых моделей хозяйствования, требующих объединения усилий различных социальных групп в государстве и централизованного управления для эффективного функционирования данных процессов. В процессе сложного исторического развития с множеством войн и кардинальными изменениями государственного устройства в России сформировалась единая устойчивая, адаптивная и гибкая хозяйственная инфраструктура, охватывающая огромную территорию. Даже в 90-х годах двадцатого столетия, когда Россия стояла на грани прекращения существования как единого государства, когда были разрушены существующие хозяйственные связи и произошел отход от плановой экономики, национальная экономика сохранила свою целостность, и адаптировалась к новым условиям за достаточно короткое в исторических масштабах время.

Подобная устойчивость и адаптивность национальной экономики России является отражением ее самодостаточности, под которой понимается не просто определенное состояние экономической системы, но лежащие в основании экономики принципы, структурообразующие характеристики, позволяющие определить ее как самодостаточную. Самодостаточность характеризуется ориентацией экономической системы на производство, созидание, самообеспечение, следовательно, использование преимущественно внутренних ресурсов в процессе функционирования. Здесь под производством понимается процесс формирования продуктов, созидательная деятельность человека, не ограниченная материальным производством. Подобная экономическая система является экономикой государства, она интегрирована в него, тесно взаимосвязана со всеми его подсистемами и ее функционирование соответствует целям развития государства. Данная особенность экономики позволяет поддерживать и обеспечивать непрерывное поступательное развитие общества, при этом не ограничиваясь удовлетворением потребностей человека.

Подобное качество национальной экономики России позволяет ожидать быстрой адаптации хозяйственной инфраструктуры к изменившимся экономическим условиям на современном этапе развития. Конечно, сложно в текущей ситуации говорить о стабильности, поскольку мировой экономический кризис как внешний фактор нарушает привычный характер функционирования экономики. Но в этих условиях появляется возможность провести структурные преобразования в экономике, оздоровить финансовую и банковскую системы, провести диверсификацию хозяйственной инфраструктуры. Новые условия функционирования задают необходимость развития отечественного производства и использования внутренних

источников финансирования. Кроме этого, в таких условиях усиливается централизация экономической системы, что, учитывая особенности Российского государства, является необходимым для сохранения целостности и развития.

Самодостаточность экономики России позволяет ей функционировать и развиваться в условиях постоянного воздействия негативных факторов мировой экономики и ведет к усилению ее роли в структуре мирового хозяйства. В настоящее время Россия преодолела трудности периода становления новой государственности, хозяйственная структура претерпела значительные изменения и накопила достаточный потенциал, для того чтобы справиться с возникшими трудностями и использовать их как возможность для развития. Мировой финансовый кризис – это новые условия функционирования национальной экономики России, и самодостаточность является определяющим фактором, который позволяет ей функционировать и сохранять свою целостность на данном этапе.

Грищенко М.А., аспирант  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
г. Санкт-Петербург

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

В современных условиях постоянного технического усовершенствования подвижного состава, создания новых высокоскоростных моделей локомотивов и вагонов, способных развивать скорость 200 км/ч и более, а также повышения грузоподъемности вагонов и, следовательно, повышения мощности грузовых тепловозов и электровозов, огромную роль играет надежность электрооборудования. Несмотря на это, количество неисправностей электрооборудования подвижного состава намного превышает количество неисправностей и отказов по ходовым частям, автотормозному, автосцепному и прочим видам оборудования.

Электрические машины, применяемые на современных локомотивах, вынуждены работать в экстремальных условиях: перепады температуры окружающей среды, повышенная влажность или сухость воздуха, различные электродинамические воздействия и прочие неблагоприятные факторы снижают эффективность их работы. Перегрев тягового электродвигателя может возникнуть по нескольким причинам: недостаток охлаждающего воздуха, засоренность вентиляционных каналов, некачественная пропитка изоляции и т.п., но, независимо от причины возникновения, перегрев нарушает контакт между выводами проводников обмотки якоря и петушками коллектора, что вызывает значительное увеличение переходных сопротивлений. При этом возникают неравномерные участки нагрева, приводящие к повреждению изоляции или к обгоранию проводников. Степень нагрева обмоток зависит от нагрузки и времени работы, а величина допустимой температуры перегрева обмоток и коллектора, то есть превышение ее над температурой наружного воздуха, зависит от класса изоляции тяговых электродвигателей. (В зависимости от компонентов, входящих в состав изоляции, ее разделяют на классы нагревостойкости А, В, Е, F, H и С. В тяговых электродвигателях наиболее широко используют изоляцию класса В, F и H).

Многие научно-исследовательские работы были посвящены изучению и оценке температурных характеристик тяговой электрической машины в условиях эксплуатации. В качестве одного из методов было предложено использовать для контроля температуры коллектора и обмоток якоря анализ расхода и температуры охлаждающего воздуха на входе и выходе его из электрической машины. Но данный метод имеет ряд существенных недостатков, например, не учитываются такие существенные факторы, как химический и физический состав охлаждающего воздуха, качество фильтров, технические характеристики вентиляторов. При использовании подобной оценки теплового состояния узлов электрической машины невозможно

определить, какие участки поверхности изоляции обмоток нагреваются за наименьший промежуток времени, а также измерить температуру перегретого узла тягового электродвигателя с достаточно высокой точностью.

Наиболее оптимальным методом в данном случае будет являться метод непосредственной оценки температуры обмотки. При его использовании существует возможность избежать возникновения погрешностей измерения, так как будет производиться измерение непосредственно температуры поверхностей коллектора и якоря электрической машины, а не температуры воздуха, охлаждающего эти узлы.

Для того чтобы оценить тепловое состояние обмотки якоря тяговой электрической машины, оценить распределение тепловых полей на поверхности ее узлов, была построена компьютерная модель якоря тягового электродвигателя ЭДУ-133 с использованием программного пакета Solid Works, а также его приложения COSMOS Works. (Тяговый электродвигатель ЭДУ-133 предназначен для привода колесных пар грузовых, пассажирских и маневровых тепловозов с электрической передачей постоянного и переменного тока и является комплектующим изделием тепловозов). Расчет в модели осуществляется методом конечных элементов, производится построение сетки на поверхностях якоря тягового электродвигателя и в зависимости от поставленной задачи существует возможность более точного или более “грубого” отображения полученных результатов.

В данном программном пакете был рассмотрен процесс теплопередачи в пазу якоря от обмотки к железу якоря. При этом, если ранее изоляция и проводник с током в различных расчетах электрических машин заменялись условно однородным телом с усредненными коэффициентами теплопроводности, то при использовании в расчете данной модели были учтены особенности химических и физических свойств материалов, из которых изготавливаются рассматриваемые узлы тягового двигателя.

При использовании построенной математической модели результаты теплового анализа могут быть представлены с достаточной точностью, а также по данной модели можно проанализировать процесс теплопередачи между любыми узлами якоря тягового электродвигателя.

Предложенная тепловая модель дает возможность рассчитывать температурные поля якоря тягового электродвигателя с погрешностью не более 5%.

Дубровский А.С., заместитель председателя профкома студентов УГТУ-УПИ  
г. Екатеринбург

## РОЛЬ СТУДЕНЧЕСТВА В ИНТЕГРАЦИИ ВУЗА В БОЛОНСКИЙ ПРОЦЕСС

С момента подписания «Болонской» декларации в 1999 г. количество целей Болонского процесса значительно увеличилось. К шести целям Болонской декларации прибавились еще три в результате подписания Пражского коммюнике (2001) и позже еще четыре в результате встречи министров в Берлине (2003). Цель «признание квалификаций и периодов обучения» была сформулирована в Берлинском коммюнике как расширение ранее заявленной цели Болонской декларации «создание системы легко читаемых и сравнимых степеней».

В связи с этим планом мероприятий по реализации Болонской декларации в системе высшего образования РФ на 2005-2010 года (приказ Минобрнауки от 15.02.2005 № 40) предусматривается утверждение и введение в действие гос. образовательных стандартов 3-го поколения на основе компетентного подхода.

Компетентный подход в РФ - это инновация, возникающая в русле отечественной культурно-образовательной традиции, основными особенностями которой являются отраслевая направленность высшего профессионального образования, включение практик в образовательный процесс, построение образования на основе науки.

Компетентный подход предполагает переход от понятия "квалификация" к понятию "компетентность". Эти понятия хотя и находятся во взаимодействии, но не отождествляются. Квалификация не отменяется, но она недостаточна как интегрированный результат образования в новых условиях. Компетенции, как более широкое понятие - это обозначение интегральных характеристик качества подготовки выпускника, результата образования, знания, которые активизируются и обогащаются в деятельности по мере возникновения непредсказуемых проблем в условиях нарастающей динамики развития общества.

Характерные черты такого развития:

- принципиальные изменения во всех профессиях,
- появление новых профессий, возрастание роли мобильности в течение трудовой жизни.
- децентрализация экономической ответственности,
- забота о качестве работы,
- способность к обучению в течение всей жизни.

С учетом этого роль студенческих организаций совместно с вузом - подготовить выпускника к новому понятию образования в течение всей жизни в системе многообразных, полных риска, форм занятости.

Присоединение России к Болонскому соглашению привело к пониманию, что профессиональная компетентность выпускника является

основным результатом деятельности вуза, определяющим его конкурентоспособность не только на региональном, но и на международном уровне. Профессиональная компетентность отдельной личности фактически определяет его судьбу, возможность активного включения в новую систему общественных отношений и ценностей, в соответствии с требованиями новой экономики.

Формирование ключевых компетенций специалиста, интегрирующихся в профессиональную компетентность, должно происходить с первых дней обучения в вузе. Ответственность за конечный результат в полной мере разделяют и органы ССУ, и преподаватели, и конечно сами студенты. Сегодня даже в терминологии, относящейся к образовательному процессу в высшей школе, отражается изменение весовых коэффициентов терминов «обучение» и «подготовка» в сторону увеличения последнего. Сегодня в студенческой среде должно быть как можно меньше личностей, имеющих потребительское отношение к преподавателю, которое подразумевает научить, как выполнять конкретное задание. И гораздо больше доля студентов, которая нуждалась бы лишь в постановке задачи.

Говоря, о компетенциях нельзя забывать, что они формируются в результате изучения определенных дисциплин, по определенным образовательным программам. И органам ССУ необходимо четко определить, какова же их роль в формировании новых образовательных программ, а значит, и компетентной личности.

Сегодня студент в отношениях работодатель-выпускник является активным звеном, а работодатель пассивной. Потому что на одно рабочее место приходится несколько высококвалифицированных специалистов, и работодатель, который предлагает хорошие трудовые условия, имеет возможность из огромного предложения рынка труда выбирать самого лучшего работника. А отсюда, уже вытекает роль студента, который является не только объектом и потребителем образовательных услуг, но и непосредственным участником очень жесткой и беспощадной конкурентной борьбы на рынке труда. И роль эта заключается в анализе эффективности получаемых знаний, и самое главное – в определении необходимости тех или иных компетенций, исходя непосредственно из работы на том или ином предприятии. Роль же органов студенческого самоуправления - активизировать студенческие умы и донести до них основу; роль «компетентного специалиста» - это умение ставить перед собой задачу, находить механизмы её достижения и конечно добиваться её, а также развивать в себе способность к самообразованию в течение всей жизни.

Вместе с вузом во все инновационные процессы и преобразования как одна из его составляющих вошла и Профсоюзная организация студентов (Союз студентов) УГТУ-УПИ. Проанализировав ситуацию и определив новую задачу, поставленную перед организацией на 59-й выборной конференции организации, в структуру было введено новое направление «Качество образования», которое как раз и занимается вопросами включения студенчества в образовательный процесс.

В настоящее время происходящие в стране социально-экономические изменения требуют коренного улучшения подготовки специалистов. Но так как качественная подготовка специалиста не возможна без наличия непрерывного контроля в течение всего периода обучения, поэтому один из новых, а для профсоюзных организаций наверняка инновационный - это проект ПОС (Союза студентов) УГТУ-УПИ - система рейтингового контроля, которая вызвана потребностью общества в получении независимой, объективной информации об учебных и общих достижениях обучающихся.

Под рейтинговым контролем понимается объективный показатель, отражающий суммарную оценку видов учебной и внеучебной деятельности.

Рейтинговая система контроля - это система, при которой учету, контролю и оцениванию подвергаются все виды учебной деятельности, участие в общественной и научной работе.

Благодаря данной системе, совместной работе с подразделениями вуза, а также усиленной работе студенческого актива в направлении реализации новых целей организации, качество и уровень образованности современного специалиста будет неуклонно расти.

Качественное образование - это единственная цель, которая не только объединяет абсолютное большинство студентов всех вузов всех форм обучения; это еще и цель, которая определяет направление движения органов студенческого самоуправления, как представителей и защитников прав и интересов студенчества; подключение к формированию системы образования, которая плавно перерастает в сферу услуг.

Сафина Л.Р., специалист по интегрированной системе менеджмента республики Башкортостан, ООО «Башкирская медь»  
г. Сибай

## ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

Оценка инвестиционной привлекательности территории является важнейшим аспектом принятия любого инвестиционного решения. Чем сложнее ситуация в регионе, тем в большей степени опыт и интуиция инвестора должны опираться на результаты экспертной оценки инвестиционного климата. При этом инвестиционные решения относятся к числу наиболее сложных. Они основаны на многовариантной, многокритериальной оценке целого ряда факторов и тенденций, зачастую разнонаправленных.

Указом Президента Республики Башкортостан №УП – 636 от 30 декабря 2007 года утверждена целевая программа на 2008-2010 годы, где предусмотрены мероприятия по повышению инвестиционной активности и привлекательности регионов республики. Исходя из этого во всех городах и районах республики разработана программа социально-экономического развития до 2010 года. Анализ и оценка хода реализации намеченных мероприятий свидетельствуют о тенденциях укрепления и расширения экономической базы, а также повышения уровня жизни населения [1].

В условиях активизации инновационных процессов и повышения уровня конкуренции на внутренних и внешних рынках инвестиции становятся основным двигателем роста [2].

Республика Башкортостан входит в число регионов с хорошим инвестиционным потенциалом и умеренным инвестиционным риском. Богатые природные ресурсы, развитые промышленность, сельское хозяйство, удобное географическое положение, политическая и экономическая стабильность обеспечивают высокие рейтинги международных рейтинговых агентств. В 2006 году Башкортостан занимал второе место в Приволжском федеральном округе (ПФО) по объему инвестиций в основной капитал (104 млрд. руб.). Вместе с тем по привлечению иностранных инвестиций (105 млн. дол. США) республика находится на седьмом месте в ПФО, то есть развивается в основном за счет собственных резервов, при этом наметилась вполне реальная тенденция роста инвестиций в основной капитал (таблица).

Наименование показателя	Годы							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Валовой региональный продукт	104,4	105,6	108,1	102,7	108,9	106,2	108,0	107,7
Продукция промышленности	106,5	108,4	106,3	102,8	107,6	103,3	106,2	106,0
Продукция сельского хозяйства	105,4	98,3	114,7	109,2	105,1	101,5	99,3	109,0
Инвестиции в основной капитал	105,1	137,9	117,9	90,5	102,3	106,0	110,6	109,6

Несмотря на то, что Башкортостан находится в зоне рискованного земледелия, здесь имеются условия для притока инвестиций в сельское хозяйство:

- удобное природно-географическое размещение (экономически выгодное расположение Башкортостана на стыке Европы и Азии, близость границ Татарстана, Удмуртии, Пермской, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областей; расстояние от Уфы до Москвы – 1,3 тыс. км; имеется легкий доступ в крупнейшие центры России и СНГ и др.);

- хорошая экология (отсутствие атомных электростанций);

- благоприятная социально-политическая ситуация (политическая стабильность; отсутствие дестабилизирующих факторов; тесное сотрудничество законодательной и исполнительной ветвей власти; развитая система местного самоуправления и др.);

- основательная нормативно-правовая база инвестиций (активное использование Закона «Об иностранной инвестиционной деятельности в Республике Башкортостан», наличие программы повышения инвестиционной привлекательности РБ; невысокий уровень риска, обеспеченный системой гарантий со стороны Правительства республики (включая Гарантийный фонд); хорошие налоговые вычеты инвесторам и др.);

- достаточный сельскохозяйственный потенциал (более низкие объемы падения производства сельскохозяйственной продукции, сокращения поголовья животных и выведения сельскохозяйственных земель из оборота, чем в других регионах России) [3].

Реализация инновационного подхода требует объединения усилий всех участников процесса – государственных и бизнес-структур, научного и вузовского сообщества. По существу, инновационная стратегия развития – это новая идеология, которая должна проникнуть в сознание всего общества. И это – задача общенационального масштаба, которая должна решаться при активной политико-правовой поддержке государства [4].

## Список литературы

1. Пащенко С. Инвестиционная привлекательность региона (на примере Илишевского района)// Экономика и управление. Научно-политический журнал. 2008. №4. С. 98.
2. Валинурова Л. Инвестирование модернизации основного капитала: проблемы и пути решения// Экономика и управление. Научно-политический журнал. 2008 №3. С. 74.
3. Кликич Л. Повышение инвестиционной привлекательности сельского хозяйства// Экономика и управление. Научно-политический журнал. 2008. №1. С. 69-70.
4. Шаммазов А. Образование и наука – фундамент инновационной экономики// Экономика и управление. Научно-политический журнал. 2008. №3. С. 12.

Курбанова Э.Д., аспирант  
Полухин В.А., проф., д-р физ.- мат. наук  
Институт металлургии УрО РАН  
г. Екатеринбург

## ТЕРМОРАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ИЗОМЕРИЗАЦИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОКЛАСТЕРОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ (Ni, Pd) ПО ДАННЫМ МД-ЭКСПЕРИМЕНТА

Одним из важнейших приложений нанодисперсных (включая нанокластерные состояния) металлических порошков переходных металлов при точной их масс-спектрометрической калибровке по размерам и форме является создание как эффективных катализаторов, так и носителей информации в форме двумерных массивов нанокластеров, иммобилизованных на диэлектрических подложках. При использовании в качестве катализаторов нанокластеров переходных металлов производительность каталитического гидрирования и дегидрирования резко возрастает по сравнению с использованием традиционных катализаторов. Отметим, что оптимальное число атомов в совершенных по структуре наночастицах переходных металлов не должно выходить за пределы одной тысячи, что подтверждено экспериментально на примере икосаэдрических (Ih) нанокластеров Pd<sub>561</sub> и Ni<sub>147-561</sub>. Сложность проблемы состоит в достижении заданной формы нанокластеров – полиэдрической, Ih или сферической, а также совершенства граничной структуры. Важнейшей задачей является изучение термостабильности кластеров и сохранение их функциональных свойств при высоких температурах в режиме эксплуатации. Несмотря на то, что данная проблема актуальна и термические эффекты, как и плавление металлических наносистем, систематически исследуются, еще многое в физико-химических процессах этих явлений остается не вполне ясным.

Компьютерное моделирование с использованием физически обоснованных потенциалов межатомного взаимодействия позволяет на атомно-молекулярном уровне выявить основные закономерности нуклеации, роста нанокластеров, последовательного и бездефектного формирования координационных оболочек, структурно-изомеральных переходов и морфологических особенностей кластерных поверхностей, а также на основе известной формы нанокластеров реконструировать возможные варианты их самоорганизации при формировании «2D-спейсеров» – модельных периодических, сеточных или аморфных структур. Нами проведен детальный анализ результатов МД-моделирования с применением межатомных EAM-потенциалов изменения при нагреве структуры и термодинамических свойств канонических кластеров Цини Ni<sub>N</sub> и Pd<sub>N</sub>, 13 ≤ N ≤ 561 с различными исходными координациями: ГЦК, ОЦК, Ih. При моделировании нагрева ГЦК нанокластеров были выявлены специфические терморазмерные эффекты – потери структурной стабильности, инициированной изомеральной

трансформацией ГЦК-кубуктаэдров в икосаэдры. По аналогии с макроскопическими телами сам процесс плавления кластеров также начинался с поверхности, т.е. с внешней оболочки при жестком закреплении в своих узлах колебаний атомов внутренних оболочек (центра). Более ясную картину о состоянии слоев дает относительная избыточная потенциальная энергия, которая определяется как  $\Delta U / \langle U \rangle = (U_n - \langle U \rangle) / \langle U \rangle$ , где  $U_n$  – потенциальная энергия атомов, составляющих  $n$ -ый слой. Увеличение кинетической энергии наночастиц вызывает перераспределение потенциальной энергии в их концентрических слоях (рис. 1). Кинетическая термостабильность нанокластеров оценивалась через коэффициенты самодиффузии  $D$ , их радиальные  $D_r$  и тангенциальные  $D_t$  компоненты.

Температурные интервалы плавления кластеров в зависимости от числа в них атомов устанавливались по изменению потенциальных энергий – по границам начала и конца плавного ступенчатого роста кривой при нагреве от 300 К до 1500 К, к примеру, для  $Ni_N$  и  $Pd_N$  при  $N = 55$  интервалы плавления 200-300 К и 650-870 К при  $N = 561$ . Таким образом, процесс плавления кластеров в отличие от плавления макроскопических кристаллов “растягивается” на значительный температурный интервал, которому соответствует стадия «квазиплавления» при одновременном сосуществовании твердоподобного состояния, к примеру для  $N_{561}$  147 атомов центральных оболочек и 414 во «флюидном» (для кластера из 5 оболочек и 561 атомов) при нагреве до 650 К (т.е.  $T < T_{пл} / 3$ ). На стадии квазиплавления, не имеющем аналога среди обычных кристаллических систем, во флюидное состояние последовательно переходят атомы всех оболочек, завершая фазовый переход плавления и определяя точку бифуркации: дальнейший нагрев – развитие процесса плавления со «структурной гомогенизацией» расплава, охлаждение – вероятное возвращение к исходной ситуации. При этом размерная зависимость разности температур плавления макроскопического кристалла и нанокластера близка закону обратной пропорциональной зависимости от размера кластера.

Трансформация от твердоподобного состояния к флюидному может быть проиллюстрирована не только ходом калорической кривой (потенциальной энергии  $U(T)$ ), но и температурной зависимостью кинетических коэффициентов – самодиффузии  $D_s(T)$  и сдвиговой вязкости. Полный коэффициент самодиффузии включает заметно отличающиеся компоненты – радиальной  $D_R(T)$  и плавления, проявляющегося как терморазмерный эффект, отношение среднеквадратичного диффузионного смещения атома к среднему межатомному расстоянию существенно увеличивается при уменьшении размера нанокластера. По сравнению с 13% критерием Линдемана уже на стадии квазиплавления во внешних флюидных оболочках указанное отношение, имеет радиальную зависимость с возрастанием от 10% для центральных атомов до 40% в периферийных оболочках и поверхности. Анализ атомных смещений при разогреве нанокластеров и плавлении показал, что в каждой координационной оболочке

имеется существенно ненулевая суммарная тангенциальная составляющая диффузионного движения. С учетом взаимообменного механизма миграции атомов и сохранения общего момента движения всего кластера суммарные тангенциальные градиенты диффузионных смещений в смежных оболочках естественно оказываются противоположно направлены при условии  $D_\tau \gg D_R$ . Однако, по мере последовательного проплавления оболочек вплоть до центра постепенно рост обеих составляющих выравнивается, но преобладающей все еще остается тангенциальная компонента  $D_\tau \geq D_R$  при сохранении оболочечной структуры. Усиливающаяся хаотизация приводит в итоге к разрушению оболочечной структуры кластера, а также исчезновению эффекта встречного скольжения оболочек, что отражено в прогибе калорических кривых в интервале 1150 К (рис. 1, кривая 1). В какой-то мере такой переход является аналогом структурных переходов при двухстадийном плавлении в направлении одной из координат в нематиках – жидких кристаллах.

Терморазмерные эффекты проявляются не только в снижении температур плавления, исходя из анализа термической зависимости потенциальной энергии (рис. 2) в сравнении с температурой плавления объемной системы, но и других термодинамических характеристик – давления, внутреннего напряжения и аномальной теплоемкости. Наиболее устойчива к нагреву Ih-структура кластеров с числом атомов в пределах  $10^3$  (см. кривую 3 на рис. 1 и рис. 2), свыше этого значения усиливается термостабильность крупных ГЦК кластеров, однако более устойчивыми кристаллическими координациями на завершающем этапе плавления оказались ОЦК:

ГЦК  $\rightarrow$   $(\text{ОЦК})_x + (\text{Ih})_{1-x}$ ,  $x \approx 0.2$  в соответствии с теорией перколяции. Процесс структурных изменений при быстром охлаждении носит необратимый характер при сохранении аморфоподобной структуры с формированием к 300 К высокоэнергетичного со стеклообразной конфигурацией кластера (рис. 1, кривая 2).

Твердоподобная конфигурация с регулярными координациями ОЦК или Ih и со значительной меньшей вероятностью - ГЦК генерируется только в условиях крайне медленного охлаждения капли. Началу процесса плавления предшествует небольшой интервал температурного спада при росте потенциальной энергии в связи с течением структурной изомеризации кластера. В данном случае при сохранении твердоподобного состояния

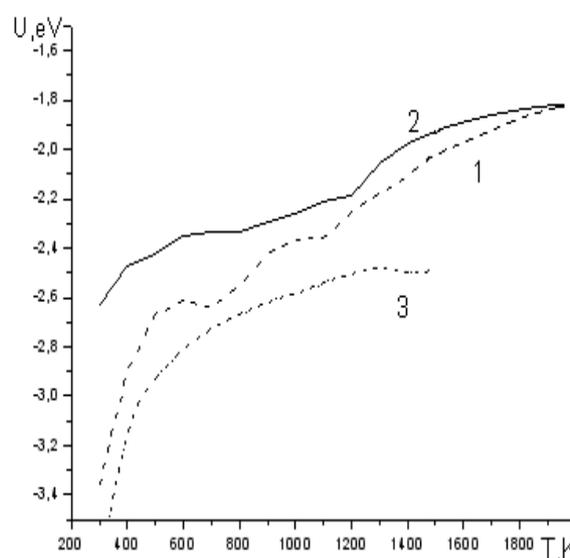


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии от температуры для нанокластеров: нагрев 1-ГЦК  $\text{Ni}_{309}$ ; 3- Ih  $\text{Ni}_{561}$ ; 2-стеклование расплава  $\text{Ni}_{309}$

кластера его структура с ростом диффузии испытывает сильные координационные флуктуации, включая также переходные гибридные формы.

Результаты представленных расчетов для Ni и Pd качественно согласуются с точностью до 5% с учетом масштабных коэффициентов - отношений их температур плавления и межатомных расстояний.

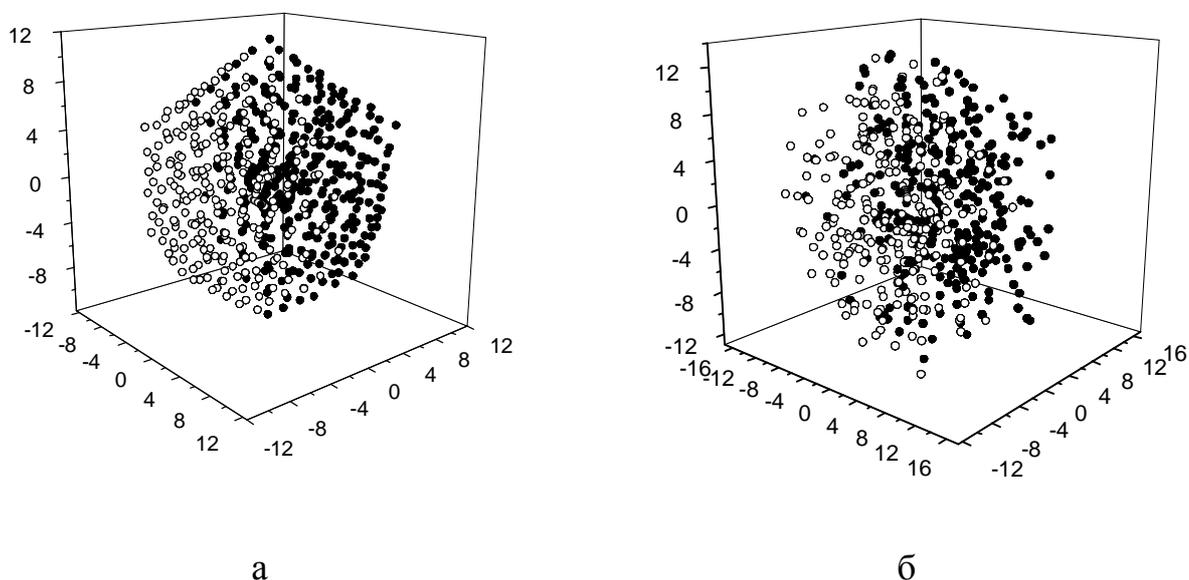


Рис. 2. Наночастица  $Ni_{561}$  с исходной Ih структурой: а –  $T=300$  К; б –  $1500$  К

Сунцов А.Ю., инженер ИХТТ УрО РАН

Кожевников В.Л., д-р хим. наук, член-корр. РАН, директор Института химии твердого тела УрО РАН

г. Екатеринбург

## ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОПЛОТНЫХ МЕМБРАН СО СМЕШАННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Возможность выделения чистого кислорода из воздуха является важной задачей и имеет широкие перспективы для применения во многих областях науки и техники. В частности играет огромную роль в реакторах парциального окисления углеводородов, где интенсивность подачи кислорода может регулировать степень окисления реагентов.

Такой процесс возможен при использовании керамических мембран, обладающих смешанной проводимостью. Мембранные материалы для таких реакторов могут изготавливаться в виде таблеток и в виде трубок. Формирование и изготовка таких материалов - процесс довольно емкий, состоящий из нескольких этапов:

1. Синтез порошкообразного состава, обладающего смешанной проводимостью. В качестве таких материалов использовали сложные оксиды с перовскитоподобной структурой. Один из простейших методов получения – глицин-нитратный, основанный на образовании металлорганических комплексов в нитратном растворе, с последующим удалением органики. При этом получают неоднородные образцы с достаточно однородными размерами частиц (100 нм – 1 мкм) (рис. 1).

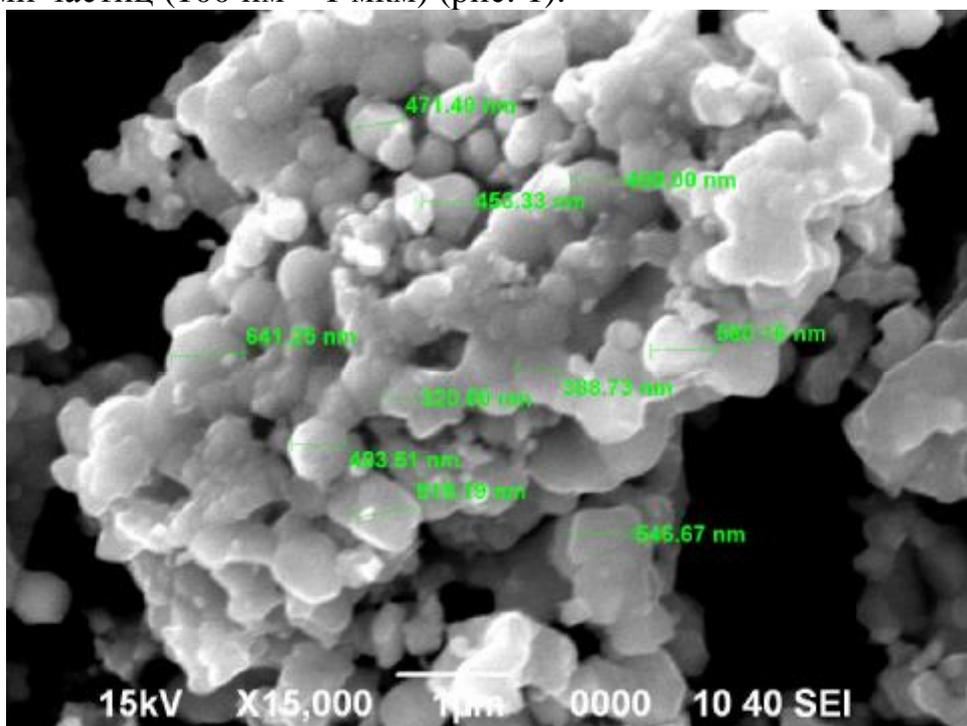


Рис. 1. Микрофотография феррита, обожженного при 1100°C

2. Подготовка порошка. Синтезированный и обожженный образец подвергали рассеву и помолу для достижения равномерного распределения частиц по размерам и форме.

3. Создание литьевой системы, которая состоит из порошка необходимого состава и связки. Связка обеспечивает равномерное течение частиц порошка и перемещение их относительно друг друга. Для достижения лучшего контакта порошка со связкой использовали поверхностно-активные вещества, например жирные кислоты. В качестве связки чаще всего использовали тяжелые органические наполнители, температура плавления которых составляет 50-70°C.

4. Экструзивное формирование трубчатой мембраны. Для этих целей был использован экструдер HAAKE PolyDrive R252 (рис. 2). Литьевая система погружается в шнековое пространство, где последовательно расположены три печи. Затем эта вязкая масса упирается в головку в виде конуса и выдавливается уже в виде трубки. Оптимальные размеры таких трубой для небольших экспериментов составляют 5-10 см.



Рис. 2 Экструдер HAAKE PolyDrive R252

5. Отвод связки и спекание. Важные этапы обработки полученных изделий. В результате процесса экструзии получается трубка необходимой длины, состоящая из затвердевшей смеси порошка и связки. Для отвода связки трубку помещали в адсорбент и нагревали до 200°C. Это обеспечивало плавный переход компонентов связки из трубки в состав

адсорбента и сохранение формы мембраны. Процесс спекания проводили в высокотемпературных печах Nabertherm, при температурах порядка 1200-1300° в зависимости от состава порошка

В результате проведенных операций получают керамические трубчатые мембраны (рис. 3), которые могут использоваться для сепарации кислорода. Важными характеристиками такой мембраны являются коэффициент термического расширения, площадь поверхности, устойчивость к восстановительным атмосферам при высоких температурах. Подбирая различные виды материалов, можно получить трубки необходимого состава для определенных задач.



Рис. 3. Трубчатые мембраны, полученные методом экструзии

Михайловская З.А., студент  
Морозова М.В., аспирант  
Буянова Е.С., доц., канд. хим. наук  
ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»  
г. Екатеринбург

## СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{BiCrVO}_x$

Ванадат висмута  $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$  и твердые растворы на его основе состава  $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{Me}_x\text{O}_{11-\delta}$ , получившие общее название  $\text{BiMeVO}_x$ , обладают высокими значениями электропроводности при сравнительно низких температурах (порядка  $500^\circ\text{C}$ ) и являются перспективным материалом для датчиков кислорода, электролитов топливных элементов, превосходя по некоторым параметрам современные материалы, используемые в данной области. Для их успешного использования в качестве кислородно-ионных проводников требуется получение керамики устойчивой высокопроводящей модификации, с малым размером зерен и хорошими термомеханическими свойствами.

В работе получен ряд твердых растворов состава  $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_{11-\delta}$  ( $x=0.1-0.7$ ) с привлечением стандартной керамической технологии и метода пиролиза полимерно-солевых композиций. Граница области гомогенности твердых растворов составляет  $x < 0.5$ . Показано, что, используя методы синтеза через жидкие прекурсоры, удастся уменьшить время синтеза в 2-4 раза, методами оптической микроскопии и лазерной дифракции установлено, что размер зерен порошков сложных оксидов  $\text{BiMeVO}_x$  уменьшается в 2-10 раз при использовании этих методов и составляет единицы мкм (рис. 1).

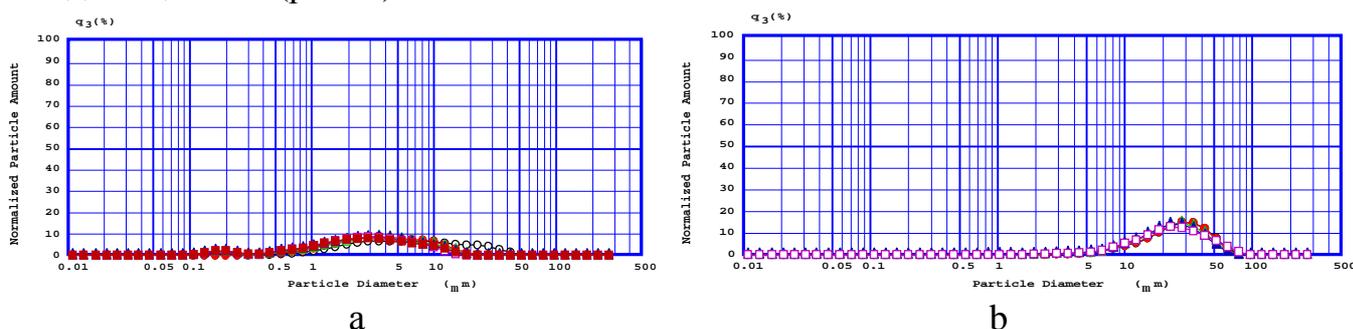


Рис. 1. Распределение частиц по размерам: а)  $\text{Bi}_4\text{V}_{1.6}\text{Cr}_{0.4}\text{O}_{10.6}$ , синтез через жидкие прекурсоры, б)  $\text{Bi}_4\text{V}_{1.55}\text{Cr}_{0.45}\text{O}_{10.55}$ , твердофазный синтез

Твердые растворы рентгенографически аттестованы, по дифрактограммам рассчитаны параметры элементарных ячеек. Области существования полиморфных модификаций исследуемых твердых растворов приведены в таблице.

Модификационные характеристики твердых растворов  $\text{Vi}_4\text{V}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_{11-\delta}$

Концентрация допанта, $x$	Сингония	Пр. гр.
0.1-0.3	орторомбическая	<i>Amam</i>
0.4, 0.45	тетрагональная	<i>I/4mmm</i>

На примере состава  $\text{Vi}_4\text{Cr}_{0.3}\text{V}_{1.7}\text{O}_{10.7}$  выполнены высокотемпературные рентгеноструктурные исследования (дифрактометр D8 ADVANCE, высокотемпературная камера Anton Paar НТК 1200, позиционно-чувствительный детектор) в диапазоне температур 30-750°C на воздухе с шагом 10 градусов при нагреве и 50 градусов при охлаждении. По дифрактограммам рассчитаны параметры элементарной ячейки (рис. 2). Показано, что при комнатной температуре образец кристаллизуется в орторомбической модификации с близкими параметрами  $a$  и  $b$  элементарной ячейки. Обратимый фазовый переход в тетрагональную модификацию происходит при 615°C. Температура перехода и структурные характеристики воспроизводятся при нескольких циклах нагрев-охлаждение.

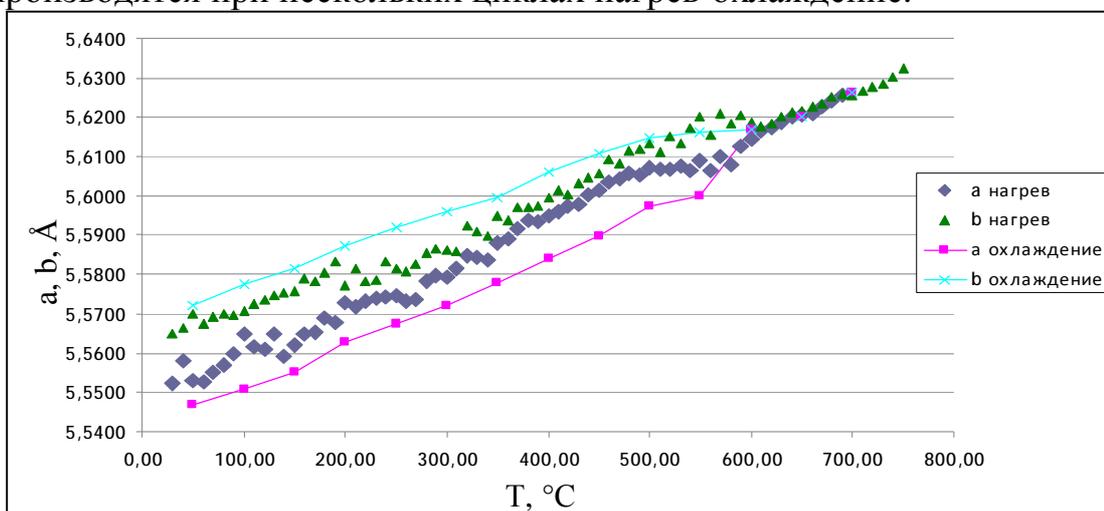


Рис. 2. Температурные зависимости параметров решётки  $a$  и  $b$   $\text{Vi}_4\text{Cr}_{0.3}\text{V}_{1.7}\text{O}_{10.7}$  (при переходе в тетрагональную симметрию параметры умножены на  $\sqrt{2}$ )

Электропроводность твердых растворов как функция состава и температуры исследовалась методом импедансной спектроскопии с использованием импедансметров Elins Z 350M и Z 2000. Типичные годографы импеданса образцов BICRVOX для различных температурных областей на примере состава  $\text{Vi}_4\text{Cr}_{0.1}\text{V}_{1.9}\text{O}_{10.9}$  представлены на рис. 3. При высокой температуре годограф представляет собой неразрешенный полукруг, переходящий в прямую линию. В низкотемпературном интервале полукруг прорисовывается более четко, отвечая, по-видимому, импедансу границ зерен. При понижении температуры диаметр этого полукруга увеличивается, что свидетельствует о значительном увеличении зернограницной составляющей импеданса: сопротивление границ зерен увеличивается на  $1.5 \cdot 10^6$  Ом при понижении температуры на 25°C (рис. 3, а). На данных образцах разделить объемную и зернограницную составляющие импеданса при высоких температурах не представляется возможным. Это является

характерным для семейства ВІМЕVOX – полукруг, отвечающий импедансу границ зерен, разрешается при температуре ниже 350-400°С.

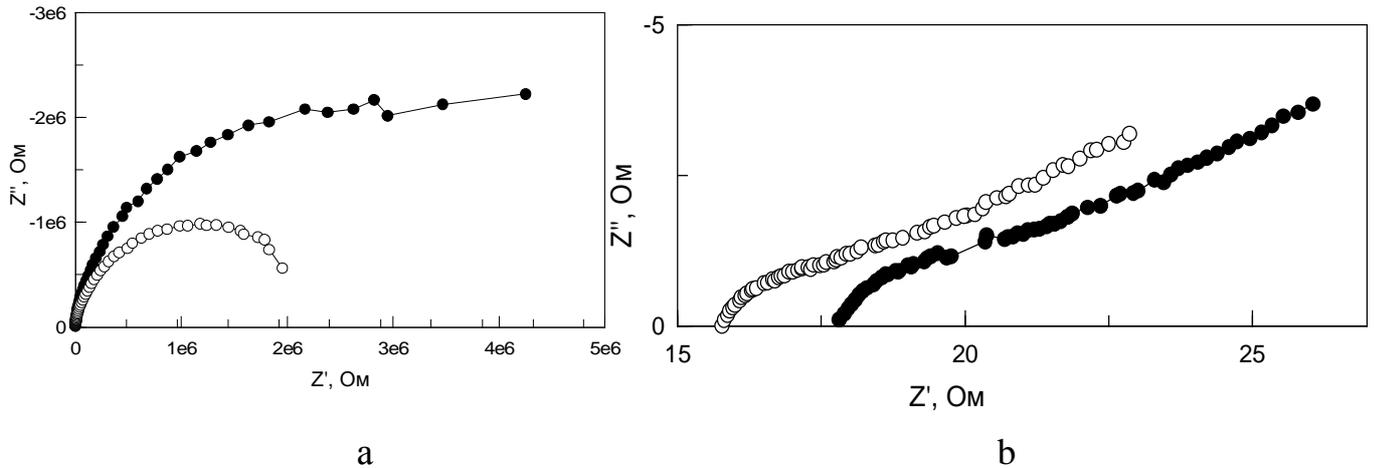


Рис. 3. Типичные годографы импеданса BICRVOX:  $x=0.1$ , а) низкотемпературная область; б) высокотемпературная область

По результатам импедансных исследований построены температурные зависимости общей проводимости образцов (рис. 4). Значение общей проводимости определялось как сумма объемного и зернограничного вкладов.

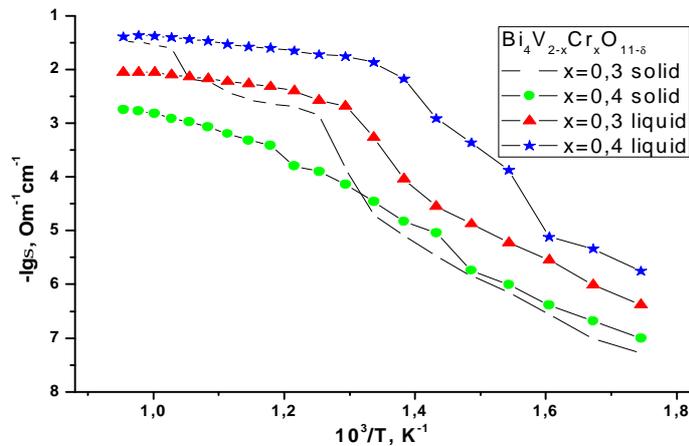


Рис. 4. Политермы проводимости  $Bi_4V_{2-x}Cr_xO_{11-\delta}$

Температурные зависимости проводимости BICRVOX имеют типичный для этого семейства вид: на кривых, отвечающих проводимости образцов в орторомбической  $\beta$ -модификации, имеется перегиб в области 500°С, отвечающий обратимому структурному фазовому переходу  $\beta \rightarrow \gamma$ . Политерма образца тетрагональной  $\gamma$ -модификации имеет постоянный угол наклона, что подтверждает отсутствие у данного образца ( $x = 0.4$ , твердофазный синтез) таких фазовых переходов и косвенно доказывает, что он стабилизирован при комнатной температуре в  $\gamma$ -модификации.

Таким образом, в работе синтезирован ряд твердых растворов твердофазным методом и пиролизом полимерно-солевых композиций. Методом рентгенофазового анализа установлена область гомогенности

твердых растворов BICRVOX, определены границы существования различных структурных модификаций, рассчитаны параметры элементарной ячейки образцов, на примере образца с  $x = 0.3$  показана его устойчивость, установлены температурные области существования полиморфных модификаций. Методом импедансной спектроскопии исследована общая проводимость образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 07-03-00446.

Михеев В.А., аспирант  
 Сковородников Е.И., проф., д-р техн. наук  
 ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»  
 г. Омск

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗА

Математическая модель для формирования режимов работы тепловоза, на базе расчета времени работы дизель-генераторной установки по позициям контроллера машиниста с учетом индивидуальных технико-экономических характеристик тепловоза, профиля пути, условий пропуска поездов на заданном участке обращения и вероятностной характеристики распределения продолжительности работы магистральных локомотивов в эксплуатации, позволит оценивать и прогнозировать экономические и экологические характеристики дизельного подвижного состава.

В основе предлагаемой математической модели лежат тяговые расчеты, выполнение которых для заданного участка обращения и определенного веса и структуры состава позволяет теоретически провести состав, используя пятнадцать позиций контроллера машиниста.

В общем случае тяговые характеристики тепловоза для всех позиций контроллера машиниста с определенным шагом могут быть рассчитаны по следующему выражению, кН:

$$F_{ki} = \frac{3,6N_{ei}}{V},$$

где  $N_{ei}$  – мощность тепловоза на  $i$ -ой позиции контроллера машиниста, кВт;  
 $V$  – скорость тепловоза, км/ч.

Значениям мощности  $N_{ei}$  на промежуточных позициях контроллера машиниста определяются, используя методы статистической обработки и результаты экспериментальных исследований (таблица).

Значения распределения параметров дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ116

Позиция контроллера машиниста	Доля мощности дизеля $\Delta N_{ei}$	Значения эффективной мощности $N_{ei}$ , кВт	Доля расхода топлива $\Delta b_e$	Удельный расход топлива $b_e$ , кг/(кВт·ч)
3	0,164	310,0	1,460	0,313
5	0,263	497,1	1,232	0,264
7	0,385	727,7	1,117	0,239
15	1,000	1890,0	1,000	0,214

Значения касательной силы тяги локомотива  $F_{kij}$  и позиция контроллера машиниста тепловоза на выбранном  $j$ -ом элементе профиля пути определяются из условия движения поезда с постоянной скоростью:

$$F_{kij} - F_{oj}(V) = 0,$$

где  $F_{oj}(V)$  – условие равновесия удельных сил, действующих на поезд в режиме тяги или выбега.

Время работы тепловоза на  $i$ -й позиции контроллера машиниста  $k$ -й секции тепловоза при движении поезда в режиме тяги или выбега на каждом элементе спрямленного профиля пути вычисляется по уравнению, ч:

$$t_{kij} = \frac{S_j}{V_j},$$

где  $S_j, V_j$  – длина (км) и установленная скорость движения поезда (км/ч) на выбранном элементе профиля пути.

Расход топлива за время  $t_{kij}$   $k$ -й секцией тепловоза на  $i$ -й позиции контроллера машиниста определится по формуле, кг:

$$B_{ki} = N_{ei} b_{ei} t_{kij}^{\Sigma},$$

где  $t_{kij}^{\Sigma}$  – общее время работы тепловоза на  $i$ -й позиции контроллера машиниста при движении по нормируемому участку с учетом времени переходных процессов.

Распределение времени работы тепловоза в переходных режимах: режиме набора и уменьшения скорости, режиме стоянок и другие параметры эксплуатации принимаются в соответствии со среднесетевым вероятностным законом распределения времени работы поездных локомотивов.

Суммарный расход топлива магистральным тепловозом за поездку вычисляется по формуле, кг:

$$B_{\Sigma k} = \sum_{i=0}^{пк=15} B_{ki}.$$

Для определения количества вредных выбросов  $z$ -го продукта сгорания тепловозом за поездку с поездом расчетной массы при движении по заданному участку эксплуатации используется следующее выражение, кг:

$$E_z = \sum_{k=1}^{15} r_{zi} t_i,$$

где  $r_{zi}$  – временные количества выбросов  $z$ -го продукта сгорания на  $i$ -ой позиции контроллера машиниста, кг/ч;

$t_i$  – суммарное время работы на  $i$ -ой позиции контроллера машиниста за поездку, ч.

Важным параметром эксплуатационных экологических характеристик является удельное количество вредных выбросов на позиции контроллера машиниста, кг/(кВт·ч):

$$e_{zi} = \frac{E_{zi}}{A_i},$$

где  $E_{zi}$  – количество вредных выбросов за поездку на  $i$ -ой позиции контроллера машиниста, кг;

$A_i$  – работа, проделанная тепловозом на  $i$ -ой позиции контроллера машиниста при движении по заданному участку эксплуатации, кВт·ч.

Просвиряков Е.Ю.

Стружанов В.В., проф., д-р физ.- мат. наук

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И УСТОЙЧИВОСТИ СМЕШАННОГО НАГРУЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО РАСТЯЖЕНИЕ С КРУЧЕНИЕМ

**Конструктивный элемент и его нагружение.** Рассмотрим конструктивный элемент (рис.1), состоящий из двух упругих стержней 1 и 2, реализующие процесс растяжения с кручением испытуемого образца 3. Образец изготовлен из упругопластичного материала, обладающего эффектом деформационного разупрочнения. Стержень 1 передаёт на образец растягивающее усилие (в сечении В-В блокировано кручение), а стержень 2 – крутящий момент (блокировано горизонтальное перемещение сечения С-С). Геометрические размеры образца таковы, что сила, растягивающая образец, по величине равна напряжению  $\sigma$ , удлинение образца – деформации растяжения  $\epsilon$ , крутящий момент, действующий на образец, – касательному напряжению  $\tau$ , а угол закручивания – деформации сдвига  $\gamma$ . Жёсткость стержня 1 при растяжении равна  $I_1$ , а жёсткость стержня 2 при кручении –  $I_2$ . Смешанное нагружение элемента осуществляем в потенциальном силовом поле со скалярным потенциалом  $\Pi$  заданием монотонно возрастающих перемещения  $u$  и крутящего момента  $M$ . Второй случай смешанного нагружения, когда задаются монотонно возрастающие угол закручивания  $\gamma$  и растягивающая сила  $P$ , исследуется аналогично.

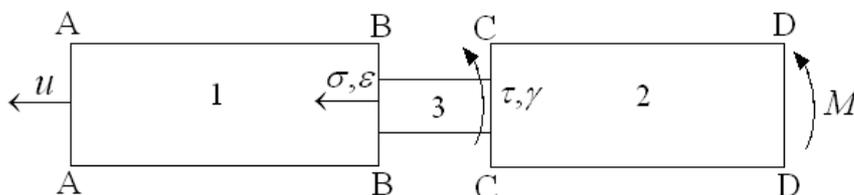


Рис. 1. Конструктивный элемент

**Критические точки и критические значения отображения пространства параметров состояния в пространство параметров управления.** Состояние механической системы для первого случая нагружения описывается потенциальной функцией

$$W = \frac{I_1(u-e)^2}{2} + \frac{I_2(y-g)^2}{2} - \int_0^y M dy + \Pi. \quad (1)$$

Здесь параметры состояния –  $e, g, y$ , а параметры управления –  $I_1, I_2, u, P$ . Следовательно, формула (1) задаёт трёхпараметрическое семейство функций параметров состояния конструктивного элемента. Полагаем, что

$$\Pi(e, g) = \begin{cases} \frac{\sin(a(Ee^2 + Gg^2))}{4a} + \frac{Ee^2 + Gg^2}{4}, & \text{если } e, g \in \Omega, \\ 0, & \text{если } e, g \notin \Omega, \end{cases}$$

где параметр  $a = \frac{100p}{E}$ ,  $E = 2 \cdot 10^4$ ,  $G = 7,7 \cdot 10^3$  – соответственно модуль Юнга и модуль сдвига материала образца, а  $\Omega$  (область определения потенциала) задаётся следующим множеством  $\Omega = \left\{ e, g : e, g > 0, Ee^2 + Gg^2 \leq \frac{p}{2a} \right\}$ .

Критические точки функции  $W$  определяет система уравнений  $\nabla_3 W = 0$ , или в координатной форме  $W_{,e} = s(e, g) - I_1(u - e) = 0, W_{,g} = t(e, g) - I_2(y - g) = 0, W_{,y} = I_2(y - g) - M = 0$ . (2) Здесь  $\nabla_3$  – оператор Гамильтона в пространстве состояний  ${}^3_z$ ,  $s = \Pi_{,e}, t = \Pi_{,g}$  (запятая обозначает дифференцирование по переменной, стоящей после неё). Отметим, что решения уравнений равновесия (2) образуют четырёхмерное многообразие равновесных состояний  $Q_W$  (многообразие катастроф функции  $W$ ) в пространстве  ${}^3_z \times {}^4_r$ , где  ${}^4_r$  – пространство управлений.

В зависимости от значений параметров управления система (2) может либо не иметь решений, либо иметь одно, либо более чем одно решение. Для определения числа решений (числа положений равновесия потенциальной функции) при изменении управляющих параметров и бифуркаций состояний равновесия можно упростить задачу, введя модельную потенциальную функцию  $V$ .

Представим функцию  $W$  в виде

$$W = V + \frac{I_2(y - g)^2}{2} - \int_0^{y-g} M dj, \quad (3)$$

где  $V = \Pi(e, g) + \frac{I_1(u - e)^2}{2} - \int_0^{u-e} M dj$ . Заметим, что функция  $V$  является

потенциальной функцией механической системы, в которой отсутствует стержень 2, т.е. исключены параметр состояния  $u$  и параметр управления  $I_2$ . Критические точки функции (3) определяются из решения следующей системы уравнений

$$V_{,e} = s(e, g) - I_1(u - e) = 0, V_{,g} = t(e, g) - M = 0. \quad (4)$$

Совокупность критических точек функции  $V$  образует трёхмерное многообразие  $Q_V$  равновесных состояний в пространстве  ${}^2_e \times {}^3_r$ .

Сравнивая системы уравнений (2) и (4), находим, что число решений у них одинаково и зависит только от значений управляющих параметров  $I_1, u, M$ . Кроме того, в положениях равновесия основной и упрощённой механических систем они определяют одни и те же параметры состояния  $e, g$ . Параметр  $u$  (после решения системы (4) независимо находится из

второго уравнения системы (2) при заданном  $I_2$ . Таким образом, параметры  $I_2$  и  $u$  несущественны для анализа бифуркаций положений равновесия рассматриваемого конструктивного элемента при его смешанном нагружении. Поэтому при исследовании бифуркаций вместо функции  $W$  будем использовать функцию  $V$ .

Зафиксируем параметр  $I_1$ . Тогда формулы (4) можно рассматривать как некоторое отображение  $s$ , определяемое формулами:

$$\begin{cases} u = \frac{s(e,g)}{I_1} + e, \\ M = t(e,g) \end{cases}.$$

Матрица Якоби этого отображения равна

$$J = \begin{pmatrix} \frac{c_{11}}{I_1} + 1 & \frac{c_{12}}{I_1} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix},$$

Если матрица  $J$  невырождена, т.е.  $\det J \neq 0$ , то отображение  $s$  есть локальный гомеоморфизм. Точки, в которых матрица Якоби вырождается, являются критическими точками отображения  $s$ . Их образы в пространство управлений составляют множество критических значений отображения. Согласно теореме Сарда это множество имеют меру нуль. Следовательно, критические значения образуют линии. Очевидно, что расположение критических точек и критических значений отображения  $s$  будет зависеть от значений параметра  $I_1$ .

Линии критических точек отображения  $s$  при  $I_1 = 5 \cdot 10^3$  и  $I_1 = 6,3 \cdot 10^4$  изображены на рис. 2, 3. Если же  $I_1 > 6,3 \cdot 10^4$ , то расположение линий критических точек подобно расположению критических точек при  $I_1 = 6,3 \cdot 10^4$ . В точках кривых 1 матрица  $J$  имеет только одно нулевое собственное значение. На кривой 2 и в области III также имеет одно нулевое собственное значение. В области I матрица Якоби  $J$  имеет положительные собственные значения и, следовательно, положительно определена. Это вытекает из того факта, что в начале деформирования материал находится в упругом состоянии и в этом случае матрица  $J$  положительно определена. Так как начальный отрезок пути деформирования расположен в области I, то матрица должна сохранять положительную определённость во всей области I (знак собственного значения может поменяться только при пересечении кривой 1). В области II матрица  $J$  имеет собственные значения разных знаков и, следовательно, знаконеопределена. В области III – одно собственное значение всегда равно нулю, а второе – положительно.

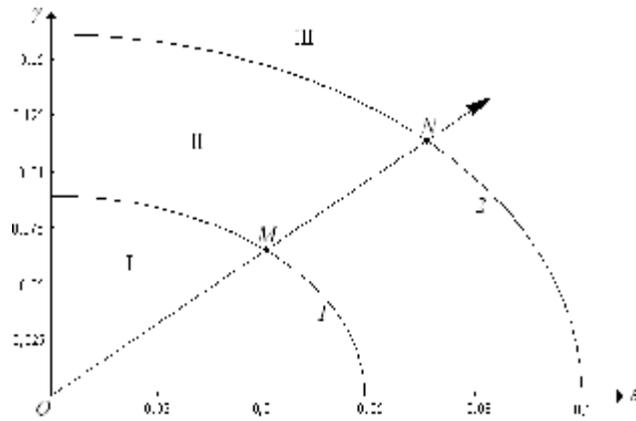


Рис. 2. Линии критических точек отображения  $c$  при  $I_1 = 5 \cdot 10^3$

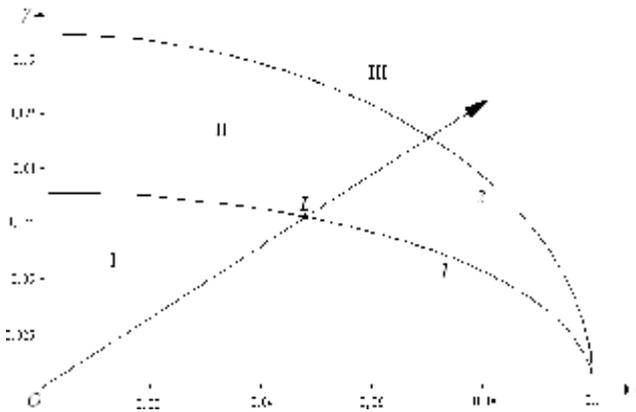


Рис. 3. Линии критических точек отображения  $c$  при  $I_1 = 6,3 \cdot 10^4$

Кривые 1 отображаются соответственно на линии  $AB$  и  $CD$  (рис. 4, 5). Кривые 2 отображаются в отрезки  $[0,1]$ , лежащие на оси  $Ou$  (рис. 4, 5). Отметим, что отображения точек, лежащих в области III (рис. 2, 3), заполняют всю ось  $Ou$  в пространстве управляющих параметров.

Теперь, если управляющие параметры расположены внутри области  $OAB$  (рис. 4) или области  $OCD$  (рис. 5), то система уравнений (4) имеет два решения. Если вне этих областей, то система (4) не имеет решений. В особом случае, когда управляющие параметры расположены на оси  $Ou$ , система (4) имеет бесконечно много решений.

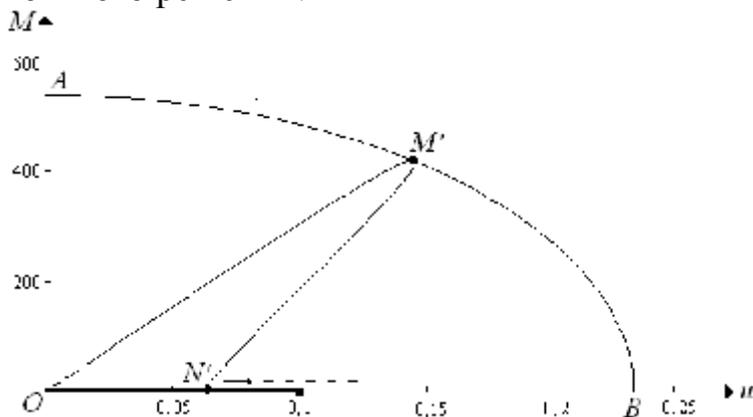


Рис. 4. Линии критических значений отображения  $c$  при  $I_1 = 5 \cdot 10^3$

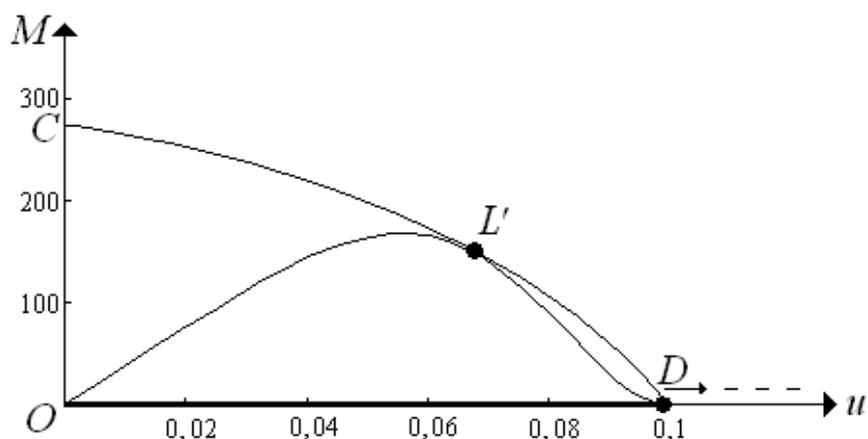


Рис. 5. Линии критических значений отображения  $c$  при  $I_1 = 6,3 \cdot 10^4$

Наконец установим основные особенности изменения управляющих параметров при пропорциональном деформировании образца (путь деформирования является прямой в пространстве деформаций). Пусть  $I_1 = 5 \cdot 10^3$ . Тогда прямой деформирования  $OM$ , расположенной в области I (рис. 2), отвечает линия  $OM'$  в пространстве управлений (рис. 4). Параметры управления монотонно возрастают. После пересечения в точке  $M$  прямой деформирования кривой 1 путь в пространстве управлений разворачивается в точке  $M'$  и стремится к точке  $N'$ , отвечающей точке  $N$  (точке пересечения пути деформирования и кривой 2) (рис. 2 и рис. 4). Параметры управления монотонно убывают. При выходе пути деформирования в область III путь в пространстве управлений разворачивается в точке  $N'$ . Параметр  $u$  монотонно возрастает, а параметр  $M = 0$  (рис. 4). Отметим, что точки  $N$  и  $N'$  отвечают разрушению образца и он уже не оказывает сопротивления ни кручению, ни растяжению. В этот момент  $u = e$ . Таким образом, активное деформирование образца возможно лишь при разгрузке всей системы, происходящей по определённому закону. Если после достижения параметрами управления точки  $M'$  продолжить их увеличение, то параметры управления выйдут в область, где отсутствует решение уравнений равновесия (4). У системы исчезают равновесные состояния и она динамически разрушается.

Пусть  $I_1 > 6,3 \cdot 10^4$ . Тогда для осуществления пропорционального деформирования образца параметры управления должны сначала монотонно возрасть до точки  $L'$ , отвечающей точке  $L$  пересечения путём деформирования кривой 1 (рис. 3 и рис. 5). Затем путь в пространстве управлений стремится к точке  $D$ , отвечающей точке пересечения путём деформирования линии 2 (рис. 3 и рис. 5). Параметр  $M$  монотонно убывает, а параметр  $u$  монотонно возрастает. Если после достижения точки  $L'$  параметры управления выходят за линию  $CD$  (рис. 5), то система также динамически разрушается. В отличие от предыдущего случая равновесное, вплоть до разрушения, деформирование системы возможно тогда, когда параметр  $u$  монотонно возрастает, а параметр  $M = 0$  (чистое растяжение). Тогда в точке  $D$  (рис. 5) образец равновесно разрушается и в дальнейшем  $u = e$ .

**Дискриминантный конус и устойчивость процесса деформирования.** Рассмотрим пространство  $\overset{3}{H} = \{X, Y, Z\}$ . Здесь  $X = I_1 + c_{11}, Y = c_{22}, Z = c_{12}$ . Тогда множество

$$F = \{I_1 + c_{11}(e, g), c_{22}(e, g), c_{12}(e, g)\},$$

которое определяется компонентами матрицы Гессе  $H(V) = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix}$ , в положениях равновесия системы, является параметрическим представлением многообразия в  $\overset{3}{H}$ . Множество точек из  $F$  в которых матрица Гессе  $H(V)$  особенна образует в пространстве  $\overset{3}{H}$  коническую поверхность с вершиной в начале координат. Внутри дискриминантного конуса матрица Гессе  $H(V)$  положительно определена, вне конуса – знаконеопределена или отрицательно определена. Следовательно, если образ отображения  $F$  (точка в пространстве  $\overset{3}{H}$ ) располагается внутри дискриминантного конуса, то положение равновесия системы устойчиво (потенциальная функция в данном положении равновесия имеет 0-седло), если вне конуса, то неустойчиво (имеет место морсовское 1-седло или 2-седло).

Процесс деформирования конструктивного элемента изображается движением в пространстве  $\overset{3}{H}$  точки с координатами  $(I_1 + c_{11}, c_{22}, c_{12})$ . Этот путь начинается в точке  $A(I_1 + E, G, 0)$ , расположенной внутри дискриминантного конуса, и заканчивается в точке  $B(I_1, 0, 0)$ , являющейся вершиной конуса и соответствующей разрушению образца. При монотонном возрастании параметров нагружения  $u$  и  $M$  путь в пространстве  $\overset{3}{H}$  находится сначала внутри конуса, затем попадает на границу дискриминантного конуса и скачкообразно переходит в точку  $B$ . В этом случае происходит потеря устойчивости и конструктивный элемент разрушается динамически (происходит катастрофа). Отметим, что потери устойчивости деформирования при чистом растяжении не происходит.

Работа выполнена по интеграционному проекту между Институтом машиноведения УрО РАН и Институтом гидродинамики СО РАН

Тестова Г.А., магистрант  
Федорова Т.М., проф., канд. экон. наук  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)  
г. Новосибирск

## ИПОТЕЧНОЕ ЖИЛИЩНОЕ КРЕДИТОВАНИЕ В ПЕРИОД КРИЗИСА

Решение жилищной проблемы актуально для многих россиян, в том числе проживающих на территории Новосибирской области. В нынешних условиях приобрести жильё, дом непросто. Недостаточный объем сбереженных денежных средств не позволяет отдельной семье купить жильё, квартиру или дом.

Одним из механизмов реализации конституционного права граждан России на жилище является ипотечное жилищное кредитование (далее ИЖК) и государственная поддержка при погашении ипотечных платежей.

В процессе реального становления и развития ипотеки в России имеются различные проблемы, которые не позволяют механизму ИЖК стать более доступным и массовым. На основе изучения и анализа специальной литературы за период с 1998 года по 2006 год были выявлены проблемы и задачи, а также изменение их во времени.

До наступления мирового финансового кризиса ИЖК играло значительную роль в обеспечении жильём граждан России, в т. ч. и Новосибирской области. Так в Новосибирской области было выдано: в 2002 году 16 кредитов на сумму 7 758 тыс.р., в 2004 году 606 кредитов на сумму 353 750 тыс.р., в 2006 году 764 кредитов на сумму 910 510 тыс.р.

В последнее время уровень доступности ИЖК заметно снизился. Так, ОАО «Новосибирское областное агентство ипотечного кредитования» выдало за II квартал 2007 года 172 кредита, за II квартал 2008 г. – уже только 46 кредитов.

С середины 2008 года, вследствие американского кризиса ипотеки и по мере расширения мирового экономического и финансового кризиса, возникают не только более новые и острые проблемы, но и начинают возрождаться заново старые, казалось бы, уже решённые проблемы. При этом актуальность ИЖК не снижается в связи с остротой жилищной проблемой для многих россиян.

Несмотря на рост количества проблем, у подавляющего большинства людей в России имеется потребность в решении жилищной проблемы или улучшении жилищных условий, т.е. люди готовы брать дорогие ипотечные жилищные кредиты, платить за них, но жить в собственном жилье. В период мирового экономического и финансового кризиса эта потребность в силу объективных причин переходит в категорию отложенной потребности, что связано со снижением доходов населения, потерей работы и т.д., но как потребность остается, о чем свидетельствуют результаты социологические

исследования по Новосибирской области, где 68% респондентов отметили необходимость улучшения жилищных условий.

Особую роль при исследовании проблем ИЖК сыграл метод линейной множественной регрессии. Многие ученые занимались подобными вопросами. При этом все они изучали зависимости объема выданных ипотечных жилищных кредитов от ряда факторов. По нашему мнению, именно количество выданных ипотечных жилищных кредитов наиболее достоверно отражает уровень массового использования ИЖК, доступность, социальную значимость ипотеки, т.е. на сколько ИЖК помогает гражданам России, в том числе проживающим и на территории Новосибирской области, в решении жилищной проблемы. На основе использования эконометрического анализа были проанализированы парные зависимости между количеством выданных кредитов и рядом факторов. Базой для получения исходной информации для исследования и анализа ИЖК стали официальные материалы с 2002 года по 2006 год территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области и данные ОАО «Новосибирское агентство ипотечного кредитования». По результатам анализа выявлен наиболее значимый фактор и построена экономико-математическая модель. В результате авторы пришли к выводу, что в период с 2002 г. по 2006 г. на количество выданных кредитов наибольшее влияние оказывал уровень средней заработной платы.

Несмотря на то, что модель построена для конкретного периода, полученные выводы справедливы и в сложившейся ситуации. В настоящее время происходит снижение размера заработной платы за счет сокращения продолжительности рабочей недели и рабочего дня, растет число увольнений (рис. 1), увеличивается число безработных. На фоне всего этого уменьшается количество заемщиков (рис. 2), увеличивается просроченная задолженность (рис. 3, 4). К основным причинам возникновения просроченной задолженности исследователи относят следующие: смерть заемщика; болезнь заемщика; смерть или болезнь родственников заемщика; сокращение доходов заемщика; потеря заемщиком работы; расторжение брака; исчезновение заемщика; проблемы с предметом ипотеки; проблемы с продажей предмета ипотеки заемщиком; проблемы со сдачей объекта ипотеки заемщиком в аренду; мошенничество; помещение заемщика под стражу. В период кризиса на первое место выходят: сокращения доходов и потеря заемщиком работы.

В целом следует отметить, что в нынешних экономических условиях механизм ИЖК следует сохранить, а для этого необходима разработка новых, актуальных и эффективных мер по совершенствованию ИЖК в современных условиях, в том числе и в сфере форм государственной поддержки граждан при решении жилищных проблем.

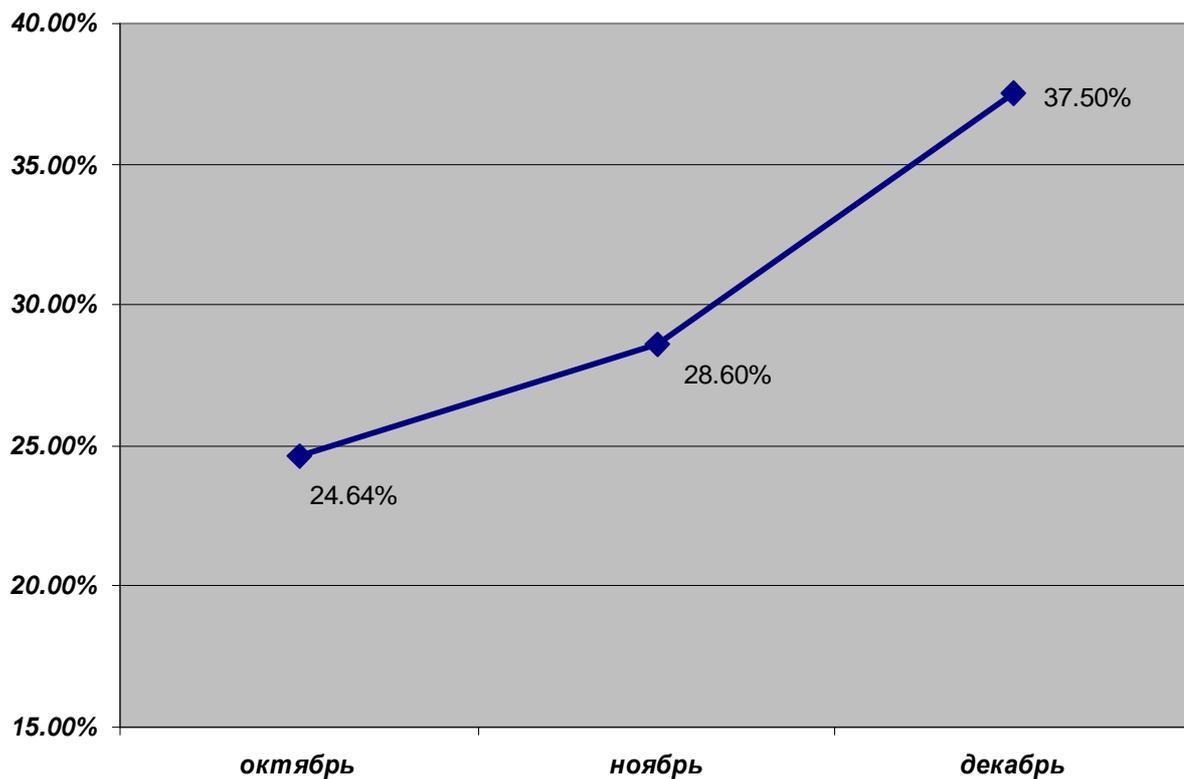


Рис. 1. Средняя доля сокращения штата при увольнении за последние три месяца 2008 года по РФ

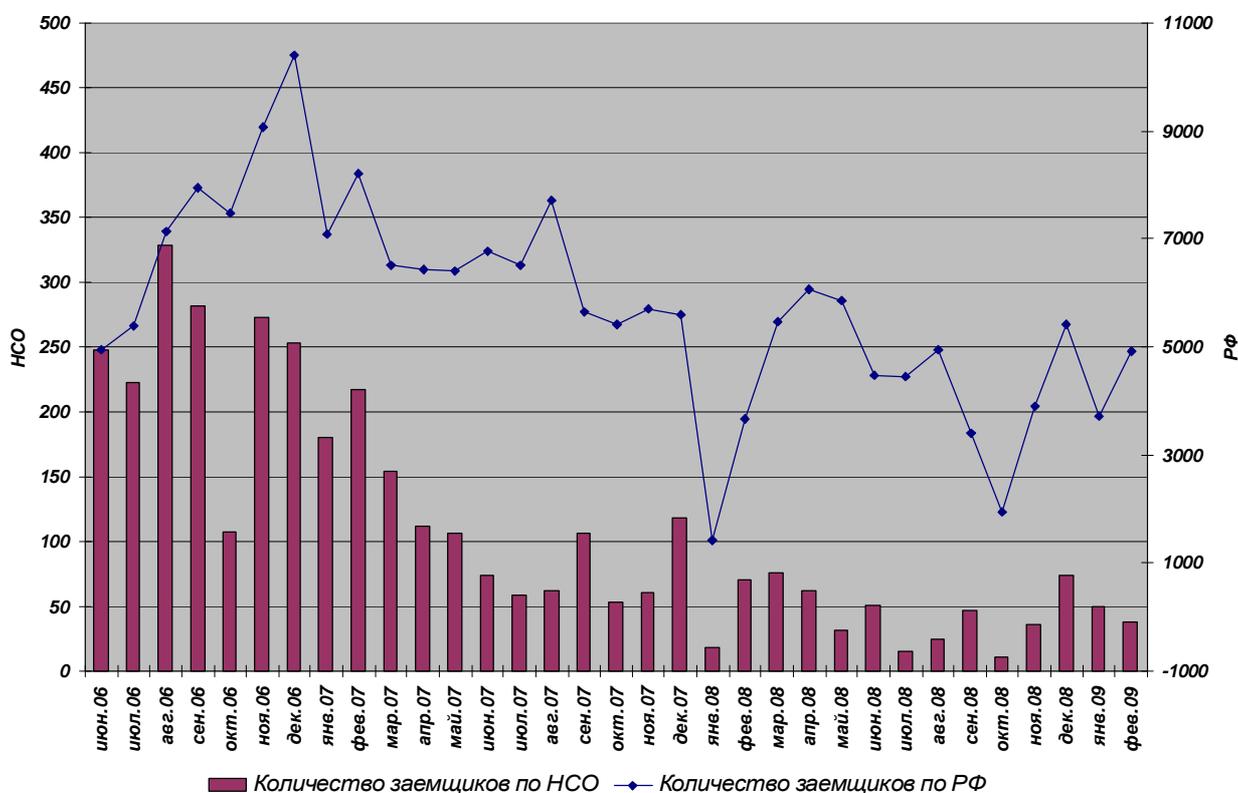


Рис. 2. Динамика изменения количества заемщиков по РФ и по НСО

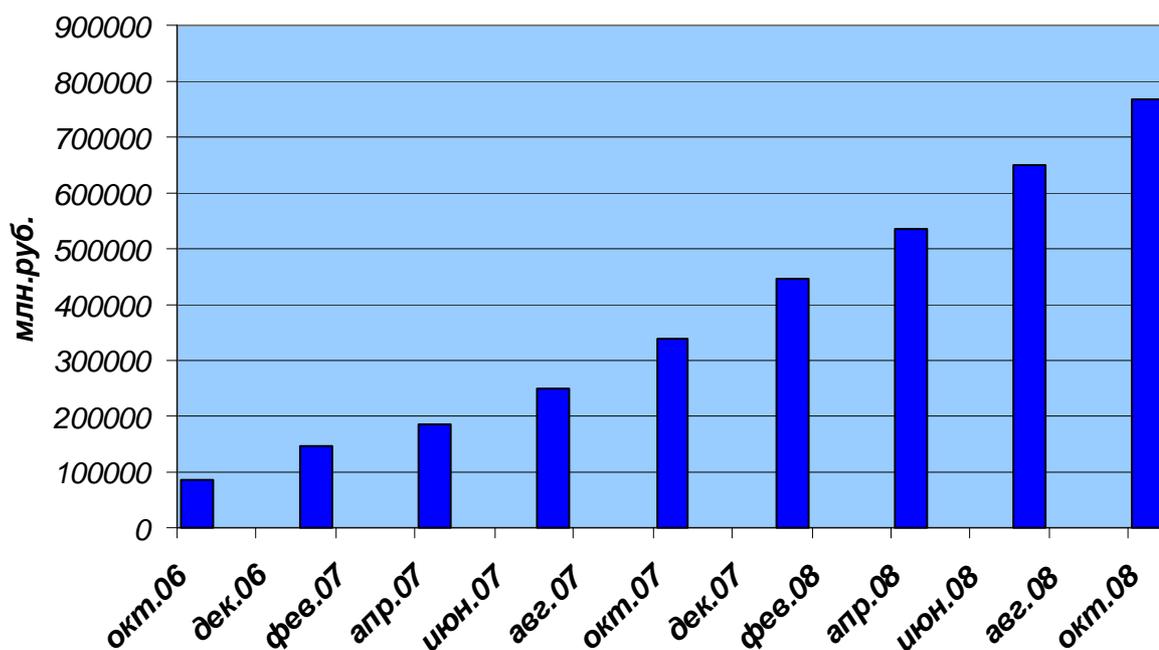


Рис. 3. Объем задолженностей по ипотечным жилищным кредитам, предоставленным кредитными организациями физическим лицам и индивидуальным предпринимателям по РФ, млн.руб.

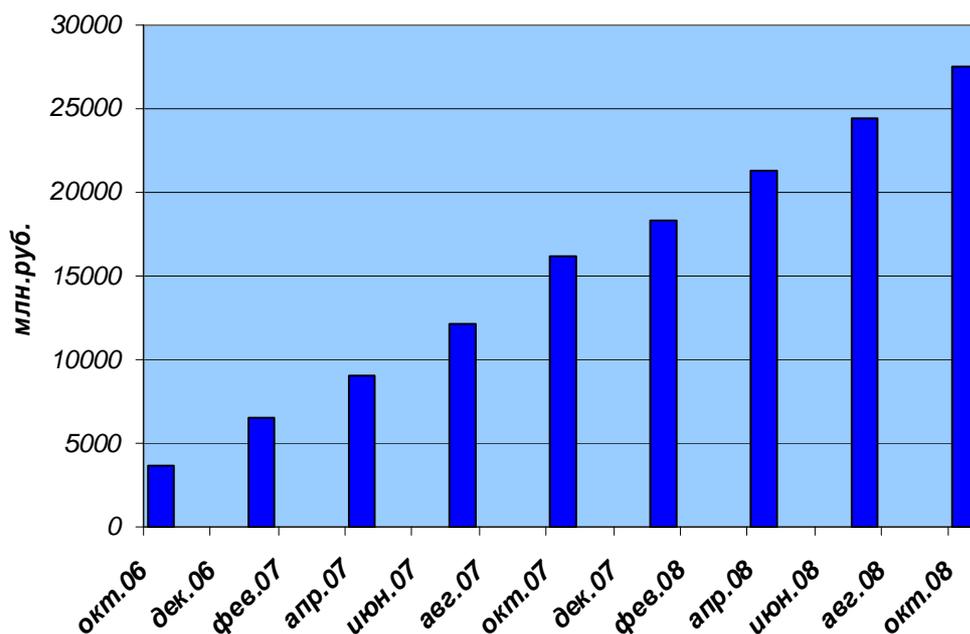


Рис. 4. Объем задолженностей по ипотечным жилищным кредитам, предоставленным кредитными организациями физическим лицам и индивидуальным предпринимателям по НСО, млн.руб.

Шейна Е.Г., аспирант  
Казак А.Ю., проф., д-р экон. наук, академик МАН ВШ  
ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет»  
г. Екатеринбург

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ УПРАВЛЕНИИ КРЕДИТНЫМ РИСКОМ

В процессе своей деятельности коммерческие банки подвергаются множеству рисков. Стремясь максимизировать прибыль, руководство банка одновременно стремится свести к минимуму возможность возникновения убытков. Поддержание оптимального соотношения между доходностью и риском составляет одну из главных и наиболее сложных проблем управления банком. Кредитные операции, приносящие при грамотном управлении ими значительный доход, занимают в банковском деле особое место. Поэтому основным банковским риском, управление которым во многом определяет эффективность деятельности коммерческого банка, является кредитный риск. Именно он является причиной возникновения проблемной задолженности и потерь, связанных с дефолтом заемщика.

Кредитный риск - это риск возникновения у кредитной организации убытков вследствие неисполнения, несвоевременного либо неполного исполнения должником финансовых обязательств перед кредитной организацией в соответствии с условиями договора. Под указанными финансовыми обязательствами понимается возврат основного долга, уплата процентов по нему и комиссионных выплат за услуги по обслуживанию кредита. Возникновение кредитного риска означает, что платежи могут быть задержаны или вообще не осуществлены, что может привести к проблемам в движении денежных средств и неблагоприятно отразиться на ликвидности банка. В структуру кредитного риска входят риск конкретного заемщика и риск портфеля. Кредитный риск определяется, в первую очередь, как риск экономический, связанный с управлением финансовыми ресурсами. В отличие от других видов экономических рисков, он обладает специфическими чертами, важнейшей из которых является то, что он связан с движением кредита. При более широкой трактовке кредитного риска носителями его являются не только кредиты, но также корпоративные ценные бумаги (акции, облигации, векселя) и другие финансовые инструменты, плательщик по которым не может рассматриваться как абсолютно надежный. Виды кредитного риска: -риск непогашения ссуды - банк понесет потери, если заемщик не выполняет финансовые обязательства в полном объеме и в оговоренный срок; -риск замещения - банк вынужден нести дополнительные расходы по причине замены финансового обязательства по преобладающей на рынке ставке, если контрагент по соглашению не выполняет обязательства в соответствии с договором. Возникающую в этом случае проблему ликвидности банк вынужден решать через другие финансовые инструменты; -риск расчетов - когда все операции производятся в соответствии с договором, но на рынке изменились условия.

Например, в случае, если изменился уровень кредитоспособности заемщика, нужен договор на иных условиях.

Кредитный риск зависит от факторов, связанных с состоянием экономической среды, и от факторов, вызванных ошибочными действиями руководства и другими сотрудниками банка. Возможности управления внешними факторами ограничены, хотя своевременными действиями возможно смягчить их влияние и предотвратить потери. Однако основные рычаги управления кредитным риском лежат в сфере внутренней политики банка. Далее в табл. 1 указаны основные факторы кредитного риска.

Таблица 1

Состав рискообразующих факторов по сферам их возникновения и уровню влияния

Макроэкономические факторы (внешние):	Микроэкономические факторы (внутренние):
Общее состояние экономики страны, уровень инфляции, темпы роста ВВП, наличие дефицита бюджета	Кредитный потенциал банка, качество кредитной политики, стабильность депозитной базы банка
Активность денежно-кредитной политики ЦБ РФ, применяемые инструменты и меры	Качество кредитного портфеля и состав клиентуры банка
Региональные особенности функционирования конкретного банка	Обеспечение ссуд, ценовая политика банка
Уровень конкуренции на кредитном рынке	Степень рискованности и прибыльности отдельных видов ссуд
Уровень цен на банковские продукты и услуги	Ограниченность информационного потока при кредитовании
Спрос на кредитование со стороны клиентов	Опыт и квалификация персонала банка

Кредитный риск выступает основным объектом контроля со стороны коммерческих банков и органов банковского надзора, так как большинство финансовых потерь банка связано с проведением кредитных операций.

Кредитные операции - самая доходная статья банковского бизнеса. Поэтому особого внимания заслуживает процесс управления кредитным риском, так как от его качества зависит успех работы банка. Исследования причин банкротств банков всего мира свидетельствуют о том, что основной причиной являлось низкое качество активов. В основе процедур оценки кредитных рисков лежат следующие различные понятия: - вероятность дефолта - это вероятность, с которой дебитор в течение некоторого срока может оказаться в состоянии неплатежеспособности; - кредитный рейтинг - классификация дебиторов организации, контрагентов, эмитентов ценных

бумаг с точки зрения их кредитной надежности; - кредитная миграция - изменение кредитного рейтинга дебитора, контрагента, эмитента; - сумма, подверженная кредитному риску - общий объем обязательств дебитора, контрагента перед организацией, сумма вложений в ценные бумаги эмитента; - уровень потерь в случае дефолта - доля от суммы, подверженной кредитному риску, которая может быть потеряна в случае дефолта. Эффективная система управления кредитным риском должна решать следующие задачи:

- формирование характеристики состояние заемщика (рейтинг заемщика и вероятность дефолта);
- уменьшение доли проблемных кредитов;
- обоснованность условий сделок и принимаемых решений о кредитовании;
- увеличение конкурентных преимуществ за счет повышения качества кредитного портфеля;
- возможность постоянного контроля состояния портфеля;
- увеличение дисциплины и сокращение временных затрат за счет стандартизации и автоматизации;
- возможности для постоянного мониторинга и своевременной реакции на возникающие проблемы у клиента.

Управление кредитным риском является основным содержанием работы банка в процессе осуществления кредитных операций и охватывает все стадии этой работы - от анализа кредитной заявки потенциального заемщика до завершения расчетов и рассмотрения возможности возобновления кредитования.

Управление кредитным риском как процесс включает в себя этапы планирования стратегии в области риска, идентификацию риска, определение и анализ факторов риска, разработку и осуществление мероприятий, направленных на предупреждение, измерение, оценку, прогнозирование, снижение, избежание, страхование, удержание, минимизацию последствий реализации кредитного риска.

Далее в табл. 2 проанализированы основные методы управления кредитным риском.

Таблица 2

Система методов управления кредитным риском

Методы:	Организационная форма	Содержание:
Предупреждение риска	Косвенное воздействие	Отбор кредитных специалистов, оптимизация кредитного процесса, изучение потенциального клиента, постоянный мониторинг заемщиков

Оценка, измерение и прогнозирование риска	Косвенное воздействие	Оценка кредитоспособности заемщика, оценка качества кредитного портфеля банка, измерение кредитного риска, прогнозирование кредитного риска
Избежание риска	Прямое воздействие	Отказ от кредитования ненадежного клиента, отказ от кредитования сомнительной сделки
Снижение (минимизация) риска	Прямое воздействие	Рационирование кредитов, диверсификация кредитов, резервирование средств, структурирование кредитов
Страхование риска	Косвенное воздействие	Перераспределение обязанностей возмещения кредитных потерь на страховую организацию, хеджирование на срочном рынке с помощью производных финансовых инструментов
Удержание риска	Косвенное воздействие	Создание структурных подразделений по работе с проблемными кредитами, приостановка кредитной деятельности в высоко рискованных отраслях

Таким образом, проблема управления банковским кредитным риском приобретает своеобразное содержание, поскольку совокупность методов управления рассматривается в качестве системы мер косвенного и прямого воздействия на управляемый объект - кредитный риск. При возникновении серьезных проблем с возвратом кредитов преимущественное значение приобретают методы прямого воздействия. Тем не менее, применение косвенных методов, основу которых составляют методы предупреждения кредитного риска, в значительной степени позволяет ликвидировать предпосылки возникновения в банке подобных ситуаций кредитного риска. Значимость кредитного риска для экономики в целом показывает, что проблема кредитного риска выходит за пределы деятельности коммерческих банков и их взаимоотношений с клиентами.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ УЗОРОВ НА ПЛОСКОСТИ

При анализе изображений, как правило, выделяют классы образов, обладающих общими чертами. Например, фотографии людей, монохромные контурные рисунки, текст. Существует большой класс изображений, содержащих повторяющиеся фрагменты: орнаменты, ковры, структуры атомарных решеток, макеты плиточных поверхностей. Специфика таких узорчатых изображений позволила разработать специальные методы анализа и моделирования, позволяющие архивировать, подбирать узоры с заданными характеристиками и т.д.

Счетное множество прямых, заданное каноническим уравнением одной прямой  $ax+by=c$  и тройкой смещений коэффициентов  $[\Delta_a, \Delta_b, \Delta_c]$ , назовем семейством прямых. Прямая с индексом  $i$  в таком семействе описывается уравнением

$$(a + i\Delta_a)x + (b + i\Delta_b)y = c + i\Delta_c, i \in Z$$

Прямые этого семейства могут быть параллельны друг другу (при  $\Delta_a=\Delta_b=0$ ) или иметь различные углы наклона.

Возьмем три семейства прямых  $A, B$  и  $C$ . Отрезок, лежащий на прямой  $B_j$ , ограниченный прямой  $A_i$ , с одной стороны, и прямой  $C_k$ , с другой, описывается тройкой индексов  $(i, j, k)$  и семействами  $(A, B, C)$ . Добавив к этому отрезку набор смещений индексов

$$\left\{ \bar{\Delta}_p = (\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3) \right\}_{p=1}^n,$$

мы получаем элементарный узор – счетное множество отрезков, каждый из которых вычисляется по формуле

$$\sum_{p=1}^n \bar{\Delta}_p \cdot i_p + T_0,$$

где  $\sum_{p=1}^n \bar{\Delta}_p \cdot i_p$  - линейная комбинация смещений,  $T_0$  – тройка индексов  $(i, j, k)$ , координаты базового отрезка. Совмещая два или более элементарных узоров, мы получаем сложный узор.

Данная форма позволяет достаточно легко задавать бесконечные регулярные узоры любой степени сложности, используя небольшие объемы данных. Пример такого узора приведен на рис. 1.

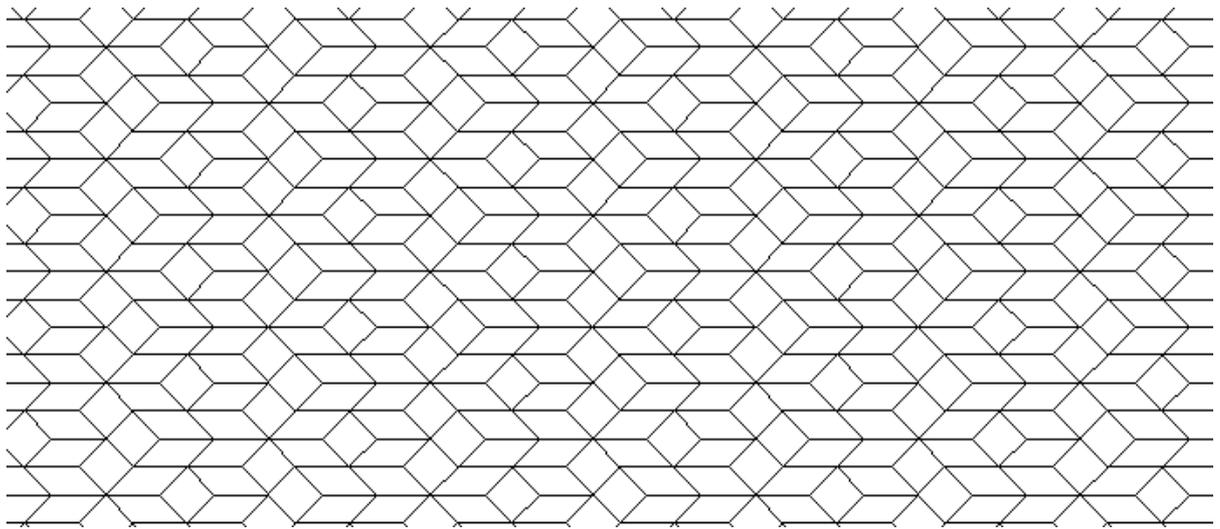


Рис. 1. Пример регулярного узора из тротуарной плитки

Для исследования регулярных узоров была разработана программа, позволяющая описывать регулярные узоры описанным выше способом с произвольным количеством семейств, смещений базовых отрезков и элементарных узоров, графически отображать набор семейств и сам узор, осуществлять совмещение двух регулярных узоров, изменять положение регулярных узоров друг относительно друга.

Из задачи построения регулярного узора по его аналитическому описанию вытекает обратная задача – проблема идентификации узора, определения его параметров (коэффициентов прямых семейств, шаги их изменения, индексы прямых, задающих базовые отрезки и значения их смещений) из геометрического представления узора. На данный момент эта задача находится в разработке. В качестве исходных данных используется набор координат отрезков, составляющих регулярный узор. Для упрощения рассматриваются узоры с транзитивной симметрией, составленные из семейств, полученных параллельным переносом прямых ( $\Delta_a = \Delta_b = 0$ ). Как было указано выше, важным фактом является то, что хотя координаты концов отрезков из одного смещения составляют арифметическую прогрессию, сами отрезки (их длина) не обязательно будут образовывать прогрессию. Поэтому при выделении смещений необходимо обрабатывать начало и конец отрезков по отдельности. Алгоритм идентификации узора состоит из следующих шагов:

- 1) Определение семейств прямых, на основе которых построен узор.
- 2) Определение базовых отрезков и их смещений.

Первый шаг выполняется достаточно просто, т. к. коэффициенты уравнений прямых, принадлежащих одному семейству, образуют арифметическую прогрессию. Для выполнения второго шага, поскольку один и тот же узор можно задать бесконечным количеством наборов различных смещений, необходим способ приведения элементарного узора к некоторой однозначно определяемой параметрической форме.

Теорема 1. Любой элементарный узор можно свести к элементарному узору, заданному двумя смещениями.

Доказательство. В теории геометрии кристаллов существует понятие Z-решетки - регулярных узоров из точек на плоскости. Любой базис Z-решетки, заданной смещениями  $\{a,b\},\{c,d\}$  можно привести к виду  $\{P,0\},\{-R,N\}$ , где  $P > R \geq 0, N > 0$ , называемому параметрическим базисом. Элементарный узор можно рассматривать как систему двух Z-решеток левого и правого концов отрезка. Следовательно, элементарный узор с двумя смещениями всегда можно привести к параметрическому виду

$$(a,b,c) (P_1,0,P_2) (-R_1,N,-R_2),$$

где  $(a,b,c)$  - базовый отрезок узора,  $(P_1,0,P_2)$  - горизонтальное смещение,  $(-R_1,N,-R_2)$  - смещение с вертикальной составляющей. Для вычисления значений  $P_1, P_2, R_1, R_2, N$  воспользуемся алгоритмом следующим алгоритмом.

Пусть  $(a,b,c)$  и  $(d,e,f)$  – смещения элементарного узора. Тогда

1)  $N=D(b,e)$ , где  $D(b,e)$  – наибольший общий делитель чисел  $b,e$ ;

$$2) P_1 = \frac{|ae - bd|}{N}, P_2 = \frac{|ce - bf|}{N}$$

3)  $R_1$  и  $R_2$  являются единственными решениями системы сравнений

$$\begin{cases} -\frac{b}{N}R_1 \equiv a \pmod{P_1} \\ -\frac{e}{N}R_1 \equiv d \pmod{P_1} \end{cases} \text{ и } \begin{cases} -\frac{b}{N}R_2 \equiv c \pmod{P_2} \\ -\frac{e}{N}R_2 \equiv f \pmod{P_2} \end{cases}$$

Три смещения можно привести к двум, проведя аналогичные преобразования со смещениями  $\bar{\Delta}_3$  и  $(-R_1,N,-R_2)$  и объединив полученное горизонтальное смещение с исходным. Таким образом, любой элементарный узор можно привести к параметрическому виду. Теорема доказана.

Рассмотрим узор, построенный на трех семействах  $F_1, F_2$  и  $F_3$  (см. рис. 2). Значения базового отрезка и его смещений задаются в базисах, построенных на прямых семействах  $F_1$  и  $F_2$  для левого конца отрезка и  $F_3$  и  $F_2$  для правого конца отрезка. Рассмотрим новый базис левого конца отрезка. Точка  $(0,0)$  будет иметь координаты

$$x_0 = -\frac{\begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}}, y_0 = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}},$$

где  $(a_1,b_1,c_1)$  – коэффициенты уравнения семейства  $F_1$ , а  $(a_2,b_2,c_2)$  – коэффициенты уравнения семейства  $F_2$ . Длины единичных отрезков будут вычисляться по формулам

$$l_{x1} = \frac{b_2}{D_1} \begin{vmatrix} \Delta a_1 & \Delta b_1 & \Delta c_1 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}, l_{y1} = \frac{a_2}{D_1} \begin{vmatrix} \Delta a_1 & \Delta b_1 & \Delta c_1 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} \text{ и}$$

$$l_{x2} = \frac{b_1}{D_2} \begin{vmatrix} \Delta a_2 & \Delta b_2 & \Delta c_2 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}, l_{y2} = \frac{a_1}{D_2} \begin{vmatrix} \Delta a_2 & \Delta b_2 & \Delta c_2 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix},$$

где  $(\Delta a_1, \Delta b_1, \Delta c_1)$  - шаг смещения семейства  $F_1$ , а  $(\Delta a_2, \Delta b_2, \Delta c_2)$  - шаг смещения семейства  $F_2$ ,  $D_1 = ((a_1 + \Delta a_1)b_2 - a_2(b_1 + \Delta b_1))(a_1b_2 - a_2b_1)$ ,  $D_2 = (a_1(b_2 + \Delta b_2) - a_2(b_1 + \Delta b_1))(a_1b_2 - a_2b_1)$ . Переход от нового базиса к старому производится по следующей формуле:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} \cdot M_L - \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix},$$

где  $M_L = \begin{pmatrix} l_{x1} & l_{x2} \\ l_{y1} & l_{y2} \end{pmatrix}$  - матрица перехода от базиса левого конца отрезка к исходному базису.

Заменяя  $\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix}$  на  $\begin{pmatrix} C \\ B \end{pmatrix}$ , а значения с индексом 1 на значения с индексом 3, получаем формулы для правого конца отрезка.

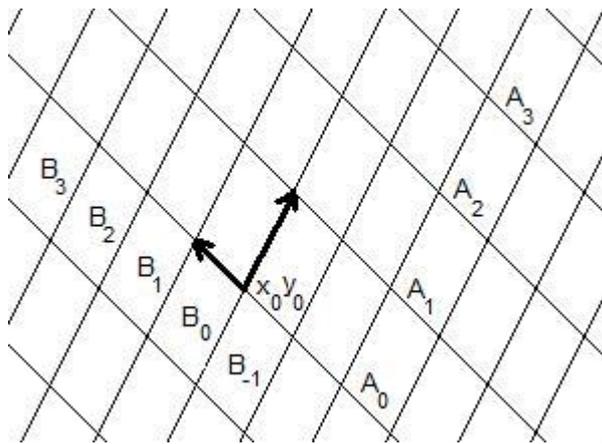


Рис. 2. Базис узора, построенного на семействах А и В

Будем считать узоры эквивалентными, если все отрезки одного узора совпадают со всеми отрезками второго узора.

Теорема 2. Допустим, имеются два элементарных узора  $U$  и  $V$ , заданных в разных семействах  $F_1, F_2, F_3$  и  $F_4, F_5, F_6$ . Эти узоры являются эквивалентными, если выполняются условия

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} A_{U0} \\ B_{U0} \end{pmatrix} \cdot M_{UL} - \begin{pmatrix} x_{UA0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{V0} \\ B_{V0} \end{pmatrix} \cdot M_{VL} - \begin{pmatrix} x_{VA0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} C_{U0} \\ B_{U0} \end{pmatrix} \cdot M_{UR} - \begin{pmatrix} x_{UC0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{V0} \\ B_{V0} \end{pmatrix} \cdot M_{VR} - \begin{pmatrix} x_{VC0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \Delta_{AU_i} \\ \Delta_{BU_i} \end{pmatrix} \cdot M_{UL} = \begin{pmatrix} \Delta_{AV_i} \\ \Delta_{BV_i} \end{pmatrix} \cdot M_{VL} \cdot (-1)^k \\ \begin{pmatrix} \Delta_{CU_i} \\ \Delta_{BU_i} \end{pmatrix} \cdot M_{UR} = \begin{pmatrix} \Delta_{CV_i} \\ \Delta_{BV_i} \end{pmatrix} \cdot M_{VR} \cdot (-1)^k \end{cases},$$

где  $(A_{U0}, B_{U0}, C_{U0})$  и  $(A_{V0}, B_{V0}, C_{V0})$  – базовые отрезки из узоров  $U$  и  $V$ ,  
 $(\Delta_{A_{Ui}}, \Delta_{B_{Ui}}, \Delta_{C_{Ui}})$  и  $(\Delta_{A_{Vi}}, \Delta_{B_{Vi}}, \Delta_{C_{Vi}})$  –  $i$ -е смещение из узоров  $U$  и  $V$ .

$M_{UL}$  и  $M_{UR}$  – матрицы перехода из базисов семейств левого и правого концов отрезков узора  $U$ ,

$M_{VL}$  и  $M_{VR}$  – аналогичные матрицы узора  $V$ ,

$(X_{UA0}, Y_{UB0}, X_{UC0})$  – координаты отрезка  $(0,0,1)$  узора  $U$  в исходном базисе,

$(X_{VA0}, Y_{VB0}, X_{VC0})$  – координаты отрезка  $(0,0,1)$  узора  $V$  в исходном базисе.

Доказательство. Узоры эквивалентны, если каждый отрезок из одного узора совпадает с отрезком из другого узора. Это значит, что при переходе к исходному базису эти отрезки будут совпадать.

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} A_U \\ B_U \end{pmatrix} \cdot M_{UL} - \begin{pmatrix} x_{UA0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_V \\ B_V \end{pmatrix} \cdot M_{VL} - \begin{pmatrix} x_{VA0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} C_U \\ B_U \end{pmatrix} \cdot M_{UR} - \begin{pmatrix} x_{UC0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_V \\ B_V \end{pmatrix} \cdot M_{VR} - \begin{pmatrix} x_{VC0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \end{cases}$$

Для того чтобы это условие было истинно для всех отрезков, достаточно чтобы оно было истинно для базового отрезка и векторов смещений, записанных в параметрической форме.

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} A_{U0} \\ B_{U0} \end{pmatrix} \cdot M_{UL} - \begin{pmatrix} x_{UA0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{V0} \\ B_{V0} \end{pmatrix} \cdot M_{VL} - \begin{pmatrix} x_{VA0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} C_{U0} \\ B_{U0} \end{pmatrix} \cdot M_{UR} - \begin{pmatrix} x_{UC0} \\ y_{UB0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{V0} \\ B_{V0} \end{pmatrix} \cdot M_{VR} - \begin{pmatrix} x_{VC0} \\ y_{VB0} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \Delta_{A_{Ui}} \\ \Delta_{B_{Ui}} \end{pmatrix} \cdot M_{UL} = \begin{pmatrix} \Delta_{A_{Vi}} \\ \Delta_{B_{Vi}} \end{pmatrix} \cdot M_{VL} \cdot (-1)^k \\ \begin{pmatrix} \Delta_{C_{Ui}} \\ \Delta_{B_{Ui}} \end{pmatrix} \cdot M_{UR} = \begin{pmatrix} \Delta_{C_{Vi}} \\ \Delta_{B_{Vi}} \end{pmatrix} \cdot M_{VR} \cdot (-1)^k \end{cases}$$

Тогда условие для любого отрезка узоров можно выразить линейной комбинацией указанных равенств, а следовательно, оно также будет истинным. Теорема доказана.

Результаты работы могут быть использованы для сжатия изображений, для определения степени регулярности изображения, а также в области шифрования данных. Добавление к черно-белому узору регулярной цветовой составляющей расширяет возможности данного подхода.

Виноградова Е.И.  
Барабанов А.А., канд. арх. наук  
ГОУ ВПО «Уральская государственная архитектурно-художественная академия»  
г. Екатеринбург

## ТИПОЛОГИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ: ПСИХОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Научно–технический прогресс, изменение политической, экономической и социальной обстановки в большинстве развитых и развивающихся стран дали возможность архитекторам XX и XXI веков воплощать свои самые смелые идеи. Эстетическая установка модерна и модернизма на стилистическое единство среды, обуславливающая в качестве общего знаменателя ряд нормативных эталонов, соответствующих общим художественным идеалам, под влиянием доктрин постмодернизма сменилась плюрализмом подходов и мнений, реабилитацией эклектики и как творческого метода и как возможной творческой ценности. Если раньше в массовое сознание успешно внедрялось отношение к стилю как к ценностному критерию, а к стилистической норме как к гарантии хорошего вкуса и объективной эстетической оценки, то сейчас отношение многих архитекторов- практиков (а нередко и критиков) к понятию «стиль» в корне изменилось. В результате относительный стилистический монизм сменился параллельным сосуществованием различных направлений, школ и даже индивидуальных творческих манер, искусствоведческое обозначение которых весьма условно. Другими словами, многие современные произведения архитекторов нередко трудно отнести к определенному стилю. Однако стремление выявить определенные тенденции и закономерности в современной архитектуре, что бы понять особенности влияния ее на человека и, возможно, спрогнозировать дальнейшее ее развитие, безусловно, остается [4].

Потому необходимо разработать новую типологию архитектурных объектов, которая бы позволила систематизировать все имеющиеся на сегодняшний день произведения архитекторов. Разработка новой типологии архитектурных объектов является целью проводимого нами научного исследования.

Логику разработки новой типологии подсказывает сам процесс создания произведений архитектуры. Любой архитектурный объект – это продукт фантазии конкретного человека или группы людей. В связи с тем, что за каждым произведением архитектуры стоит, прежде всего, его автор – личность с определенным набором психических свойств, можно предположить, что некоторые черты личности могут «накладывать отпечаток» на реализуемые этим человеком объекты. Ведь первичной материальной формой будущего архитектурного объекта, по крайней мере до последних нескольких лет, когда стала популярна компьютерная 3d-графика,

являлся рисунок на листке бумаги. То есть определенные черты автора находят свое отражение вначале в архитектурных набросках, сделанных данной личностью, а затем и в создаваемых по данным рисункам объектах.

То, что по рисункам можно «считывать» личностные особенности их автора, доказано уже давно, и именно потому на сегодня широко распространено применение рисуночных тестов. Конечно, существуют определенные рекомендации к проведению самой процедуры тестирования и интерпретации рисунков. Однако, рисунки, сделанные не в ситуации обследования, хотя и не должны оцениваться как тестовые, но, безусловно, являются полезными и информативными и могут так же изучаться, давая богатый материал о своих создателях. Анализ и интерпретация строятся исходя из гипотезы о том, что большинство рисунков строится на принципе проекции, то есть на вынесении вовне своих переживаний, представлений, стремлений. Рисуя тот или иной объект, человек невольно, а иногда и сознательно передает свое отношение к нему. Вряд ли он забудет нарисовать то, что кажется ему наиболее важным и значимым, а вот тому, что он считает второстепенным, будет уделено гораздо меньше внимания. Рисунок, как считают многие авторы, например, А.Л. Венгер, - это всегда какое-то сообщение, зашифрованное в образах. Считается, что рисунки отражают в первую очередь не сознательные установки человека, а его бессознательные импульсы и переживания. На сегодня использование батареи рисуночных тестов позволяет выявить многочисленные психологические особенности, в том числе и те, которые определяют тип личности по К. Юнгу [1].

В основу своей типологии К. Юнг положил понятия, введенные им еще в начале XX века: установки - экстраверсия, интроверсия - и функции - ощущения, интуиция, мышление и чувство. Комбинируясь в своем разнообразии, данные понятия образуют систему из восьми психологических типов: четыре из которых являются экстравертными, а остальные четыре интровертными. Со времени разработки данной типологии было показано, что каждый человек имеет врожденную склонность к развитию определенных функций, но культура, семья, и в целом окружающая среда в раннем возрасте играют значительную роль в формировании и развитии или, наоборот, в подавлении и угнетении каждой функции. При этом каждому человеку в целом присущи оба механизма, экстраверсии и интроверсии, и лишь относительный перевес того или другого определяет тип [5].

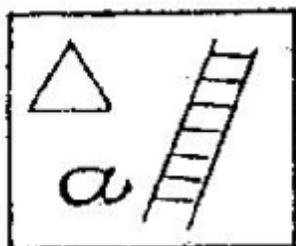
Выявление типа личности по К. Юнгу стало возможным вследствие проделанной Г. Ридом огромной работы по анализу различных изображений и выявлении им в 1951 году восьми типов рисунка, характерных для каждого типа личности (см. рисунок). Так, по мнению Г. Рида, для мыслительного экстраверта характерен «перечисляющий рисунок» - изображение различных объектов, предметов, которые не объединены какой-либо связью, то есть являются простым перечислением. Мыслительные интроверты склонны создавать органические рисунки, где представлены в основном: органические формы растения, животные, человек. Для сенсорного экстраверта, как показывает автор, наиболее типичен эмфатический рисунок, в котором

передается атмосфера, природный пейзаж, например, восход солнца на фоне моря. Сенсорный интроверт чаще создает гаптический рисунок - рисунок, в котором присутствует изображение болезненных ощущений: «болит голова», «болит горло». Декоративные рисунки, характеризующиеся изображением цветов, орнаментов, узоров, создают чаще эмоциональные экстраверты. По результатам исследования Г. Риды, эмоциональные интроверты наполняют свое произведение определенным сюжетом, персонажами, заимствованными из художественных произведений или собственных фантазий, создавая, таким образом, имажинарный рисунок. Ритмический рисунок, выделяющийся изображением движения, например полетом птиц, движением автомобиля, чаще всего создают интуитивные экстраверты. Интуитивные интроверты выполняют в основном изображение структуры целого – от элементарной точки до сложных конструкций [2, 3].

В нашей работе мы выдвигаем гипотезу о том, что и все произведения архитектуры можно распределить на восемь типов, соответствующих восьми типам личности по К. Юнгу и схожих с восемью типами рисунков, выявленных Г. Ридом. Конечно, архитектурные объекты, воплощенные в реальности имеют свои особенности, связанные прежде всего с их трехмерностью и необходимостью отвечать многочисленным требованиям, начиная от антропометрических и функциональных, заканчивая климатическими и градостроительными. Так же свой отпечаток оставляет специфика материала, из которого в реальности строятся данные произведения. Немаловажную роль играют в целом экономические и политические факторы, а также степень участия заказчика в проекте. Однако если проанализировать произведения архитекторов, которые были сделаны в условиях «относительной» свободы, то можно выделить определенные наиболее выдающиеся черты каждого объекта, на основании наличия которых он может быть отнесен к определенному типу. Например, такими чертами могут быть ярко выраженная ритмичность элементов архитектурного объекта, динамика, ясность и четкость линий, создающих контур произведения. В таком случае можно говорить о схожести данного типа архитектурного объекта с типом ритмического рисунка. И, возможно, о том, что его автор был интуитивным экстравертом. Нетрудно предположить, что большинство интуитивных экстравертов посчитают этот архитектурный объект весьма привлекательным с эстетической точки зрения. А вот эмоциональным экстравертам данный объект покажется, вероятнее всего, непривлекательным, вследствие недостаточности его декорирования. Архитекторы данного типа личности по К. Юнгу, как мы предполагаем, оформляют свои произведения архитектуры многочисленным декором, в виде орнаментов, цветов, узоров.

Конечно, выдвигаемую нами гипотезу необходимо еще проверить, разработав критерии отнесения архитектурных объектов к определенному типу, выделив основные характеристики каждого из восьми. Представляется интересным так же поверить предположение о предпочтении человеком, как наиболее визуально привлекательных, архитектурных объектов,

соответствующих его типу личности. Однако это можно будет сделать только после проведения эмпирического исследования. Но, возможно, полученные результаты помогут упорядочить все многообразие архитектурных объектов, объяснить предпочтение и выбор одних объектов другим и показать влияние архитектуры на человека.

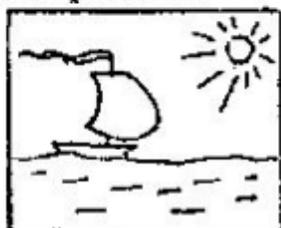


Перечисляющий рисунок

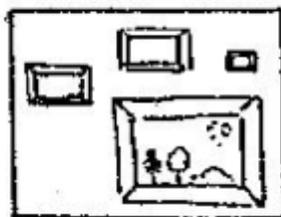


Органический рисунок

Смешанные виды  
изображения



2 вида рисунка



3 вида рисунка

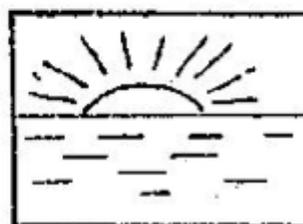


4 вида рисунка

Ритмический рисунок



Структурный  
рисунок



Эмфатический рисунок



Гаугинский рисунок



Декоративный рисунок



Имажинерный рисунок

Виды рисунков по Г. Риду

#### Список литературы

1. Венгер А.Л. Психологические рисуночные тесты: Иллюстрированное руководство/А.Л. Венгер - М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003.-160с.:ил.
2. Искусство и дети. Эстетическое воспитание за рубежом. М., 1969.
3. Потемкина О.Ф. Психологический анализ рисунка и текста/О.Ф. Потемкина, Е.В. Потемкина - СПб.: Речь, 2006. 524 с.
4. Соловьев Н.К. История современного интерьера/Н.К. Соловьев - М., 2004- 401с.
5. Юнг К.Г. Психологические типы/К.Г. Юнг – СПб.: АСТ, 2006-786с.

## СООТНОШЕНИЕ КОНСЕРВАТИВНОГО СОЗНАНИЯ И НОВОГО ДЕЛОВОГО МЫШЛЕНИЯ У ДОНСКОГО ТОРГОВОГО КАЗАЧЕСТВА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВВ. КАК ОТРАЖЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ СОВРЕМЕННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

Успешная деятельность в настоящем времени во многом опирается не только на разработки современности, но и на внимательный анализ опыта прошлого, передающегося из поколения в поколение. Во многих аспектах жизни России сохраняются нормы и принципы, свойственные традиционному мышлению и мировосприятию. Специалисты отмечают, что они никуда не делись даже в советское время и, несмотря ни на что, по сей день остаются вместе с нами [1].

Перспективы современной экономики во многом связаны с мышлением различных социальных групп, формировавших экономический менталитет ещё в дореволюционное время. Современное мышление россиян во многом является продолжением ментальных установок, идущих даже ранее, чем с XIX века, да и сами предпринимательские условия во многом сохранили свои приоритетные черты.

Значительный шаг вперёд донская экономика сделала именно в пореформенное время конца XIX века. Казакам и выходцам из казачества на тот момент принадлежала лишь пятая часть всех торгово-промышленных предприятий области; это были в основном мелкие и средние предприятия, доля которых в общем коммерческом обороте в 1898 г. составляла 6,5% [2].

Доминирующее положение здесь занимали иногородние. Поэтому следует задаться вопросом: каковы были основные принципы менталитета торгового казачества Дона? А также, учитывая столь низкий количественный показатель, есть ли вообще основания говорить о казачьем экономическом менталитете как о целостном явлении?

Предпринимательская деятельность донских казаков была направлена на становление и развитие свободно-рыночных начал в экономике донского края, а следовательно, на поддержание в общественном сознании идей рынка, частной собственности и экономической свободы, что представляет собой суть идеологической доктрины либерализма. В то же время казачеству в целом, как и предпринимателям из их среды, были абсолютно чужды либеральные идеи. В целом, сознание казаков оставалось традиционным и консервативным, направленным на сохранение и сбережение универсальных, вечных ценностей [3]. Отсюда неизбежен вопрос. Можно ли говорить о бытовом укладе казачьих предпринимателей как о патриархальном, в большей степени консервативном, или же надо вести речь о постепенной эволюции сознания предпринимателей из казачьей среды в сторону экономической свободы и рынка?

Стремление к крепкой семье, семейной земельной собственности, следование сложившимся традициям и уже наработанным приёмам и формам

деловой активности – черты консервативного мировоззрения, весьма распространённые в сознании подавляющего большинства представителей казачьего служилого сословия, включая и предпринимателей из их среды.

Конечно, все эти черты вытекали из традиционных условий жизни казачьего населения Области Войска Донского, на что указывали ряд авторов. Например, Н.Е. Врангель, наблюдавший донскую жизнь в 1880-1890-е гг., считал хозяйство простого казака патриархальным, имея в виду издавна сложившиеся внутри станичного и семейного хозяйства отношения к производительному труду и инертный стиль поведения в деловой сфере [4].

Современный автор О.М. Морозова, опираясь на источники из личных архивов казачьих семейств Яновых, Ульяновых и Денисовых [5], отметила навыки финансового учёта, формирующиеся во время военной службы, массовый интерес к ведению хозяйства, а также то, что сами жизненные условия подталкивали казачьих офицеров к адаптации в ситуации всё более капитализирующихся хозяйственных отношений. По мнению исследователя, сложился новый тип казачьего дворянина-землеладельца, являющийся неким гибридом «слуг государевых», и новой генерации капиталистических дельцов. В переписке с людьми своего круга и в деловой переписке предстаёт человек разных миров, в котором традиционалистские, консервативные установки до конца не изжиты [5]. Говоря о массовом слое казачества, автор выделила особую компетентность казачек в вопросах хозяйства, связанных с торговлей, арендными отношениями. Все это привело автора к выводу о деловом стиле мышления казаков-дворян. Признавая доказательность позиции Морозовой, хочется отметить, что вопрос об эволюции психологии казачества под влиянием новой экономической реальности требует дальнейшего уточнения.

Ответ на поставленный вопрос можно найти на примере предпринимателей из казачьей войсковой среды, которые одновременно принадлежали и к донбасским горнопромышленникам. Они не представляли себе возможностей для хозяйственной деятельности вне рамок государственной протекционистской политики. Горнопромышленники стремились с максимальной отдачей использовать потенциал административной власти в целях обеспечения стабильности своих доходов, предпочитая государственное распределение своей продукции по категориям потребителей в обмен на гарантированный уровень сбыта, позволявший предприятиям выживать на минимуме производственных возможностей [6].

Говоря о характере казачьего предпринимательства, следует особо подчеркнуть массовую приверженность казаков к традиционным сферам производственной деятельности: торговле зерновыми культурами, добыче природных ископаемых, а также в целом опасливому отношению к новым формам деловой активности.

Когда на рубеже XIX–XX веков в России стали возникать первые политические партии, донские горнопромышленники не создали собственной. Они оказались намного консервативнее своих коллег-предпринимателей из других регионов. Во время I-й российской революции

1905 года ведущие предпринимательские сообщества направляли в адрес правительства либеральные записки с изложением своего видения и проекты необходимых преобразований. Съезд горнопромышленников Юга послал свою записку только в марте 1905 года, уже после поступления всех остальных записок. Кроме того, в большинстве посланий преобладали прошения об участии в подготовке реформ выборных представителей от всех сословий, национальностей и вероисповеданий, в то время как в записке горнопромышленников Юга не было даже такого типичного положения, как требования свободы профессиональных рабочих организаций [6].

О консерватизме в поведении донских казачьих предпринимателей упоминали ещё исследователи-современники, говоря о том, что консервативный дух казачества не дал ему возможности стать во главе торговли и промышленности края. Нововведения на Дону, как административные, так и в области торговли, принимались казаками неохотно и медленно, но зато, привившись, становились устойчивыми и прочными [9].

Говоря об особенностях менталитета южных предпринимателей, следует отметить и некоторые внутренние установки, характеризующие торгово-предпринимательские отношения на юге России. Огромную роль в коммерческой деятельности играла репутация, заработанная в деловой среде. Причем репутация ассоциировалась в первую очередь, с личностью предпринимателя, владельца компании, олицетворяющего репутацию фирмы [6]. Данное положение вполне вписывается в традиции отечественного патернализма, в котором личность руководителя всегда стояла выше других норм. В переложении на донскую почву такая персонификация предполагала известную долю семейственности наиболее успешных казачьих предприятий. Во главе каждого из них находился самый опытный представитель, который являлся лицом предприятия и воплощал в себе деятельность всей семьи. С другой стороны, под влиянием изменившихся условий жизни происходило обновление сознания крупнейших казаков-предпринимателей. Многие успешные казачьи фамилии (например, те же Парамоновы), уже начиная со второго поколения, теряли связь с казачьей средой, что создаёт сложность определения степени их дальнейшей связи с казачеством.

О консерватизме казачьих предпринимателей можно судить и по многочисленным примерам, хранящимся как в фонде Общества торговых казаков, так и в сохранившихся фондах отдельных крупнейших предприятий.

Таким образом, следует сделать вывод о наличии определённой направленности и даже цельности менталитета казачьих предпринимателей. Имеет смысл говорить о существовании ценностей и норм, вполне сочетающихся с устоями традиционного, консервативного типа мышления и поведения. Опора на вечные ценности, персонификация деловой жизни, стремление к защите и поддержке государственной власти вполне вписываются в традиции отечественного консерватизма. Это неизбежно отражалось и на деловой активности, обуславливая приверженность к устоявшимся нормам и формам деловой практики, а также проявлялось и в

формах самой производственной деятельности: семейного характера предприятий, приверженности традиционным сферам деятельности (торговли хлебом, добычи полезных ископаемых).

Также стоит особо отметить, что большинство всех этих характеристик вполне подходит и под описание различных сторон нынешней экономики, а дальнейшая разработка данного вопроса в свою очередь может дать направление для аналитических исследований, связанных с определением будущих перспектив отечественной экономики.

Анализ экономического мышления донского торгового казачества может дать современным предпринимателям возможность проследить опыт взаимоотношений казачьих предпринимателей с государственной властью, иностранными партнёрами, предпринимателями на внутреннем рынке. Исследование и систематизация результатов подобного опыта могут не только подсказать пути решения некоторых сиюминутных проблем, но и стать бесценным подспорьем в условиях современного мирового экономического кризиса.

### Список источников и литературы

1. Репников А. В. Консервативные представления о переустройстве России (конец XIX – начало XX вв.)/А.В. Репников. М., 2006. С. 7.
2. Сущенко В.А. История российского предпринимательства/В.А. Сущенко. - Ростов – на/Д: Феникс, 1997. С. 234.
3. Попов Э.А. Русский консерватизм: идеология и социально-политическая практика/Э.А. Попов. - Ростов – на/Д, 2005. С. 7-12.
4. Врангель Н.Е. Воспоминания: От крепостного права до большевиков/Н.Е. Врангель. Вступ. статья, коммент. и подгот. текста Аллы Зейде. М., 2003. С. 245-246.
5. Морозова О.М. Экономический менталитет донских казаков (по материалам личных фондов ГА РО)/О.М. Морозова//Научно-культурологический журнал RELGA №17 [162] 05.12.2007. <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=2099&level1=main&level2=articles> 1.04.2009
6. Качалян А.С. Горнопромышленники юга России (конец XIX - начало XX вв.)/А.С. Качалян, А.В. Лубский. СКНЦ ВШ, Ростов-на/Д, 2004. С. 58.
7. Кошкин И.С. Донское торговое общество и его значение в жизни Донского края/И.С. Кошкин, И.И. Зубков. Новочеркасск, 1888. С. 64.
8. Савельев Е.П. Некоторые из причин, послуживших к уменьшению членов общества донских торговых казаков: очерки по истории торговли на Дону. 1804-1904 гг./Е.П. Савельев. Новочеркасск, 1904; [http://passion-don.org/trading/trading\\_14.html](http://passion-don.org/trading/trading_14.html) 1.04.2009.

Зырянов А. И., аспирант  
Мазуренко В. Г., проф., д-р физ.- мат. наук  
Конев С. Ф., доц., канд. физ.- мат. наук

## ДРАЙВЕР ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЦИФРОВЫХ ТРЕХОСЕВЫХ ГРАВИМЕТРОВ И ПРОЧИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФЛЭШ-ПАМЯТЬ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

В автономных измерительных устройствах, таких как цифровой трехосевой гравиметр, зачастую требуется не только отображение измеряемого параметра на дисплее устройства или отправка измеренного сигнала другому устройству (чаще всего ЭВМ), но и запись данных во внутреннюю память для отложенной передачи измеренного сигнала. Наиболее подходящим для этих целей из представленных на рынке видом постоянной памяти является флэш-память, поскольку она достаточно надежна, энергоэкономична, компактна, не содержит движущихся частей, что снимает ряд ограничений на применение использующих их приборов. А благодаря ее массовому внедрению и использованию, является дешевой и легко внедряемой. Помимо перечисленных выше достоинств, флэш-память имеет и недостатки. Главный из них — ограниченное количество циклов перезаписи. Этот недостаток усугубляется той особенностью наиболее часто используемых файловых систем, что в некоторые области памяти запись ведется существенно чаще, чем в другие (одним из наиболее ярких примеров являются таблицы размещения файлов в файловых системах FAT). Другим недостатком широко распространенных файловых систем, в том числе разработанных специально для флэш-памяти (например, JFFS2, YAFFS, exFAT), является расходование большого объема памяти для служебных целей. Также большинство современных файловых систем требуют достаточно много оперативной (или регистровой) памяти, что является их существенным недостатком для использования в приборах, управляемых микроконтроллерами.

С учетом особенностей задачи (разработка автономного измерительного прибора), специфики флэш-памяти и недостатков современных файловых систем, на кафедре теоретической физики и прикладной математики была разработана специальная файловая система. Другим важным требованием к разрабатываемой файловой системе являлась устойчивость целостности к сбоям наподобие сброса питания.

Было решено отказаться от использования имен файлов и каталогов, их типов и атрибутов, поскольку, с одной стороны, для идентификации файлов достаточно использовать автоматически проставляемую дату и время начала измерений, а, с другой, уменьшение объема служебных данных увеличивает объем для хранения измерений. Во многих модулях флэш-памяти, в целом, и в использовавшейся для разработки файловой системе в частности, весь объем памяти разбит на страницы. С учетом этой особенности в

разработанной файловой системе каждый файл может занимать несколько страниц памяти, но одна страница не может разделяться между несколькими файлами. Такое ограничение было введено для повышения быстродействия файловой системы и не приведет к значимому сокращению объема памяти для хранения измеренных данных, поскольку файлы в типичном измерительном приборе используют большое количество страниц и количество файлов редко бывает большим. Каждая страница содержит, как минимум, пять служебных байтов, первый из которых определяет ее тип. В рассматриваемой версии файловой системы введены следующие типы страниц:

- свободная страница;
- первая страница файла;
- промежуточная страница файла;
- последняя страница файла;
- единственная страница файла.

Служебные байты со второго по пятый хранят контрольную сумму, рассчитанную в текущей реализации по алгоритму Adler-32. Первая страница файла также содержит дату и время начала записи, а последняя — количество использованных байтов в этой странице. Эти поля являются платформенно-зависимыми, и их размер зависит от используемого в приборе формата хранения даты и времени, а также размера страницы.

В файловой системе реализуется запись данных «по кругу». То есть при стирании старых файлов остается маркер конца последнего из них, а запись новых начинается со страницы, следующей за этим маркером. При достижении последней страницы, запись продолжается с первой страницы, если она свободна. Это позволяет снижать количество стираний памяти, продлевая, таким образом, срок ее службы.

При разработке файловой системы также учитывалась последовательность выполняемых действий при работе с прибором: гравиметр проводит автономные измерения, записывая файлы в память, после чего подключается к ЭВМ, на которую передаются записанные данные, которые после передачи стираются. Таким образом, нет необходимости удалять файлы по отдельности и, в частности, файлы, находящиеся между другими файлами. Это позволяет избежать фрагментированности файловой системы и, тем самым, сохраняет свободную память.

После концептуальной разработки был написан драйвер файловой системы для микроконтроллеров PIC18 на языке С. При этом он реализует лишь часть потенциала файловой системы: поддерживается лишь один файл (так как запись нескольких файлов в данной версии прибора не требуется из-за особенностей порядка работы) и не реализует чтение файлов (так как память читается непосредственно ЭВМ). Драйвер прост и компактен и занимает менее 400 строк. Он состоит из следующих внешних функций:

- `fs_init` — инициализация файловой системы. Сканирует флэш-память и анализирует метки страниц. В качестве результата возвращает

статус.

- `fs_used_pages_count` — возвращает количество использованных страниц.
- `fs_erase` — удаляет все файлы из флэш-памяти.
- `fs_write` — записывает данные, переданные в качестве аргумента, в текущий файл.
- `fs_finalize` — закрывает текущий файл.

Драйвер может находиться в одном из следующих состояний:

- `FS_UNKNOWN` — неизвестное состояние, в котором драйвер находится до инициализации;
- `FS_EMPTY` — файловая система свободна;
- `FS_NOT_EMPTY` — в файловой системе имеется файл;
- `FS_FULL` — файловая система заполнена целиком;
- `FS_BROKEN` — файловая система содержит ошибки.

Под служебную информацию расходуется менее 1% памяти. Любой сбой, наподобие сброса питания, приведет либо к тому, что файл либо не будет записан целиком, либо он не будет иметь последнюю страницу. Таким образом, сбой такого рода легко обнаружить, он не приведет к нарушению файловой системы, и основной массив данных не потеряется. Файловая система также помогает обнаруживать сбои флэш-памяти на физическом уровне благодаря использованию контрольных сумм страниц.

Таким образом, была разработана узкоспециализированная файловая система для автономных измерительных приборов, использующих флэш-память для хранения измерений, и написан драйвер для микроконтроллеров PIC18. Драйвер был введен в эксплуатацию в текущей версии разработанного на кафедре теоретической физики и прикладной математики цифрового трехосевого гравиметра.

Мамаева А.Д., магистрант  
УралГАХА (Уральская государственная архитектурно-художественная академия)  
г. Екатеринбург

## УРАЛЬСКАЯ ШКОЛА ДИЗАЙНА: ТЕОРИЯ vs ПРАКТИКА

Российское дизайн-образование сегодня представляет собой весьма противоречивый феномен. Славные традиции времен расцвета дизайна в советское время с их методиками проектирования, целевыми программами и результатами подготовки дизайнеров для производства сейчас сложно, если почти невозможно, вписать в реалии современного рынка.

В настоящее время на этапе получения диплома дизайнера выпускник часто оказывается в растерянности относительно продолжения своего творческого пути – а именно, где и, главное, как найти работу по специальности? Исследование показало, что в целом по стране только 50% выпускников российских творческих вузов работают по специальности. Остальные реализуются там, где получится. Часть из них стремится сменить профессию, получив дополнительное высшее образование. Одной из причин такого положения дел является отсутствие у молодых людей профориентации и достоверной информации о спросе и предложении на российском рынке труда.

Объективное несоответствие существующего творческого дизайн-образования и реальной практической экономической ситуации затрудняет процесс постижения сути профессии «индустриальный дизайн». Парадоксально, но факт: дизайн практически полностью изолирован от индустрии как таковой. На сегодня очевидна необходимость смены вектора развития дизайн-образования, а для этого, как и всегда в переходные периоды, предлагается снова взглянуть на него с точки зрения практики и одновременно на практику – с точки зрения образования.

В период формирования отечественных дизайн-школ была актуальна задача подготовки конкретного специалиста для конкретного производства, т.е. формировалось звено большой системы.

Во времена рождения профессии «художник–конструктор» существовала мощнейшая организация – ВНИИТЭ (Всесоюзный научно-исследовательский институт технической эстетики), которая распределяла филиалы по разным регионам Советского Союза. В зависимости от курируемых такими филиалами министерств и определялись направления подготовки дизайнеров (в то время – художников–конструкторов) для конкретных предприятий. Таким образом, судьба каждого отдельного дизайнера была заведомо решена и обеспечена работой по специальности.

Что касается Уральской Школы дизайна, то ее специфика определилась геоэкономическим положением – в центре одного из крупнейших производственных районов страны, специализирующихся на тяжелой индустрии и машиностроении. Для обеспечения таких индустриальных

гигантов, как Уралмаш и Южуралмаш, крупных предприятий химического машиностроения – Уралхиммаш и Глазовский завод, крупных заводов электротехнической промышленности электрооборудования – турбомоторный завод и Уралэлектротяжмаш и других, необходимо было подготовить определенное немалое количество рабочих и инженерно-технических кадров различных специальностей, в том числе и дизайнерских. Соответствие образования требованиям времени было идеальным.

В начале 90-х гг. налаженная система была разрушена и многие специалисты-дизайнеры оказались без работы. Застой отечественной промышленности и практическая приостановка госзаказа на спецтехнику, отсутствие разработок по гражданской тематике повлияли на уход специалистов в совсем иные области. Российский промышленный дизайн с тех пор находится в состоянии переходного этапа. И если раньше успех дизайна оценивался экспертными бюро, то сегодня этой оценки недостаточно, так как рынок предъявляет иные требования к продуктам дизайна и собственно дизайнерам. Стал цениться дизайн, быстро приносящий прибыль, что вызвало потерю былого интереса к индустриальному дизайну и взлет спроса на средовой и графический дизайн. Такая ситуация, по мнению Ю. Назарова, «стала причиной определенной деформации всей сложившейся структуры профессиональной дизайнерской деятельности».

Таким образом, понимание дизайна в России оставалось пока на уровне декораторства и, в лучшем случае, повышения эстетических свойств изделия. В системе деятельности по разработке нового продукта дизайнеры выполняли только определенную узко ограниченную функцию собственно дизайна – создание графиков, моделей, макетов. В процесс концептуальной разработки идеи продукта дизайнер не допускался и выполнял вспомогательную «художественно-эстетическую» роль.

Между тем международный опыт показал, что возможности современного дизайна как для частного бизнеса, так и для экономики страны в целом гораздо шире. Сегодня президент Design Council Великобритании делает ежегодные доклады премьер-министру на тему дизайна как «единственного инструмента конкурентоспособности британской экономики», а в Давосе проводится Всемирный экономический форум под лозунгом «Почему для выживания нам необходимо дизайнерское мышление».

Таким образом, аналитического мышления, базирующегося на обработке уже существующей информации, становится недостаточно. Для инноваций и качественных преобразований стал необходим принципиально иной тип мышления, его обязательная творческая составляющая, умение синтезировать и создавать новое. Дизайнер – это прирожденный «синтезатор» информации, всегда занимавший уникальное положение между миром замысла, образа и его воплощением. Его навыки синтеза пригодились там, где не справились другие специалисты, и где потребовалось увязать

воедино противоречивые и неявно сформулированные требования к новому продукту.

Так, внутри иностранных компаний инструменты дизайна используются для оптимизации всех процессов создания нового успешного продукта. По сути, это мощный инструмент менеджмента. За пределами компаний ведущие производители прибегают к помощи дизайна для выявления потребительских предпочтений и формулирования концепций новых продуктов, которые могут стать основой для создания новых рынков, новых потребительских ниш. Так формируется инновационное направление в дизайне – «Дизайн-менеджмент».

Впервые термин «дизайн-менеджмент» был представлен на заседании Королевского Общества Искусств в Лондоне в 1965 году. С этого момента начинается официальная история развития новой дисциплины.

Что такое современный дизайн-менеджмент? По словам Марии Сташенко, академического члена Design Management Institute (Boston, USA), дизайн-менеджмент это «переводчик с «дизайнерского» языка на «бизнесовый» — и наоборот. Дизайн-менеджмент разбирает креатив «по косточкам» и дает ответ на вопросы, сколько надо вложить в дизайн, чтобы получить эффективный продукт. Дизайн-менеджмент разрабатывает индекс возврата инвестиций в дизайн, который рассчитывает прибыль относительно вложенных в проект средств. Он же срывает покров таинственности с «креативной кухни», упаковывая ее в ультрасовременную прозрачную оболочку дизайн-стратегии, которую можно посчитать, измерить и оценить. А также – помогает управлять дизайн-командой на предприятии и налаживать работу собственной дизайн-студии. Основные функции дизайн-менеджмента – организация дизайн-процесса, разработка дизайн-стратегии и воплощение дизайна в жизнь, а точнее – в бизнес, и в рынок».

Необходимость дизайн-менеджмента в современной России отрицать невозможно так же, как отрицать статистику. В 2006 году по инициативе ORGANICA Design Consultancy и при поддержке кафедры «Коммуникативный дизайн» СПбГХПА был проведен экспертный опрос топ-менеджеров 150 предприятий на тему «Роль дизайна в бизнесе. Эффективный дизайн». Выяснилось, что 61,1% из них считают наиболее важным создание системы оценки качества дизайн-проектов, а 20,8% считают приоритетом стандартизацию взаимоотношений «агентство-клиент». И что они бы «дорого заплатили профессионалу, который объяснит им, какой дизайн нужно сделать, чтобы не потерять инвестиции, например, в производственную линию, стоимостью 5 млн. евро».

Вопросы оценки эффективности дизайна, а также организации системы управления дизайном на предприятии как раз находятся в сфере компетенции дизайн-менеджмента. Если опираться на данные исследования, то получается, что большинство российских предприятий уже нуждаются в услугах дизайн-менеджмента, но пока либо не осознают эту потребность, либо не имеют возможности воспользоваться – сервисы в этой области пока никак не представлены в России.

Новая профессия как нельзя более востребована сегодня в мире бизнеса, где каждый неосторожный шаг делает последствия кризиса все более существенными. В ближайшее время предприятиям понадобятся люди с умением разрабатывать дизайн-стратегии и управлять ими. Специалисты по дизайн-менеджменту в России могут рассчитывать на широкую клиентскую базу, а также полное отсутствие конкуренции и ограничений по оптимальной форме работы.

Обозначенная необходимость формирования нового направления «Дизайн-менеджмент» в дизайн-образовании Уральского региона обращает внимание к известной Школе. Уральская школа дизайна всегда отличалась, по словам Ю. Назарова, «самобытностью, уникальностью авторских методик преподавания», тщательностью подхода к исследованию региональных проблем дизайна, что к настоящему моменту сформировало ее революционный характер и стремление к переменам. Инновационная составляющая должна стать основной в образовании уральских промышленных дизайнеров.

В 2008 году в рамках магистерского исследования был проведен опрос среди студентов и выпускников кафедры «Промышленный дизайн» УралГАХА. Результатом явились следующие данные: 80% опрошенных хотели бы получить дополнительные знания в области дизайн-исследований и маркетинга, 74% выпускников и учащихся не хватает знаний в профессиональном английском языке, 67% считают, дизайн-менеджмент – это новое и интересное направление, открывающее перспективы для профессиональной реализации дизайнера в сфере управления и бизнеса.

Итак, время диктует образованию свою стратегию перемен: необходимо обогащать дизайн-образование новыми дисциплинами, новыми специальностями. В качестве базы для внедрения новой специальности «Дизайн-менеджмент» предлагается магистратура индустриального дизайна УралГАХА.

Нельзя стоять на месте в стремительно меняющемся мире, необходимо становиться все более гибким, сильным и выносливым. Дизайн-менеджмент – профессия завтрашнего дня. И готовиться к ней нужно сейчас.

Бобринский С.В., аспирант  
 Петербургский государственный университет путей сообщения  
 г. Санкт-Петербург

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗНИЦЫ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР НА ТЯГОВЫЕ СВОЙСТВА ЛОКОМОТИВА

Различие в начальном размере колес (по диаметру) в эксплуатационных условиях встречается довольно часто. Поэтому при строго равной частоте вращения колес, ведомых единым приводом, могут возникать некоторые энергетические потери, оценка которых представляет интерес.

В первом приближении приращение скорости движения локомотива будет равно:

$$dv = \frac{dv}{dn} dn + \frac{dv}{dD} dD \quad (1)$$

Для исследования влияния диаметра колеса на тяговые свойства локомотива обозначим:

$$D = D_i \pm t\sigma_D ; v = v_i \pm t\sigma_v ,$$

где  $D_i$ ,  $v_i$  обозначены номинальные значения величин,  $\sigma_i$  – их стандартные отклонения.

Тогда из уравнения (1) получим:

$$\sigma_v = \sqrt{\left(\frac{dv}{dn_i}\right)^2 \sigma_n^2 + \left(\frac{dv}{dD_i}\right)^2 \sigma_D^2} .$$

Учтем, что

$$\frac{dv}{dn} = \frac{0,188}{\mu} D ; \frac{dv}{dD} = \frac{0,188}{m} n .$$

Подставив эти значения производных при математических ожиданиях параметров в выражение стандартного отклонения скорости, получим:

$$\sigma_v = \frac{0,188}{\mu} \sqrt{D^2 \sigma_n^2 + n^2 \sigma_D^2} . \quad (2)$$

Полученное уравнение дает возможность оценить долю влияния каждого из факторов на величину разброса электротяговой характеристики.

Так как электротяговая характеристика в процессе эксплуатации меняется, то можно оценить ее относительные допуски:

$$t\sigma_{v_o} = \frac{t\sigma_v}{v_i} ; t\sigma_{D_o} = \frac{t\sigma_D}{D_i} ,$$

получим, применив уравнение (2):

$$t^2 \sigma_{v_o}^2 = t^2 \sigma_{n_o}^2 + t^2 \sigma_{D_o}^2 . \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что величина допуска  $t\sigma_{n_o}$ , установленная ГОСТ 2582-81 и равная  $\pm 0,03$ , будет заведомо меньше отклонения электротяговой характеристики от номинальной.

Вычислим коэффициенты уравнения:

1. Для колесной пары  $D = 1050$  мм (без износа бандажа):

$t\sigma_{no} = 0,03$  , а  $t\sigma_{Do} = 12/1050 = 0,0114$  , то  $t\sigma_{vo} = 0,032103$ .

2. Для колесной пары  $D = 972$  мм ( с максимальным износом бандажа при номинальном 1050 мм):

$t\sigma_{no} = 0,03$  , а  $t\sigma_{Do} = 12/972 = 0,0123$ , то  $t\sigma_{vo} = 0,03242$ .

3. Для колесной пары  $D = 1250$  мм ( без износа бандажа):

$t\sigma_{no} = 0,03$  , а  $t\sigma_{Do} = 12/1250 = 0,0096$  , то  $t\sigma_{vo} = 0,031499$ .

4. Для колесной пары  $D = 1172$  мм ( с максимальным износом бандажа при номинальном 1250 мм):

$t\sigma_{no} = 0,03$  , а  $t\sigma_{Do} = 12/1172 = 0,010239$  , то  $t\sigma_{vo} = 0,031699$ .

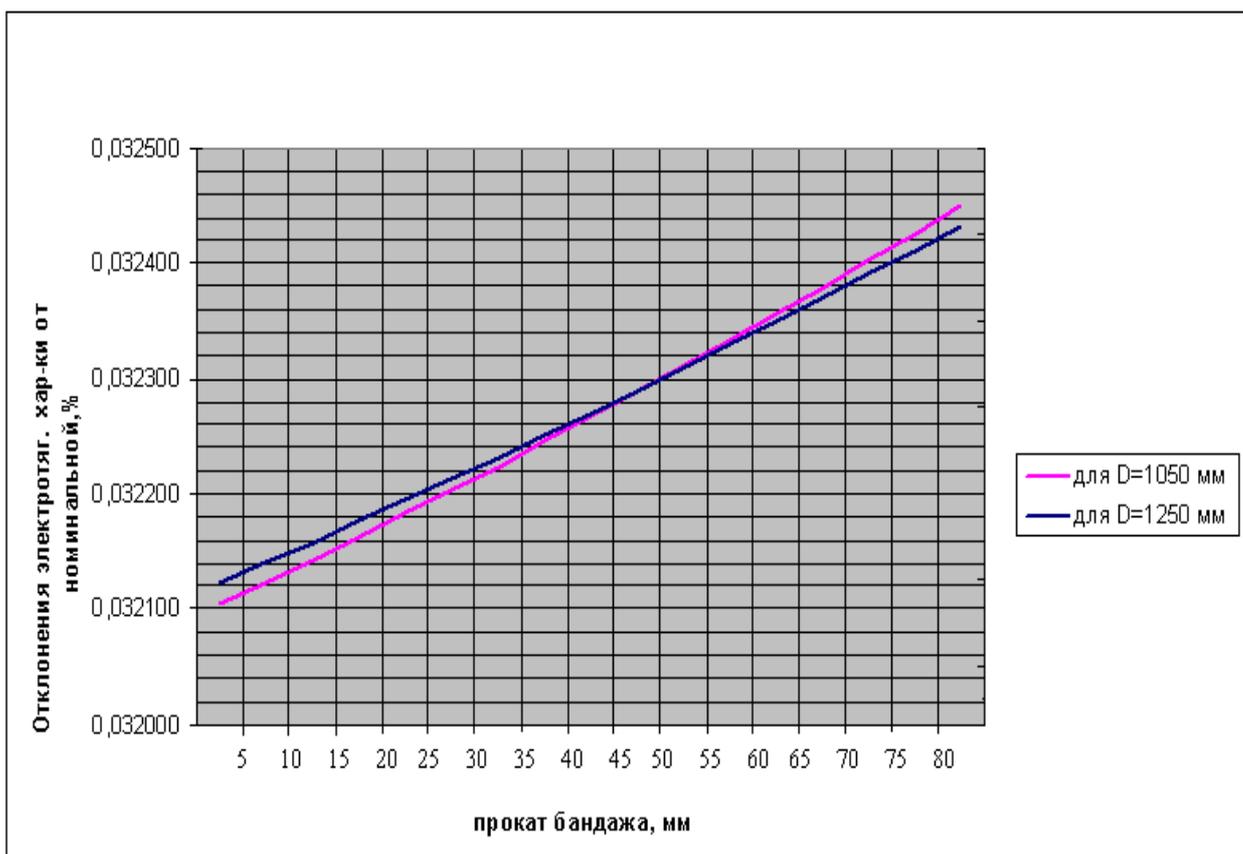
#### Влияние проката бандажа на электротяговые характеристики локомотива

$D_{ном} = 1050$ мм	$t\sigma_{Do}, \%$	$t\sigma_{vo}, \%$	$D_{ном} = 1250$ мм	$t\sigma_{Do}, \%$	$t\sigma_{vo}, \%$
1050	0,011428571	0,032103	1250	0,0096	0,031499
1045	0,011483254	0,032123	1245	0,009639	0,03151
1040	0,011538462	0,032142	1240	0,009677	0,031522
1035	0,011594203	0,032162	1235	0,009717	0,031534
1030	0,011650485	0,032183	1230	0,009756	0,031546
1025	0,011707317	0,032203	1225	0,009796	0,031559
1020	0,011764706	0,032224	1220	0,009836	0,031571
1015	0,01182266	0,032246	1215	0,009877	0,031584
1010	0,011881188	0,032267	1210	0,009917	0,031597
1005	0,011940299	0,032289	1205	0,009959	0,03161
1000	0,012	0,032311	1200	0,01	0,031623
995	0,012060302	0,032333	1195	0,010042	0,031636
990	0,012121212	0,032356	1190	0,010084	0,031649
985	0,012182741	0,032379	1185	0,010127	0,031663
980	0,012244898	0,032403	1180	0,010169	0,031677
975	0,012307692	0,032427	1175	0,010213	0,031691
970	0,012371134	0,032451	1170	0,010256	0,031705

Из графика, построенному по данным таблицы, видно:

1. С уменьшением диаметра колесной пары (увеличением проката бандажа) увеличивается отклонение электротяговой характеристики от номинального значения, что вызывает снижение тяговых свойств локомотива.

2.  $\sigma_{vo}$  может быть равной  $\sigma_{no}$  только в случае, когда  $\sigma_{Do} = 0$ , то есть когда диаметр колес точно равен 1050 мм или 1250 мм, что в условиях эксплуатации фактически нереально (согласно существующим нормам ОАО «РЖД» допускается разница в диаметрах колес до 12 мм на одном локомотиве), поэтому  $t\sigma_{vo} > t\sigma_{no}$ .



#### Влияние изменения диаметра колесной пары на электротяговые свойства локомотива

В настоящее время в большинстве депо производится одиночная обточка бандажей колесной пары непосредственно под локомотивом. Предельная разница в диаметрах колес одного экипажа (12 мм) часто не выдерживается, так как замерить ее под тепловозом не представляется возможным, а по толщине бандажа определить диаметр нельзя.

Поэтому в эксплуатации разница диаметров колес двух соседних колесных пар может поставить двигатели в еще более худшие условия в смысле расхождения их мощности, причем с течением времени это расхождение будет только увеличиваться, что негативно будет влиять на тяговые свойства локомотива в целом. В ремонтной и эксплуатационной практике встречаются отклонения скоростных характеристик тяговых двигателей от -14% до +11% и расхождения диаметров колесных пар на одном локомотиве (одной секции) до 3,5%. Сочетание таких характеристик на одной секции локомотива маловероятно, но не исключено.

Данный вопрос касается не только в пределах одной секции локомотива, но и при оценке различия в силах тяги, реализуемых отдельными секциями в пределах многосекционного локомотива, так как специального подбора секций по их тяговым характеристикам не производится. Это затрагивает в первую очередь тепловозы, у которых разница в тяговых характеристиках сильно зависит от уровня мощности дизелей, установленных на различные секции локомотива.

Матказина А.А., ассистент кафедры ПХТ  
Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал)  
ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет»  
г. Балаково

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГАЗООЧИСТКИ В ПРОТИВОТОЧНЫХ ЦИКЛОНАХ

Избрав это направление, в конструкцию газоочистительного аппарата вносят усовершенствования, способствующие интенсификации происходящих в нем процессов.

Интенсификация циклонного процесса в основном связана с совершенствованием конфигурации конструктивных элементов циклонов (корпуса, входного патрубка, верхней крышки, выхлопной трубы).

Циклоны являются наиболее распространенными аппаратами для очистки выбросов воздуха от производственной пыли. Они просты, экономичны и во многих случаях обеспечивают достаточно высокую эффективность.

К их недостаткам следует отнести сравнительно узкую область применения, ограниченную для каждого типа циклона определенными свойствами пыли, с учетом которых он разработан. Поскольку производственная пыль и мелкие отходы обладают многообразными свойствами, для их осаждения потребовалось разработать значительное число типов циклонов. Также недостатком данных газоочистных аппаратов является их довольно большое гидравлическое сопротивление. Ограниченность области применения затрудняет проведение унификации циклонов и организацию их серийного производства.

Основными направлениями совершенствования циклонов являются: снижение аэродинамического (гидравлического) сопротивления, уменьшение габаритов, увеличение эффективности газового потока от мелких пылевых частиц, увеличение производительности, упрощение конструктивного оформления.

Для выявления циклона оптимальной конструкции были произведены расчеты соотношений размеров циклонов типов: ЦККБ, ВТИ, НИИОГАЗ и моделей циклонов Мушелькнауца и Брюнера под номерами I и II при постоянных объемах подаваемого на очистку газа  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $9 \text{ м}^3/\text{с}$ .

На основании проведенных расчетов был построен график зависимости размеров циклона определенного типа от расхода подаваемого газа (рис. 1).

Сделаны выводы, что конструкция и соотношение размеров противоточного циклона типа НИИОГАЗ является наиболее оптимальной для конструктивно–технологической интенсификации.

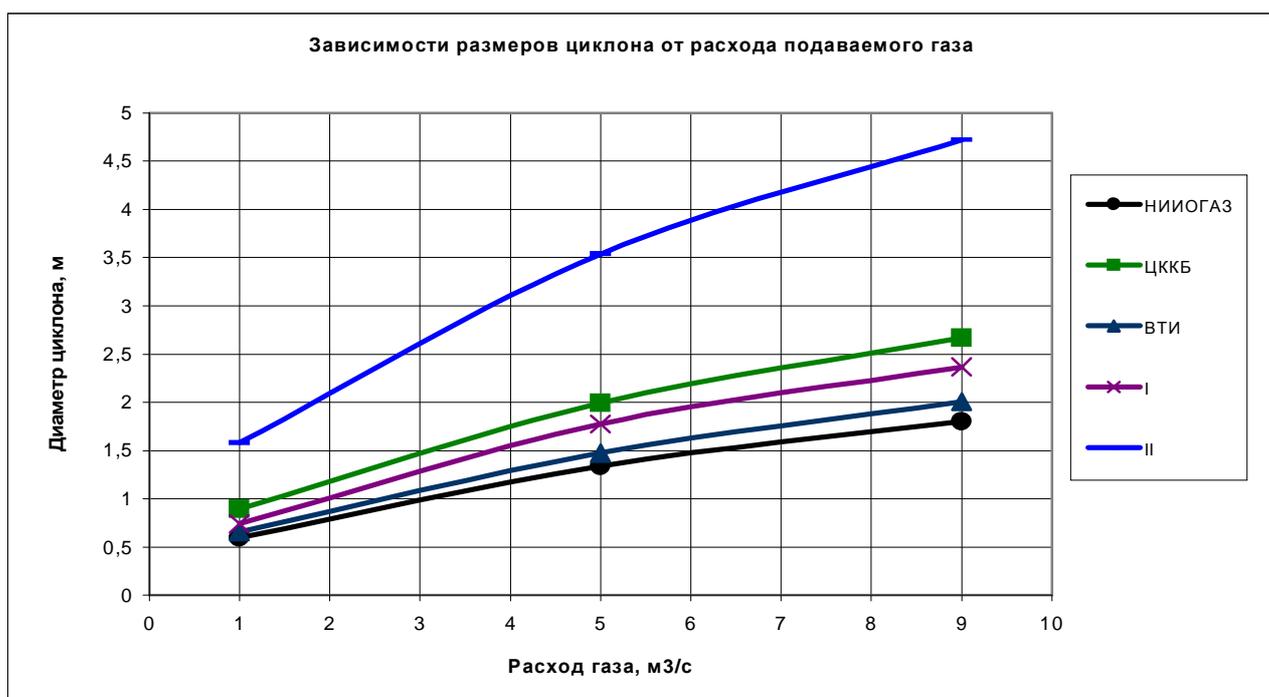


Рис. 1. Зависимость размеров циклона от расхода, подаваемого газа

На сегодняшний день в науке и технике вопросы энерго- и ресурсосбережения являются приоритетными. Именно поэтому ученые и инженеры во всех отраслях промышленности предпринимают попытки совершенствования, оптимизации и модернизации действующего оборудования и технологий в данных направлениях. Проектирование процессов и аппаратов также ведется с учетом минимизации энергопотребления.

Энергозатраты на очистку газа в противоточном циклоне определяются затрачиваемой мощностью на продавливание газа:

$$N = \rho \times g \times Q \times \Delta H, \text{ (Вт)} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность газовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;  $\Delta H$  – потери напора, м;  $Q$  – объемный расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с.

$$\Delta H = \xi \times V^2 / (2 \times g), \text{ (м)} \quad (2)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $V$  – средняя скорость потока газовой смеси, м/с.

Подставляя выражение 2 в выражение 1, получим:

$$N = \xi \times g \times Q \times V^2 / 2, \text{ (Вт)} \quad (3)$$

Анализ полученного выражения показывает, что снижение энергозатрат можно достичь путем снижения коэффициента гидравлического сопротивления.

Над этой задачей не безуспешно работают инженеры и ученые во всем мире. Известны многие случаи внутренней модификации циклонов, с целью уменьшения коэффициента гидравлического сопротивления.

Так, например, инженер Тер-Линден сумел уменьшить потерю давления на 20 – 25% путем помещения спирали на входе в выходную трубу, тогда как Шиле, применив твердый центральный стержень в виде трубки Вентури

с лопатками на входе выходной трубы, достиг эффективного уменьшения потери давления на 42%.

Учитывая вышеизложенное, нами предложена конструкция противоточного циклонного пылеуловителя снабженного насадкой плавного обтекания потока, уходящего в выходную трубу, установленную на входе выходной трубы, способствующей более оптимальному движению очищаемого потока. Также конструкция циклонного пылеуловителя имеет местное расширение корпуса циклона в зоне установки насадки плавного обтекания, обеспечивающее постоянное поперечное сечение потока газа в кольцевом пространстве между корпусом, выходной трубой и насадкой плавного обтекания.

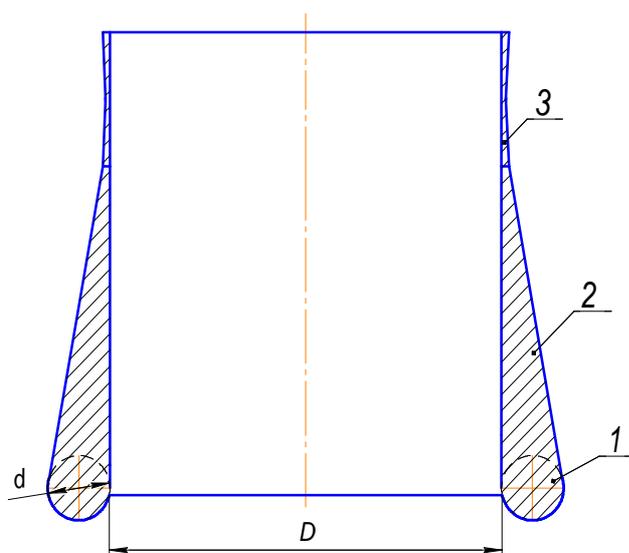


Рис. 2. Конструкция насадки плавного обтекателя

Предлагаемая нами конструкция насадки плавного обтекания образована последовательно сопряженными телами (рис. 2): тором 1, характеризующимся диаметром окружности поперечного сечения  $d$  и диаметром отверстия  $D$ , равным внутреннему диаметру выходной трубы, усеченным конусом 2 с цилиндрической полостью диаметром  $D$  и углом наклона образующей  $\alpha$ , и конусоподобным телом 3, образующая боковой поверхности которого является сопряжением боковой поверхности усеченного конуса и наружной цилиндрической поверхности выходной трубы.

Насадка плавного обтекания обеспечивает плавный переход потока газа из кольцевого пространства в выходную трубу, а также снижение местных завихрений в зоне перехода потока газа из кольцевого пространства в выходную трубу. Наличие местного расширения корпуса в зоне установки насадки плавного обтекания обеспечивает постоянную площадь поперечного сечения кольцевого пространства между корпусом и насадкой плавного обтекания. В связи с этим уменьшаются местные сопротивления движению потока газа.

Экспериментальные исследования эффективности опытной модели проводились на базе «Научно-исследовательской лаборатории процессов и оборудования химической промышленности» кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) ГОУ ВПО СГТУ.

Техническим результатом проведенных исследований в области совершенствования конструкции противоточного циклона явилась конструкция специальной насадки, установленной на входе выходной трубы, способствующая снижению аэродинамического (гидравлического)

сопротивления за счет наиболее оптимального аэродинамического движения очищаемого потока.

Также нами предполагается, что будет наблюдаться увеличение степени очистки за счет использования данной насадки, так как исключаются местные завихрения в области перехода очищенного потока в выходную трубу, которые способствуют уносу уже отделенных механических примесей. На сегодняшний день нами ведется работа по экспериментальному исследованию противоточного циклона на предмет количественного и качественного увеличения степени очистки.

Конструкция разработанной специальной насадки очень проста, что вполне удовлетворяет требованию по упрощению, совершенствуемых конструкций противоточных циклонов.

Внедрение специальных насадок в противоточные циклоны не требует больших капитальных затрат. А уже полученные экспериментальные данные дают основание утверждать о существенной экономической эффективности этого внедрения.

Иманкулов Р.А., аспирант  
Суханов В.И., доц., д-р техн. наук

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА СВЯЗИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В СИСТЕМАХ IP-ТЕЛЕФОНИИ

Качество выходного речевого сигнала существенно зависит от характеристик каналов связи, по которым передаются данные в системах IP-телефонии. Представляет интерес адекватная математическая модель, описывающая потери пакетов в канале.

Исследованию характеристик каналов связи и их влиянию на качество речевого сигнала посвящено немало исследований отечественных и зарубежных специалистов. Однако насколько известно авторам, на сегодняшний день не предложено модели канала связи, учитывающей изменение его характеристик в зависимости от объема передаваемых данных в единицу времени. Между тем такая зависимость, очевидно, существует, и наиболее ярко она проявляется в каналах с полосой пропускания, которая ограничивается либо физическими параметрами среды передачи (например, модемные соединения), либо искусственно (например, безлимитные каналы с ограниченной полосой, предоставляемой провайдерами доступа к сети Интернет).

Ниже предложена простая математическая модель канала связи, позволяющая описать зависимость уровня потерь пакетов от объема передаваемых данных, а также допускающая идентификацию параметров канала путем выполнения несложных измерений. Представлены результаты натурных исследований на реальных каналах связи, подтверждающие адекватность и применимость предложенной модели.

Для исследования потерь в реальных каналах связи был проведен эксперимент, результаты которого демонстрируют наличие зависимости уровня и характера потерь пакетов от скорости битового потока передающего устройства.

Основа проведенного эксперимента состоит в передаче данных с различной степенью интенсивности по каналу связи с заведомо ограниченной полосой пропускания. Передача осуществлялась по протоколу UDP. Интенсивность потока выходных данных задавалась экспериментатором произвольно, при этом система формировала пакеты заданного размера и отправляла их в канал связи с интервалом в 20 мс. Формируемые пакеты имели заголовок с полями, определяемыми протоколом RTP, позволяющими на приемной стороне получить номер переданного пакета. На стороне приемника при получении каждого пакета сохранялась расшифрованная информация RTP-заголовка, а также момент времени его приема. Сохраненная информация позволила оценить уровень потерь пакетов, а также возможные корреляции потерь.

Эксперимент проводился на канале связи между узлами, один из которых располагался в Екатеринбурге, а второй в Атланте (США). Единые алгоритмы искусственного ограничения полосы пропускания (token bucket и leaky bucket), а также широкая распространенность тарифов, предлагающих безлимитный доступ к сети Интернет с ограниченной полосой пропускания, позволяют утверждать, что выводы, основанные на полученных результатах, справедливы не только для указанного соединения, но и для множества аналогичных каналов связи.

Всего было проведено 440 замеров, в ходе каждого из которых отправлялась 1000 пакетов от одного узла к другому. Интенсивность передачи варьировалась от 16 до 350 кбит/с. По результатам проведенных экспериментов была определена зависимость среднего уровня потерь в канале связи от скорости передаваемого битового потока. Кроме того, каждый замер моделировался дискретным марковским случайным процессом, состоящим из набора событий двух типов: «пакет принят» и «пакет потерян».

По результатам оценки были построены графики, приведенные на рис. 1 и 2. На графиках отображены средний уровень потерь и характеристики марковского процесса:  $p_{10}$  — вероятность потери очередного пакета в случае, если предыдущий пакет не был потерян,  $p_{00}$  — вероятность потери очередного пакета в случае потери предыдущего. Из первого рисунка видно, что существует зависимость между объемом передаваемых данных и величиной потерь в канале связи. Таким образом, существенной характеристикой канала можно считать его полосу пропускания, которая может быть определена как максимальное количество данных в единицу времени, которое может быть передано через данное соединение. Из рис. 2 видно, что канал связи ограничивает полосу только для пакетов, направленных в екатеринбургский узел, в то время как уровень исходящих пакетов не зависит от скорости битового потока, что соответствует бесконечному значению полосы пропускания. Анализ этих графиков также позволяет утверждать, что существует вторая характеристика канала связи — уровень потерь пакетов в канале связи, не зависящий от величины битового потока.

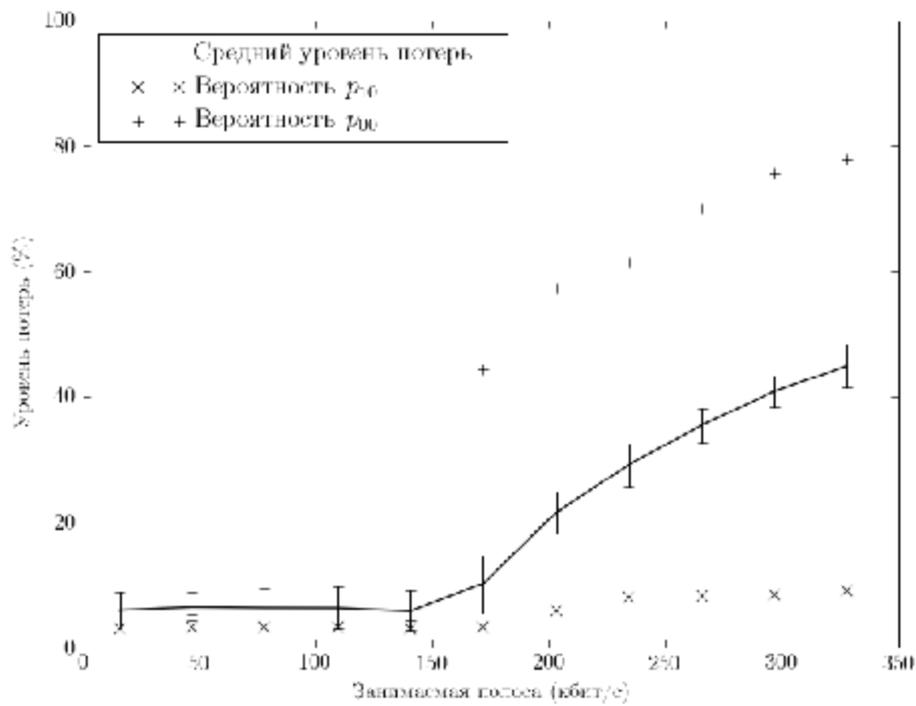


Рис. 1. Потери пакетов при передаче данных по каналу «Атланта-Екатеринбург»

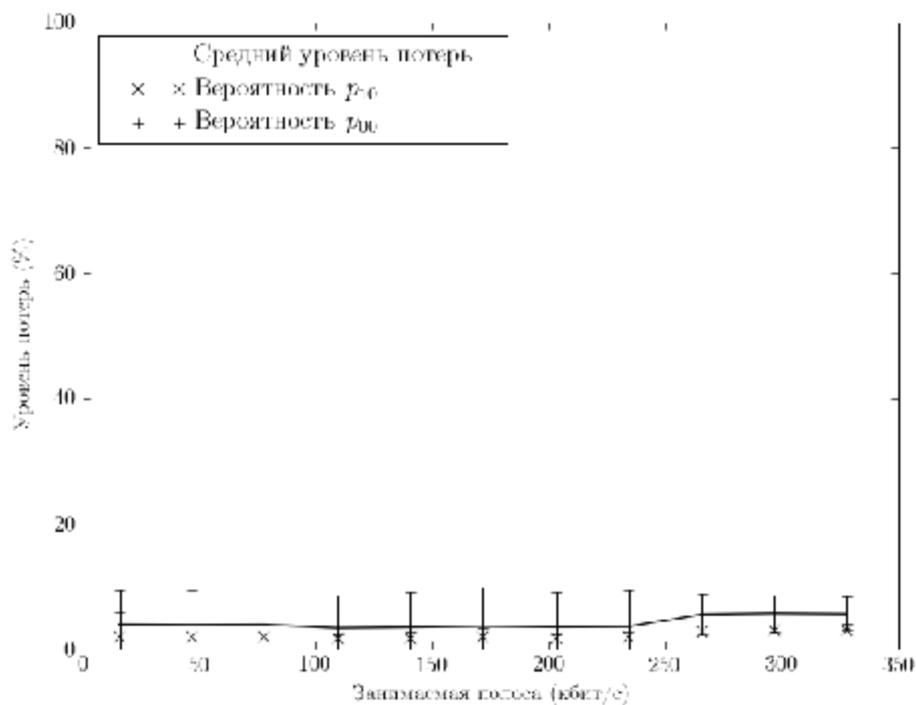


Рис. 2. Потери пакетов при передаче данных по каналу «Екатеринбург-Атланта»

Введем случайную величину, принимающую значение «1» в случае пакета, принятого верно, и «0» в случае, если пакет был потерян. Параметры  $p_{00}$  и  $p_{10}$  марковской модели позволяют определить коэффициент корреляции Пирсона  $\rho$  двух случайных величин для последовательно принятых пакетов. Из графиков видно, что случайные потери, вызванные проблемами в канале, имеют слабо выраженную корреляцию (при  $p_{00} = p_{10}$ ,  $\rho = 0$ ), а потери,

вызванные ограничением полосы пропускания, имеют более ярко выраженную корреляцию, что очевидно, обусловлено алгоритмом ограничения полосы (так, на первом графике при скорости потока 328 кбит/с  $p_{10} = 0,09$  и  $p_{00} = 0,77$ , что соответствует  $\rho = 0,15$ ).

Определим *степень корреляции потерь* как отношение среднего количества потерь  $p$  к величине  $p_{10}$ . Оценка зависимости качества речевого сигнала от степени корреляции при неизменном среднем уровне потерь позволит установить, насколько допустимо использование уровня потерь как характеристики канала вместо ряда характеристик, описывающих как уровень потерь, так и корреляцию между ними.

Для проведения указанной оценки была разработана имитационная модель системы, состоящей из передатчика, канала связи с потерями, и приемника. В качестве входных данных реализация модели принимает следующий набор параметров:

- звуковой файл в формате WAV;
- параметры кодирования сигнала (наименование кодека, характеристики кодирования, если таковые для данного кодека применимы);
- среднее значение уровня потерь  $p$  в сети (для эмуляции случайных некоррелированных потерь), либо два параметра  $p_{10}$  и  $p_{00}$  для эмуляции потерь в канале связи на основе марковского процесса, как описано выше;
- алгоритм скрытия потерь пакетов (packet loss concealment) на приемной стороне.

Оценка зависимости качества от характера потерь выполнялась многократным прогоном речевого сигнала через разработанную модель со следующими характеристиками:

- длительность речевого фрагмента: 80 секунд;
- набор кодеков для тестирования: Speex с качеством 2, Speex с качеством 8, G.729, GSM;
- среднее значение уровня потерь  $p$ : 1%, 5%, 10%, 20%;
- набор степеней корреляции  $p / p_{10}$ : 1, 2, 4, 8, 16, 32;
- алгоритм скрытия потерь, основанный на алгоритме WSOLA.

В таблице приведены результаты проведенных экспериментальных исследований для кодека Speex с качеством 8. В ячейках приведены значения качества MOS, оцененного по алгоритму PESQ. Результаты экспериментальных исследований для других кодеков демонстрируют те же тенденции. Из приведенных результатов видно, что увеличение коэффициента корреляции потерь приводит к незначительному (на 0,1—0,3 единицы) ухудшению качества речевого сигнала. При оценке параметров выходного речевого сигнала на реальных каналах связи это ухудшение является несущественным и им допустимо пренебречь.

### Зависимость качества речевого сигнала от степени корреляции потерь

p (%)	$P/P_{10}$					
	1	2	4	8	16	32
1	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2
5	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,0
10	2,3	2,3	2,3	2,1	2,2	2,1
20	2,1	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8
50	1,8	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3

Анализируя полученные результаты, можно предложить модель канала связи, имеющую два параметра, существенные для качества выходного сигнала: полосу пропускания  $B$  и среднее значение уровня потерь  $p$ .

*Полоса пропускания канала* определяет максимальное количество данных, которые могут быть переданы по данному каналу в единицу времени. В случае, если входной поток данных превышает пропускную способность канала, часть данных задерживается или отбрасывается промежуточными маршрутизаторами. В установившемся режиме канал с ограниченной полосой обладает следующим свойством — при превышении битового потока передатчика  $R$  полосы пропускания  $B$  за счет ограничения полосы будет потеряно  $\frac{R-B}{R} \times 100\%$  пакетов.

*Среднее значение уровня потерь* — это вторая рассматриваемая характеристика канала связи. Возникновение случайных пропаданий пакетов связано с особенностями прохождения VoIP трафика по пакетным сетям. Речевая информация передается в пакетах поверх стека IP/UDP/RTP. Ни один из протоколов стека не обеспечивает гарантированную доставку сообщений, и поэтому случайные помехи, возникшие в сети, станут причинами потерь отдельных пакетов речевого сигнала на прикладном уровне.

Идентификация параметров модели в режиме реального времени возможна на приемном оконечном устройстве. Необходимость определения двух неизвестных параметров канала (полосы и потерь) требует решения двух уравнений, составленных на основе измерения параметров канала в двух состояниях.

Первое уравнение строится при тестировании канала с заведомой перегрузкой  $B_1 > B$ , например, за счет дублирования пакетов. В канале с ограниченной полосой в единицу времени теряется  $B_1 - B$  байт на входе и  $L \cdot B$  байт непосредственно в канале. Наблюдаемая со стороны приемника доля потерянных пакетов — это отношение количества потерянных данных к общему объему переданной информации:

$$L_1 = \frac{B_1 - B + L \cdot B}{B_1},$$

отсюда

$$B = \frac{B_1(1-L_1)}{1-L}$$

Полагая  $L = 0$ , можно получить нижнюю оценку границы полосы пропускания канала:

$$\underline{B} = B_1(1-L_1).$$

Второе уравнение строится при тестировании нагрузкой  $B_2 = \underline{B}$ , не превышающей пропускную способность канала. В таком случае наблюдаемые потери  $L_2$  будут вызваны только потерями в канале:  $L = L_2$ .

Подставляя полученное значение в формулу для вычисления полосы пропускания, получим:

$$B = \frac{B_1(1-L_1)}{1-L_2}.$$

Предложенный алгоритм позволяет определить обе характеристики канала (полосу пропускания и уровень случайных потерь) в режиме реального времени. Экспериментальные исследования, выполненные на реальных объектах и ставшие основой предложенной модели, подтверждают ее адекватность и применимость.

Сосновский А.В.  
Коберниченко В.Г.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

Получение информации о рельефе местности и его изменениях – важная задача при создании и обновлении топографической основы картографических материалов, а также при мониторинге городских территорий и транспортных коммуникаций (в т.ч. трубопроводов). Традиционно для решения этой задачи используется стереоскопическая аэрофото- или космическая съёмка в оптическом диапазоне длин волн. Однако для обработки информации, полученной таким способом, требуется проводить большой объём ручной работы по согласованию опорных точек на обоих изображениях или по отрисовке объектов в стереорежиме.

С середины 1980-х гг. в США, Канаде и Западной Европе ведутся исследования по возможности использования радиолокационных данных для построения цифровых моделей рельефа и местности (ЦМР и ЦММ). Главное направление этих исследований заключается в разработке интерферометрических радиолокационных систем с синтезированной апертурой. Интерферометрический радиолокатор с синтезированной апертурой (интерферометрический РСА, ИРСА, РСА-интерферометр, англ. InSAR) – это разновидность многопозиционной радиолокационной системы, позволяющая синтезировать цифровые трёхмерные изображения земной поверхности с помощью фазовых измерений. В отличие от стереоскопических систем, где извлечение «третьей координаты» осуществляется за счёт параллакса между двумя изображениями одной и той же поверхности, снятыми под разными углами, в интерферометрической РСА для решения этой же задачи используется разность фаз отражённых сигналов, принимаемых двумя смещёнными в пространстве антеннами.

Значительный прогресс в сфере интерферометрической радиолокации произошёл в 1990-х годах, с появлением на орбитах постоянно действующих коммерческих спутников ДЗЗ с РСА на борту (ERS-1/2, JERS, RADARSAT). В 2000 году успехом завершилась миссия космического двухантенного РСА-интерферометра SRTM, который был установлен на шаттле Endeavour и осуществил съёмку всей суши Земли (кроме Антарктиды) в разрешении 30 метров. Данные дифференциальной интерферометрии были неоднократно использованы для исследования перемещений грунта при землетрясениях, а с появлением космических РСА высокого разрешения – для оценки просадок рельефа под трубопроводами и железнодорожными путями (пока только в качестве эксперимента). Неоднократно подчёркивалась незаменимость интерферометрических РСА при работе на территориях, где получение информации оптическими средствами затруднительно из-за постоянной облачности и продолжительных полярных ночей.

Существует две конструктивных разновидности интерферометрических РСА: ИРСА с «жесткой» базой, ориентированной перпендикулярно линии пути (англ. cross-track InSAR), и ИРСА с повторным проходом (англ. repeat-track InSAR), причём вторая по своей сути является обычным ИРСА, а интерференционный эффект в ней возникает при правильном выборе орбит съёмок. Строго говоря, существует ещё и третий вариант конструкции интерферометрического РСА – ИРСА с продольной базой (англ. along-track InSAR), но он не может быть использован для построения ЦМР.

Геометрические соотношения при интерферометрической съёмке показаны на рис. 1. Последовательность обработки радиолокационной информации в любой ИРСА следующая. Сначала корреляционным способом производится привязка изображений, затем изображения комплексно перемножаются, результатом чего становится интерферограмма – картина из интерференционных полос, форма и расположение которых зависят от рельефа местности и от положения космического аппарата относительно исследуемой поверхности. На следующем этапе происходит развёртывание интерферограммы, т.е. устранение скачков на  $2\pi$ , получаемая в результате картина будет с точностью до постоянного слагаемого и масштабного множителя совпадать с рельефом исследуемой поверхности. Далее в зависимости от вида ИРСА эта картина пересчитывается либо в модель рельефа, либо в карту изменений рельефа.

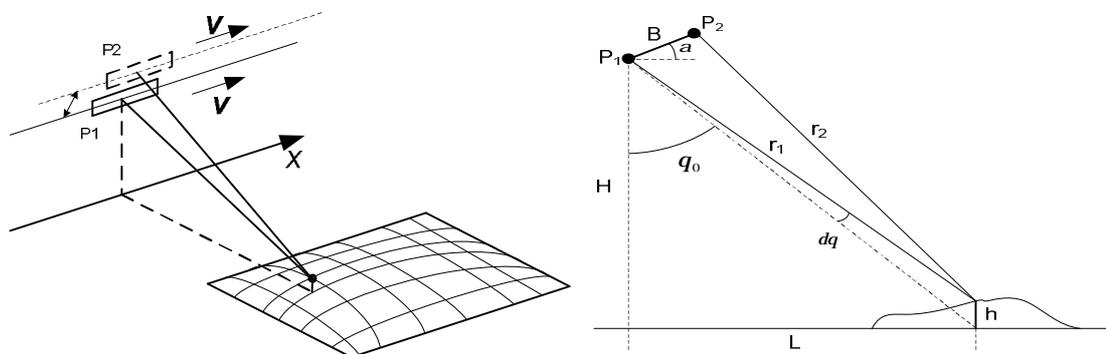


Рис. 1. Геометрические соотношения при интерферометрической съёмке

Высота рельефа  $h$  связана с измеренной разностью фаз следующим образом:

$$h = \frac{(\Delta j - \Delta j_{on}) \cdot I r_1 \cos q_0}{4pB \cos(q_0 - a)}$$

где  $\Delta j_{on}$  – опорная разность фаз. При расчёте всегда используется аппроксимация плоской волной, или т.н. аппроксимация в дальней зоне.

Основными целями проводимых исследований является разработка технологии построения цифровых трёхмерных моделей местности (ЦММ) на основе данных космической радиолокационной съёмки, а также определение точностных параметров и границ применимости таких моделей. Для реализации целей необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести расчёт ошибок, возникающих при синтезировании апертуры радиолокатора. На сегодня практически отсутствуют работы, в которых бы учитывалось влияние погрешностей вычисления опорной функции на конечный результат. Приводимые в существующей научной литературе значения потенциальной точности, основанные на использовании теоремы Ван-Циттерта–Цернике, учитывают лишь ошибки, так или иначе связанные с отражающими свойствами исследуемой поверхности и свойствами среды распространения радиоволн. Исследований же по оценке ошибок, возникающих при накоплении сигнала, крайне мало, хотя эти ошибки вносят значительный вклад в конечную погрешность результата.

2. Обосновать реальную точность моделей рельефа, получаемых интерферометрическим способом, с использованием специального полигона, на котором можно провести высокоточные подспутниковые измерения. Проведение подобного исследования запланировано на 2010 год в рамках данной работы и НИОКР «Экспериментальное исследование методов построения цифровых моделей рельефа по материалам радиолокационной космической съёмки». Оценку планируется провести для спутниковых систем, имеющих разные длины волн и поляризации: ALOS (L-диапазон, разрешение 12 м), TerraSAR-X (X-диапазон, разрешение 3 м), RADARSAT-2 (С-диапазон, разрешение 3 м). Кроме того, планируется также оценить реальные точности карт изменений рельефа, полученных двух-, трёх- и четырёхпроходной дифференциальной интерферометрией.

3. Необходимо провести сравнительный анализ эффективности алгоритмов априорной и апостериорной фильтрации фазового шума и алгоритмов развёртывания интерферометрической фазы при обработке данных, особенно сцен сверхвысокого разрешения с эффектами укорочения и наложения (англ. layover).

По состоянию на сегодняшний день:

- произведён анализ литературы по данной тематике, выявлены нерешённые задачи, произведена экспериментальная проверка возможности построения цифровых моделей рельефа по данным ИРСА;
- проведена классификация систем и режимов интерферометрической съёмки;
- произведена классификация источников ошибок, возникающих при интерферометрической съёмке, среди них выявлены наиболее существенные и наименее изученные;
- разработана математическая модель обычной интерферометрической РЛС с синтезированной апертурой;
- разработана технология построения цифровых трёхмерных моделей местности на основе стереоскопической съёмки, в т.ч. радиолокационной;
- проведены тестовые построения цифровых моделей рельефа по данным РСА-интерферометрии (КА TERRASAR-X и ENVISAT). Приблизительная технологическая схема получения модели рельефа представлена на рис. 2;

- проведён сравнительный анализ программного обеспечения, позволяющего производить обработку данных РСА-интерферометрии.

В настоящее время проводится расчёт влияния погрешностей, возникающих при синтезировании апертуры радиолокатора, на точность получаемой цифровой модели рельефа.

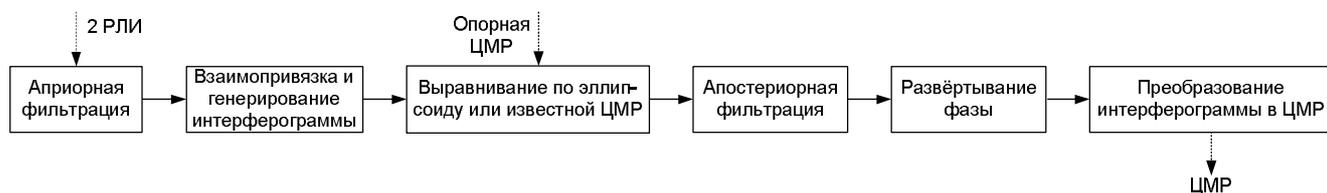


Рис. 2. Примерная технология интерферометрической обработки радиолокационных данных

Серета В.В., студент  
Цветков Д.С., аспирант  
ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»  
г. Екатеринбург

## СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДОВ $GdBaCo_{2-x}Fe_xO_{5.5-\Delta}$

Класс перовскитоподобных оксидов включает в себя множество соединений, проявляющих такие свойства, как, например, высокая электронная и ионная проводимости, что позволяет применять перовскиты для изготовления различных электрохимических устройств и открывает перспективы для исследования их практически важных свойств. В частности, в последнее время повысился интерес к исследованию двойных перовскитов  $AA'B_{2-x}B'_xO_{5.5\pm\delta}$  (где А – катион небольшого размера (обычно РЗЭ), А' – катион большого размера (Ba), В и В' – Co, Fe, Mn) из-за высокой, по сравнению с другими перовскитами, кислород-ионной проводимости.

Объектом изучения в данной работе служат двойные перовскиты  $GdBaCo_{2-x}Fe_xO_{5.5-\delta}$ : они обладают повышенной кислород-ионной проводимостью и кислородной проницаемостью, что делает их перспективными материалами мембран для парциального окисления метана.

Возможность применения оксида в качестве основы для создания мембран зависит от его физико-химических свойств, которые определяются дефектной структурой. С целью создания подобных мембран на основе  $GdBaCo_{2-x}Fe_xO_{5.5-\delta}$  были проведены исследования его кислородной нестехиометрии, напрямую связанной с дефектной структурой оксида, КТР и кислородной проницаемостью.

Порошкообразные образцы  $GdBaCo_{2-x}Fe_xO_{5.5-\delta}$  ( $x=0-0.8$  с шагом 0.2) синтезированы керамическим методом, в качестве исходных материалов использовали  $Co_3O_4$  (ч.д.а.),  $Fe_2O_3$  (ч.д.а.),  $BaCO_3$  (ос.ч.) и  $Gd_2O_3$  (ГДО-Д). Синтез вели в интервале температур  $800-1200^\circ C$  с шагом  $100^\circ$  и промежуточными перетираниями. Однофазность образцов подтверждена методом РФА. Установлено, что область гомогенности твердых растворов простирается по меньшей мере до  $x=0.2$ . Для всех однофазных оксидов были определены КТР.

Для определения относительной кислородной нестехиометрии  $GdBaCo_2O_{5.5-\delta}$  выбран метод кулонометрического титрования, позволяющий добиться большей точности, чем альтернативные методы. Была изготовлена автоматизированная установка, состоящая из высокотемпературной печи, буфера, ячейки и регулятора (Zr318), в среде визуального программирования LabView 8.5 написана программа для управления установкой. Относительная нестехиометрия  $GdBaCo_2O_{5.5-\delta}$  измерена в интервале температур  $950-1100^\circ C$  и парциальных давлений кислорода  $-4 \leq \log(pO_2/atm) \leq 0$ . Абсолютная кислородная нестехиометрия была установлена методами термогравиметрии и окислительно-восстановительного титрования. Проведено моделирование

дефектной структуры, предложена модель, наиболее адекватно описывающая поведение нестехиометрии в заданных границах  $\log(p_{O_2})$  (рис. 1).

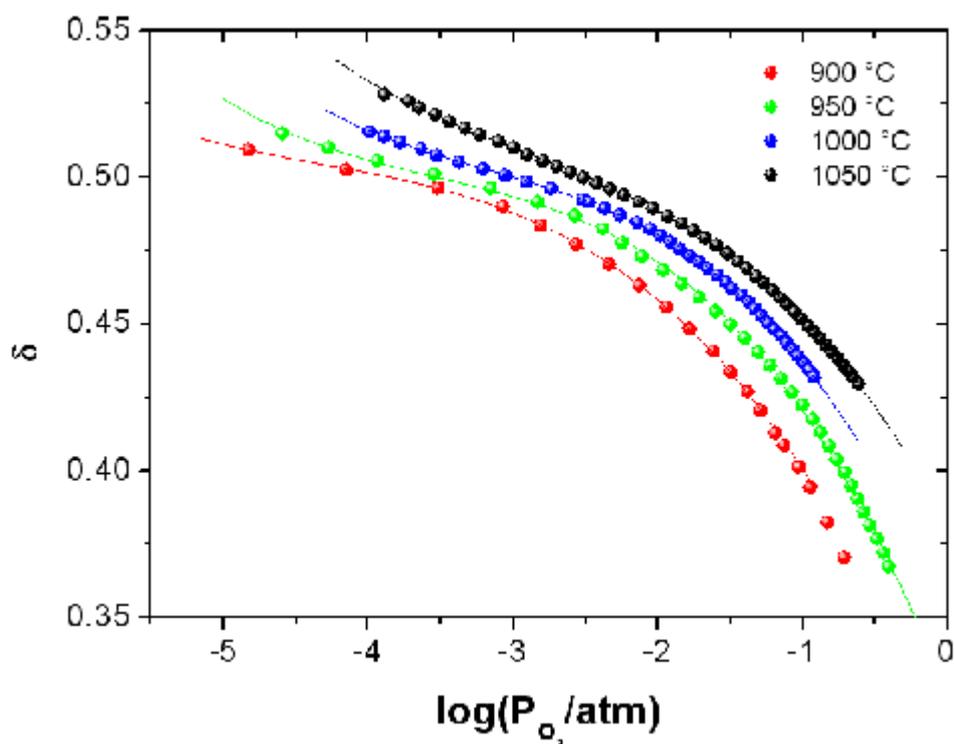


Рис. 1. Нестехиометрия  $GdBaCo_2O_{5.5-\delta}$

Для измерения кислородной проницаемости была собрана установка, состоящая из высокотемпературной печи, терморегулятора, твердооксидной мембраны и системы подачи инертного газа. Кислородная проницаемость оксида была измерена  $GdBaCo_2O_{5.5-\delta}$  в интервале температур 600-1000 °C.

## УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ ВЕРТИКАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ХОЛДИНГА. ЛОКАЛЬНАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА

В условиях современности нашим государством был взят новый курс – курс по переходу к инновационной экономике. Новые технологии как фундамент для следующей ступени развития немислимы без эффективной их коммерциализации. Именно здесь рождаются инновации, именно здесь важна защита прав на такие объекты.

Инновации - плод интеллектуального труда и права на его результаты должны быть защищены. Особенно это касается объектов промышленной собственности. До сих пор организации, не уделяющие должного внимания защите своей интеллектуальной собственности (ИС), теряют миллионы рублей. Избежать этого позволяет создание системы учета и управления ИС на предприятии.

Рассмотрим такую систему для крупной структуры на примере одной известной компании. Назовем ее компанией N. Итак, компания N одна из крупнейших в своем роде, является вертикально-интегрированной. Существует головная компания и сеть дочерних, которые занимаются как основными, так и непрофильными (вспомогательными) видами деятельности.

Что касается объектов интеллектуальной собственности (ОИС): в основном это собственные разработки, за исключением приобретения лицензий на программное обеспечение. Они появляются в процессе производственной деятельности и в большинстве случаев представляют собой рационализаторские предложения (РП). Существует, конечно, и патентный портфель компании.

Так как компания представляет собой структуру крупную и известную общественности, то имеет место и управление товарными знаками. Здесь подразумевается защита на уровне всего рынка и на уровне дочерних организаций, то есть контроль над правильным их использованием. Каким же образом будет построена система управления ОИС для данной компании?

В первую очередь обратим внимание на нормативные документы, регламентирующие их использование. Для патентов и товарных знаков таковым является Четвертая часть Гражданского Кодекса РФ. Что же касается РП, то здесь необходим особый подход. Дело в том, что до 1992 года в нашей стране существовало законодательство, которое регулировало рационализаторскую деятельность. Затем, в связи с упразднением соответствующих законов, контроль за РП был отдан на рассмотрение предприятия.

Следующее, что является необходимым для эффективного управления любыми объектами – наличие локального нормативного документа (положения, концепции или другое), которые собственно и были созданы.

С целью формирования единых принципов организации в компании N процессов создания, учета и рационального использования ОИС был создан документ, регулирующий патентно-лицензионную деятельность – «Положение об управлении интеллектуальной собственностью в компании N». Он включает в себя задачи управления ОИС, организационную структуру управления, контроль за созданием и использованием, обеспечение правовой охраны ОИС и многие другие важные моменты.

Относительно товарных знаков - «Положение об использовании товарных знаков компании N в России и за рубежом». Целью данного Положения является контроль за использованием товарных знаков компании N в дочерних организациях, реагирование на нарушения использования, получение доходов от предоставления прав на использование и т.д.

И, наконец, рационализаторские предложения. В свете ситуации, которая была описана выше, на основе «старого» законодательства было создано «Положение о рационализаторской деятельности в компании N». Оно позволяет сформировать единые принципы для полного использования творческого потенциала сотрудников и рассматривает понятие и виды РП, формы подачи заявок, рассмотрение РП, различные виды вознаграждений, организацию работ по управлению РП, а также такой немаловажный вопрос, как защита прав авторов.

Помимо основных локальных нормативных документов, существует и методическое сопровождение, описывающее процессы инвентаризации, оценки ОИС, организацию работ в области промышленной собственности, а также регламентирующее распределение прав на ОИС.

Необходимо также обратить внимание на такой важный для организации документ, как «Положение о коммерческой тайне», определяющее перечень информации, которая составляет коммерческую тайну, инструкции о порядке передачи таких сведений, а также инструкции по ведению конфиденциального делопроизводства.

Создание регламентирующих документов – лишь первая ступень на пути к эффективной системе управления интеллектуальной собственностью. Особенно это касается крупных структур, где необходимо выстроить систему отчетной документации, определить порядок распределения прав между головной организацией и дочерними и т.д. Например, в компании N права на наиболее значимые разработки уступаются управляющей компании, что дает возможности для распространения разработки на всей территории России и за рубежом.

Новаторская деятельность является важным фактором повышения эффективности производственно-хозяйственной деятельности. Только показатель экономического эффекта от использования изобретений и РП говорит сам за себя. В компании, которую мы рассматривали, он составляет порядка 2 млрд. рублей в год.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА ТРЕНЕРА-ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

В современных социально-экономических условиях остро ставится вопрос организации труда в учреждениях физической культуры и спорта, в частности организация труда тренеров-преподавателей. Система воспитания спортсменов предъявляет особые требования к профессиональной подготовке тренеров. Основу труда тренеров-преподавателей в учреждениях в настоящее время составляют возрастающая роль личности работника, знание его тренерской деятельности, умение ее формировать и направлять в соответствии с обязанностями, стоящими перед организацией. Поэтому определение компетенций и составляющих компонентов тренеров является важной частью в организации труда.

Под организацией труда работников учреждений физической культуры и спорта понимается систематизация производственного процесса в соответствии с целью развития.

Модель личности тренера - решающий фактор в определении принадлежности специалиста к той или иной категории, его функций и перспектив работы в клубе, школе или другом учреждений. Модель личности - это обобщенный образ, совокупность должностных и общественных обязанностей, профессиональных и деловых качеств, а также социально-психологических свойств. При ее создании следует учитывать:

- идейные, нравственные и волевые свойства специалиста;
- его профессиональные качества, уровень спортивного мастерства и педагогической зрелости;
- особенности его взаимоотношений с воспитанниками, коллегами, представителями администрации, организаторами соревнований, спортивными судьями и прочими лицами, вовлеченными в сферу его профессиональной деятельности.

Содержание работы характеризуется компетенциями тренера, раскрывающими перечень знаний и навыков, необходимых в процессе подготовки спортсменов. Это служит основанием при конструировании учебных дисциплин и разработке содержания учебных программ подготовки и переподготовки тренеров. Изучение работ позволило выявить и сформулировать профессиональные функции, наиболее значимые для «тренерской работы»: тренер осуществляет набор в спортивную школу, секцию, группу (начальной подготовки); разрабатывает годовые, полугодовые планы и планы учебно-тренировочных занятий; проводит учебно-тренировочную и воспитательную работу среди учащихся; использует передовые педагогические приемы, методы и средства обучения; проводит отбор и спортивную ориентацию (по виду спорта) наиболее перспективных учеников для дальнейшего обучения (группы спортивного

совершенствования; реализует совместную с тренерами групп начальной подготовки работу по подготовке спортивного резерва; проведет беседы по обеспечению повышения уровня физической, теоретической, морально-волевой, технической и спортивной подготовки занимающихся; участвует в разработке комплексной программы подготовки команды к соревнованиям и обеспечивает ее выполнение в пределах своей компетенции; разрабатывает и контролирует выполнение индивидуальных планов подготовки спортсменов; осуществляет контроль за выполнением индивидуального плана спортсмена в период их самостоятельной подготовки; ведет систематический учет, анализ, обобщение спортивных результатов учеников; проводит беседы с родителями и учениками; контролирует успеваемость в общеобразовательных учреждениях спортсменов; способствует выявлению конфликтов и способов их разрешения; ведет контроль за психическим, физическим здоровьем спортсмена; привлекает психолога, физиолога и других спортивных специалистов для работы со спортсменами на соревновательном периоде спортивной подготовки; оказывает первую медицинскую помощь при травмах; обеспечивает правильную организацию труда во время учебно-тренировочного занятия; обеспечивает сохранность здоровья спортсменов в процессе занятий; организует восстановительные процедуры спортсменов, регулярные медицинские осмотры спортсменов; консультируется со спортивными врачами на этапе ответственных соревнований; обеспечивает материально-техническими средствами учебно-тренировочный и соревновательный процесс; участвует в трудоустройстве ведущих спортсменов действующих и закончивших спортивную карьеру; планирует расходы на проведение учебно-тренировочных сборов; осуществляет контроль за целевым расходованием выделенных финансовых средств для реализации плановых мероприятий команды; планирует прохождение курсов повышения квалификации по подготовке судей начального уровня.

Зная эти основные функциональные обязанности спортивного тренера, ряд которых отмечается в трудовом законодательстве по данной должности, можно говорить о правильной, грамотной и эффективной организации труда в учреждении физической культуры и спорта, что позволит повысить эффективность по подготовке спортсменов высокой квалификации.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА: ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРОВЕРКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

В процессах расчета переноса тепла в различных тепловых агрегатах: в металлургических и стекловаренных печах, рекуператорах и др. большое значение имеет перенос тепла излучением, его доля в общем переносе тепла очень велика для высокотемпературных процессов и агрегатов. Задачи расчета переноса тепла излучением, как правило, решаются для комплексной трехмерной геометрии, с применением конечно-разностной сетки с числом узлов от  $3 \cdot 10^4$  и выше (рис. 1). При этом на пути лучей встречаются препятствия различной формы и конфигурации; при расчете необходимо проверять лучи на предмет пересечения с препятствиями. Это широко используется для вычисления обобщенных разрешающих угловых коэффициентов излучения. Более точное вычисление угловых коэффициентов позволит проектировать эффективные тепловые агрегаты, в которых используется радиационный теплообмен. Это способствует экономии топлива, что влечет существенный экономический эффект.

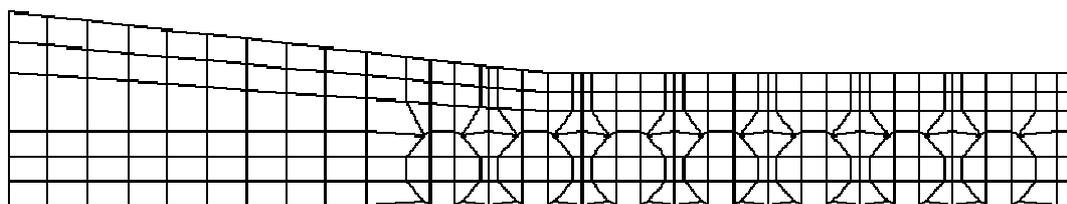


Рис. 1. Конечно-разностная сетка радиационной модели зоны Челябинской печи непрерывного действия. Вид сбоку

Объем необходимых вычислений требует высокого быстродействия программ, однако их алгоритмы еще недостаточно исследованы. При исследовании экранирования излучения решаются задачи двух типов: предварительное отсеивание препятствий, с которыми у луча не может быть пересечений, и собственно, проверка пересечения. Наиболее эффективным алгоритмом отсеивания препятствий считается BSP алгоритм (Binary Spatial Partitioning algorithm). Он основан на распределении препятствий в иерархичную структуру и определении наличия или отсутствия пересечения луча с целыми группами экранов.

*Последовательность действий по алгоритму BSP:*

1) Все препятствия заключаются в прямоугольный параллелепипед и проверяется, пересекается ли луч с параллелепипедом. Такая проверка происходит гораздо быстрее, чем в случае с препятствием более сложной формы или с препятствием простой формы, но не имеющим ортогональную ориентацию в пространстве.

2) Если есть пересечение с параллелепипедом, набор препятствий разбивается на 2 группы, и алгоритм применяется к каждой группе рекурсивно.

3) В конце каждое из не исключенных препятствий проходит проверку на наличие пересечения с лучом уже с учетом формы препятствий. Применение этого алгоритма можно продемонстрировать наглядно (рис. 2).

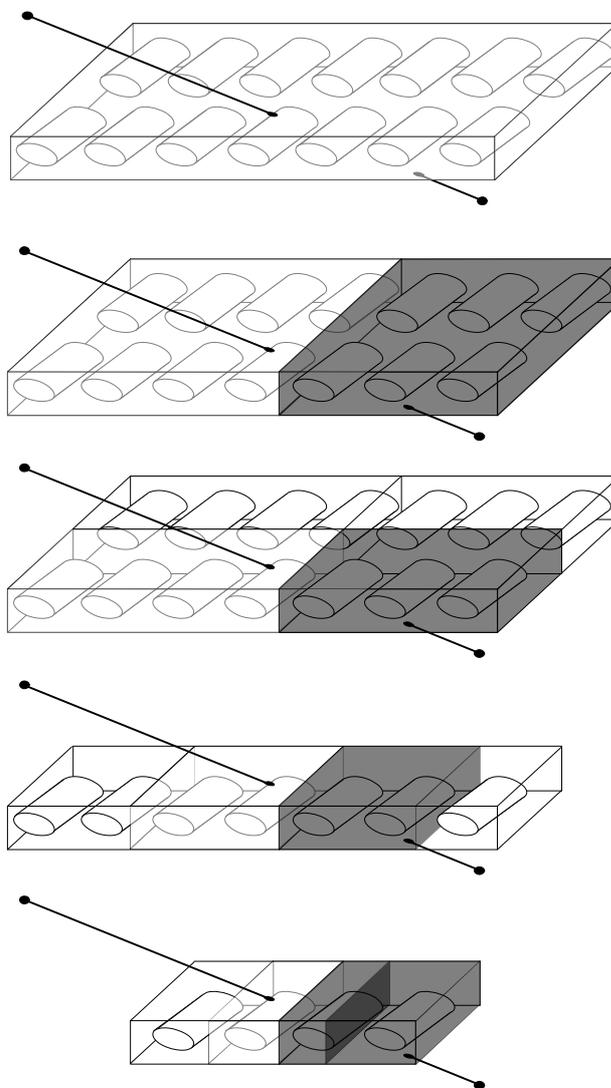


Рис. 2. Иллюстрация алгоритма BSP. Рекурсивное деление группы препятствий, пересекающейся с лучом, и исключение препятствий из рассмотрения

Эффективность алгоритма не зависит от формы препятствий; он может применяться, в том числе для невыпуклых препятствий. Однако до сих пор было мало исследовано, как быстродействие зависит от того, насколько упорядочены препятствия в группах; от их упорядоченности и четного количества препятствий в группе зависит, возможно ли и удобно ли разделить группу препятствий на две равные по количеству группы. Считается, что алгоритм наиболее эффективен при равном числе препятствий в группах на каждом шаге деления.

В данной работе исследовано влияние плоских препятствий правильной формы (прямоугольник) и не являющейся правильной (треугольник) на быстродействие алгоритма.

Проводились численные эксперименты на кубической геометрии с разными типами экранов и для экранов, находящихся в пространстве хаотично.

**Набор экранов 1.** Все препятствия – прямоугольники (плоские). Куб делится по трем направлениям: строится сетка. Все элементы поверхности берутся в качестве препятствий (рис. 3, а).

**Набор экранов 2.** Все препятствия – плоские. Часть прямоугольники, часть треугольники. Куб делится по трем направлениям: строится сетка. Все элементы поверхности берутся в качестве препятствий. Кроме того, составляются различные сочетания по три точки, часть из них выбирается статистически и также включается в совокупность экранов для исследования (рис. 3, б). В эксперименте была взята 1/8 всех сочетаний, чтобы уменьшить время проведения эксперимента, однако может быть взята и другая часть – на удельное быстродействие метода это не повлияет.



Рис. 3. Наборы экранов для исследования быстродействия алгоритма

Во втором наборе экранов препятствия в них частично накладываются друг на друга и не имеют какого-либо порядка, это призвано затруднить построение иерархии структуры групп препятствий и деления групп пополам в алгоритме BSP. Таким образом, можно проверить эффективность алгоритма в наиболее сложных случаях.

В ходе эксперимента варьировалось число препятствий в геометрии и число лучей, результаты представлены в таблице.

Результаты оценки быстродействия алгоритма отсеивания препятствий

	Препятствий	Лучей	Время, с	Препятствий в секунду
<b>Набор экранов 1</b>	<b>96</b>	729	0,02	4800
		15625	0,07	1371
		262144	1,05	91
	<b>486</b>	729	0,01	48600
		15625	0,12	4050
		262144	2,12	229
	<b>2646</b>	729	0,03	88200
		15625	0,43	6153
		262144	7,14	371
	<b>10584</b>	729	0,08	132300
		15625	1,55	6828
		262144	25,72	412
<b>Набор экранов 2</b>	<b>16</b>	729	0,01	1600
		15625	0,04	400
		262144	0,53	30
	<b>388</b>	729	0,11	3527
		15625	1,05	370
		262144	18,79	21
	<b>3708</b>	729	0,67	5534
		15625	12,72	292
		262144	218,49	17

Все вычисления проводились с использованием процессора с тактовой частотой 1,4 ГГц.

Для первого набора при одинаковом количестве лучей с ростом числа препятствий в модели удельное количество препятствий, проверенных на пересечение с лучом, также растет. Для второго набора экранов тенденция сохраняется только для невысокого числа лучей; однако при числе, большем  $10^4$ , удельное количество проверенных препятствий медленно падает. Можно заключить, что для моделей с хаотично расположенными препятствиями время, затраченное на проверку пересечения с препятствиями, пропорционально их количеству, а для моделей с более простой геометрией быстродействие выше. Теоретически для BSP алгоритма ожидается

$$t \approx O(\log_2 N),$$

где  $t$  – время, необходимое для проверки всех препятствий;  $N$  – количество препятствий.

В ходе экспериментов с простой геометрией первого набора экранов алгоритм показал быстродействие, близкое к теоретическому.

Итак, исследовано быстродействие алгоритма BSP отсеивания препятствий, в совокупности с проверкой пересечения. Численные

эксперименты подтвердили его эффективность для любых типов плоских экранов и их расположения. Число экранов и лучей, использованное в опытах, соответствует порядку их числа в реальных задачах теплообмена. В наиболее простых случаях алгоритм показал быстрое действие, близкое к теоретическому, поэтому его следует использовать при расчете и имитационном моделировании радиационного теплообмена в промышленных печах.

Русских О.В., аспирант  
Цветков Д.С., аспирант  
Кормильцев И.И., студент  
Вылков А.И., доц., канд. хим. наук  
Остроушко А.А., проф., д-р хим. наук  
Колосов В.Ю., проф., канд. физ.– хим. наук  
ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»  
г. Екатеринбург

## НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ НАНЕСЕННЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ СЛОЖНООКСИДНЫХ СИСТЕМ

Одним из перспективных направлений развития нанотехнологий является создание наноструктурированных каталитических систем, обеспечивающих высокую каталитическую активность, а в ряде случаев – селективность катализаторов. Нами разрабатываются, в частности, нанесенные сложнооксидные катализаторы для защиты окружающей среды от выбросов токсичных веществ. В качестве носителя для катализаторов используются высокопористые проницаемые ячеистые материалы (ВПЯМ), например пеноникель. Для получения каталитических композиций могут быть применены промежуточные поддерживающие слои, в частности, гамма-оксид алюминия с введением допирующих добавок, стабилизирующих его структуру. В качестве каталитических покрытий выступают сложные оксиды со структурой перовскита на основе замещенного манганита лантана и другие материалы.

Ряд факторов способствует повышению каталитической активности изучаемых систем в реакциях глубокого окисления вредных соединений (монооксид углерода, алифатические и ароматические углеводороды, включая канцерогены и др.) с одновременным снижением содержания оксидов азота за счет его восстановления СО или органическими соединениями. Локальное взаимодействие на границе перовскитного каталитического покрытия с подстилающей поверхностью оксидированного никелевого носителя или оксида алюминия приводит к образованию нано- или микроразмерных слоев продуктов взаимодействия. В первом случае возникают твердые растворы на основе перовскита с допированием его ионами никеля. Во втором случае – тонкий слой алюмомарганцевой шпинели. Указанные продукты обладают сильным промотирующим воздействием на катализатор.

Процесс синтеза катализатора реализуется непосредственно на поверхности носителя. Наночастицы сложного оксида, образующие каталитическое покрытие, имеют размеры от 10-20 нм и составляют ансамбли, которым присуща специфическая пористая структура с транспортными каналами и наноразмерными порами. Такая бимодальная структура обеспечивает высокую каталитическую активность. Удельная поверхность сложного оксида, синтезированного методом пиролиза

полимерно-солевых композиций, достигает 16 и более м<sup>2</sup>/г. При повышении температуры отжига уже на электронных микрофотографиях хорошо различимы устойчивые арочные и мостиковые ансамбли частиц (рис. 1). Кроме того, нано- и микрокристаллиты перовскита, в частности манганита лантана-стронция  $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_{3\pm y}$ , находящиеся на выпуклой поверхности, ориентированы осью быстрого роста по нормали к ней. Кристаллиты, находящиеся в порах ВПЯМ, наоборот располагаются в направлении подстилающей поверхности и представляют чаще всего длинномерные висеры. Это связано с условиями формирования оксидной фазы в ходе пиролиза прекурсоров, возникновения и роста кристаллических зародышей. Нельзя исключить, что данный фактор также способствует повышению каталитической активности за счет того, что различные кристаллографические плоскости обеспечивают максимальную скорость тех или иных окислительно-восстановительных реакций. Этот эффект может быть связан, например, с различной сорбционной способностью кристаллических граней.

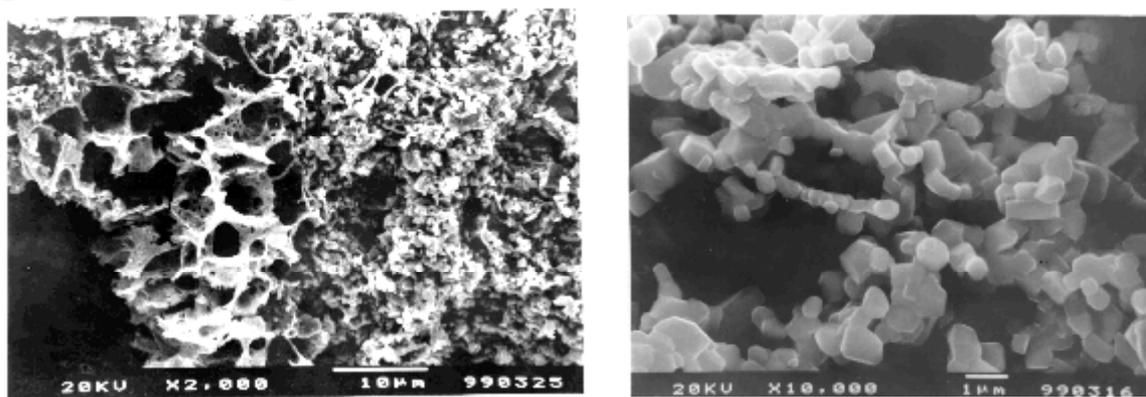


Рис. 1. Структура катализатора

Для оптимизации свойств катализаторов большой интерес представляет изучение катализаторов при помощи электронной и трансмиссионной микроскопии. В настоящей работе так же проведено изучение образца нанесенного методом пиролиза полимерно-солевых композиций катализатора общего состава  $\text{La}_{0,75}\text{Ag}_{0,25}\text{MnO}_{3\pm y}$ . Морфологию образца изучали в двухпучковом электронно-ионном микроскопе JIB 4500, а образец для просвечивающей (трансмиссионной) электронной микроскопии (JEM 2100) готовился ионным травлением на установке JIB 4600F. Катализатор с содержанием перовскитной фазы 5 мас. % покрывает практически всю поверхность носителя с поддерживающим слоем. Наноразмерные частицы (рис. 2, а) образуют ансамбли бимодальной пористости с транспортными каналами и наноразмерными порами. Обнаружено, что перовскитный слой имеет помимо иерархической системы микронных, субмикронных и наноразмерных частиц аналогичную структуру трещин-каналов и пор (рис. 2, б). Это обеспечивает доступ по имеющимся транспортным каналам на всю глубину каталитического слоя и высокую эффективность катализатора. Характерные размеры каналов: длина 1-10 мкм,

ширина 100 нм - 1 мкм. Взаимодействие катализаторов на основе манганита лантана, как описано выше, с подстилающими слоями оксида алюминия приводит к образованию промотирующей фазы алюмомарганцевой шпинели, а непосредственно с никелем – твердых растворов на основе перовскита. Промежуточные слои также различимы на полученных изображениях (рис. 2, а).

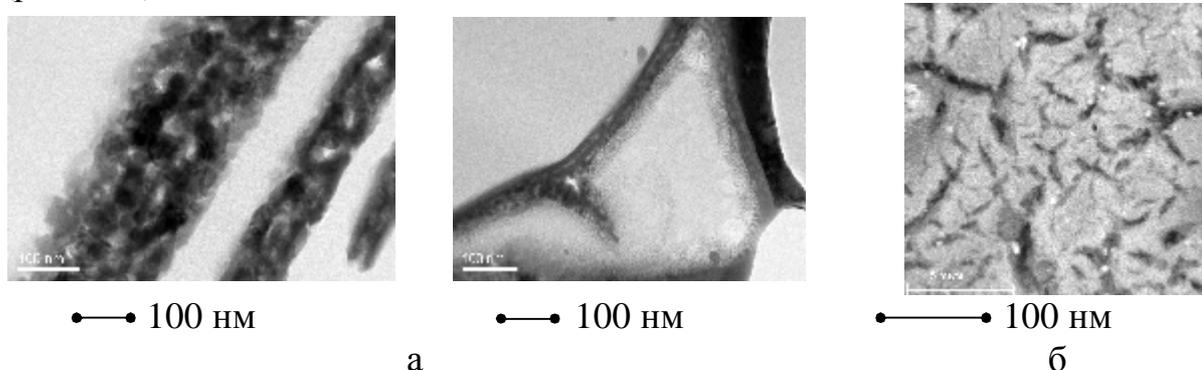


Рис. 2. Изображение катализатора, полученное трансмиссионной микроскопией (а), вид каталитического слоя (сканирующая электронная микроскопия) (б)

При получении сложнооксидных покрытий из высокодисперсных частиц одним из важнейших показателей является способность частиц различной морфологии и дефектности к спеканию. На этот показатель влияют условия получения сложных оксидов, определяющие скорость возникновения зародышей сложнооксидных фаз из аморфизированных перкурсов и скорость роста кристаллитов. При реализации пиролитической технологии, варьируя несколько факторов, можно управлять соотношением скоростей вышеназванных процессов. В ходе пиролиза могут быть изменены скорости горения прекурсоров и удаления газообразных продуктов пиролиза, температура, развивающаяся в экзотермических реакциях взаимодействия нитратных солей и органических компонентов. При формировании газоплотных покрытий, например для изготовления твердого электролита топливных элементов, необходимо получение оксидных материалов, обладающих максимальной способностью к спеканию. Для формирования собственно нанесенных катализаторов высокой эффективности, в том числе электродов топливных элементов, обладающих каталитическими свойствами, решается противоположная задача обеспечения максимальной устойчивости полученных ансамблей частиц к спеканию без потери удельной поверхности и полученной структуры с бимодальной пористостью. В качестве инструмента изучения спекаемости сложнооксидных материалов мы использовали дилатометрический анализ компактизированных образцов, полученных методом пиролиза (дилатометр DIL 402C, Netzsch). На физико-химические характеристики полученных частиц, ответственных за спекаемость, оказывает влияние выбор органического компонента, соотношение органических и солевых компонентов. В качестве органического компонента могут быть выбраны не только водорастворимые неионогенные полимеры, но и такие вещества, как

глицин. В последнем случае скорость пиролиза и развивающаяся температура могут быть выше.

Анализ полученных дилатометрических кривых спекания (рис. 3) показывает, что среди изученных образцов достаточно интенсивной усадке при относительно невысоких температурах подвергался образец (кривая 5), полученный из пленочной композиции

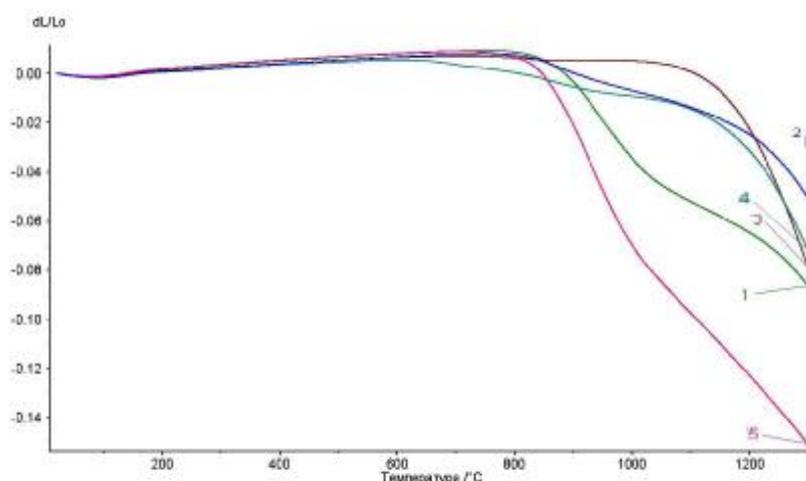


Рис. 3. Дилатометрические кривые

поливинилового спирта с нитратами La, Sr, Mn

(полимерный и солевые компоненты взяты в стехиометрическом окислительно-восстановительном соотношении по отношению друг к другу). Использование для синтеза глицин-нитратной системы (2) дает образцы, температура интенсивного спекания которых выше. Изменение характера спекания наблюдается и при четырехкратном увеличении количества полимера в композиции (4), приводящем к снижению скорости пиролиза и парциального давления кислорода в реакционной среде. При этом начало спекания наблюдали при максимально низкой температуре, а процесс основной усадки, судя по наклону кривой, несколько интенсифицируется. Кривые спекания имеют ступенчатый характер (особенно ярко заметный на 1, 5), что объясняется первичным спеканием контактирующих наночастиц катализатора в бимодальных структурах и дальнейшим взаимодействием между собой образованных ими более крупных агрегатов. Образец (1), аналогичный пятому, подвергался ступенчатому предварительному отжигу: помимо выдержки при 650°C его отжигали и при 800°C. Видно, что первичный отжиг позволяет сформироваться устойчивым ансамблям частиц. Более высокая температура первичной термообработки прекурсоров 850°C (3) приводила к закономерному сдвигу дилатометрической кривой в область более высокой температуры и более интенсивной усадке. Сложное поведение систем при спекании определяется их бимодальностью. В целом при относительно низкой интенсивности процесса пиролитического синтеза формируются, по-видимому, наиболее высокоактивные частицы катализатора, для которых характерна способность к формированию устойчивых ансамблей как между частицами, так и с подстилающими слоями. Их активность к спеканию реализуется при более низких температурах. При повышении скорости и температуры пиролиза получают частицы, обеспечивающие получение более плотных слоев, хотя спекаемость может проявляться при более высокой температуре.

Работа выполнена при поддержке по АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» (проект 5166) и Правительства Свердловской области.

Порывкин Е.А., ст. преподаватель, аспирант  
Берг Д.Б., проф., д-р физ.- мат. наук  
Ульянова Е.А., аспирант

## РАСЧЕТНО-ПЛАТЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СРЕДСТВ РАСЧЕТА

Развитие мирового финансового кризиса делает актуальным вопрос о причинах появления негативных социально-экономических последствий финансовой глобализации для экономических систем, не вовлеченных в международную торговлю. Казалось бы, глобализация не должна влиять на производство товаров и услуг и их потребление, замкнутых в пределах одной и той же локальной экономической системы – т.е. на сугубо внутренний рынок ЛЭС. Однако действительность наглядно демонстрирует обратное. Причина кроется в том, что обмен между экономическими субъектами на внутреннем рынке осуществляется с использованием национальной валюты, которая непосредственно интегрирована в мировую финансовую систему. Единственной возможностью разорвать такую связь является создание финансового института ЛЭС – системы альтернативных средств расчетов, добровольно принимаемых экономическими субъектами внутреннего рынка. При этом национальная валюта никак не теряет своей роли законного платежного средства, продолжая обеспечивать цепи обмена, выходящие за пределы ЛЭС. В годы Великой депрессии различные системы АСР позволили выжить многим муниципальным образованиям и общинам в США, Австрии, Германии, Швейцарии и других странах. Количество действующих систем АСР в мире выросло с нескольких десятков в начале 80-х годов XX в. до 2500 к 2000 году и 4000 к 2007 г. Практическое использование АСР требует создания собственной расчетно-платежной системы.

Целью работы является разработка расчетно-платежной системы альтернативных средств расчетов (АСР) для локальной экономической системы (ЛЭС). Использование АСР в замкнутых цепях обмена ЛЭС как средств обращения на местном уровне, дополняющих национальную валюту, стимулирует развитие ее внутреннего рынка и обеспечивает условия для решения ряда социально-экономических проблем ЛЭС.

Среди решаемых социально-экономических проблем: стимулирование малого и среднего предпринимательства; снижение уровня безработицы; повышение уровня жизни социально-незащищенных слоев населения и др.

Локальность системы может быть как территориальной (например, муниципальное образование), так и функциональной (сотрудники и студенты ВУЗа, учащиеся школы и др.).

Рассматриваются два типа цепей обмена в ЛЭС – замкнутые на ее территории (внутренний рынок) и разомкнутые, обеспечивающие обмен с внешней экономической средой. Альтернативные средства расчетов используются в замкнутых цепях обмена.

**Существующие аналоги.** В России известны две основные системы – аналоги: ООО «Росбартер» (г. Москва) и АРТЦ Г. Стерлигова (г. Москва). Они предоставляют услуги для предприятий и организаций по бартерным расчетам. Система «Росбартер» ориентирована на сделки приблизительной стоимостью не менее 1 млн. руб., АРТЦ – от 25 млн. руб.

Возможности обмена на базе АСР предоставляет «Банк времени» (г. Нижний Новгород). Его клиенты – только частные лица, которые обмениваются только услугами.

В отличие от существующих аналогов предлагаемая система АСР позволяет производить прямой обмен продукта на АСР и обратно (без бартерных цепочек), является «белым» финансовым инструментом и способна обеспечивать расчеты сделок любой стоимости как для предприятий, так и физических лиц. Широкий функциональный диапазон АСР (как средств расчета) позволяет сконструировать систему для решения различных социально-экономических задач и реализовать на различной технологической базе (RFID – технология, технология на основе карт с магнитной полосой, импринтеры, «бумажная» технология).

Система АСР и ведение соответствующего расчетно-платежного обслуживания является тиражируемой, что обеспечит возможность ее реализации в любой ЛЭС.

**Научная основа проекта.** Разрабатываемая платежная система АСР является результатом научных исследований в сфере денежного обращения и топологии товарных потоков в экономических системах и базируется на следующих основных результатах, обладающих самостоятельной научной новизной:

1. По результатам модельных расчетов и эмпирическим данным в экономических системах выявлены два типа цепей обмена (замкнутые и транзитные), денежное обращение в которых выполняет существенно различные функции.

2. Проведена классификация денежных систем по конструктивным признакам, на основании которой обосновано существование порядка 2000 их различных видов, объединяющихся в 15-20 функциональных групп.

3. Обоснована необходимость выделения и исследования в теории денежных отношений особого финансового института локальных экономических систем - альтернативных средств расчетов (АСР).

4. Разработаны концептуальные модели и основы функционирования систем АСР двух типов (со 100% товарным обеспечением и резервированием национальной валюты).

5. Сформулированы цели внедрения и рекомендации по применению АСР в решении социально-экономических проблем в локальных экономических системах, включая организационно-правовые аспекты.

**Экономическая основа систем АСР.** Цели производства продуктов и услуг в разомкнутых (выходящих за пределы ЛЭС) и замкнутых (строго внутренний рынок ЛЭС) цепях обмена отличаются принципиально. В первом случае основной целью является получение дохода за счет продажи товара

(классическая товарная экономика). Во втором – эквивалентный обмен своих продуктов на продукты других контрагентов для удовлетворения собственных потребностей (нетоварная экономика, экономика потребностей - согласно представлениям австрийской экономической школы). Поэтому в цепях обмена обоих типов деньги выполняют различные функции. Для замкнутых цепей они являются только средством, облегчающим обмен одних продуктов на другие. Участники такой цепи могут добровольно определить средство обмена (АСР).

У АСР с отрицательной процентной ставкой («плата за простой» - демередж) отсутствует функция накопления, что стимулирует их использование в экономическом обмене. 100% товарное обеспечение позволяет ввести в ЛЭС любой необходимый объем АСР. Расчеты в АСР не только препятствуют перетоку средств обмена в другие экономические системы (как это имеет место с национальной валютой), но и позволяют интегрировать в местную экономику субъектов других экономических систем (соглашающихся принимать АСР).

**Перспективы внедрения в народное хозяйство.** Для внедрения систем АСР в народное хозяйство необходимо: а) выявить актуальные социально-экономические проблемы ЛЭС, решаемые введением АСР; б) разработать конструкцию системы АСР (обеспечение, центр эмиссии, тип расчетно-платежной системы и др.); в) предложить организационно-правовые формы для использования АСР; г) создать техническое обеспечение расчетно-платежной системы.

Организационно-методическая работа по использованию АСР субъектами малого и среднего предпринимательства включена в «Программу развития субъектов малого и среднего предпринимательства Притобольного района на 2008-2011 годы» (решение Думы Притобольного района Курганской области № 392 от 24 декабря 2008 г.).

Разработка системы АСР для вуза ведется по соглашению с АНО «Большой Евразийский университетский комплекс» для разворачивания на территории будущего кампуса Уральского федерального университета.

**Оценка потенциального рынка.** Различные типы АСР могут использоваться различными группами потребителей, основными из которых являются:

- группы промышленных предприятий, объединенных кооперационными связями (промышленная кооперация, внутриобластная кооперация)
- совокупность субъектов малого и среднего предпринимательства на территории одного муниципального образования (участники замкнутых цепей обмена), крупные потребительские и сельскохозяйственные кооперативы
- крупные учебные заведения.

Различные типы АСР требуют использования различных расчетно-платежных систем.

Предполагается разработка соответствующих расчетно-платежных систем и обеспечение расчетного обслуживания участников системы.

#### Для муниципальных образований

В каждом из них может быть создана своя система АСР. Оценка оборота замкнутых цепей обмена для Притобольного района Курганской области показала, что только по местным продуктам питания (всего для 10000 чел.) он составит 50-90 млн. руб. в год.

#### Для вузов

В каждом из них может быть создана своя система АСР. Потенциальный объем оборота (при условии насыщения вуза услугами и продуктами) для вуза уровня УГТУ-УПИ составляет 800 – 900 млн. руб. в год.

Стоимость расчетно-платежного обслуживания в системе АСР составит 3-5%, из которых 1-3% составляет себестоимость обслуживания.

Стартовая цена расчетно-платежной системы определяется назначением системы АСР и соответствующего оборудования и программного обеспечения, может варьироваться от 100 тыс. (на базе слипов) до 7 млн. рублей (собственный процессинговый центр).

**Практическое значение исследования.** Внедрение системы АСР в локальные экономические системы позволяет решать ряд социально-экономических проблем, в том числе:

- Решение проблем безработицы (использование АСР создает новые рабочие места, стимулирует экономическую активность населения).
- Стимулирует внутренний спрос (АСР содействует контролю над локальным сектором экономики, поддерживая местные мелкие предприятия, способные учитывать интересы местных жителей).
- Решение социальных проблем;
- Поддержка малого предпринимательства путем кредитования в АСР.

Внедрение системы АСР в вузе позволяет организовать взаимодействие вуза и арендаторов, участвующих в обеспечении внеучебного процесса (питание, досуг, спорт, бытовые услуги) на прозрачных, взаимовыгодных условиях, способствующих развитию внутренней конкуренции и повышению качества предоставляемых услуг. Переход от арендной платы к «налогу с оборота» (аналог «горной ренты») объединит социальные и финансовые интересы вуза и арендаторов (все участники будут стремиться предоставить студентам максимальное количество услуг), что позволит удовлетворить спрос и повысить качество пребывания студентов и сотрудников на территории вуза (и студгородка), а также обеспечить ВУЗу заметную финансовую прибавку

**Текущее состояние проекта.** В настоящее время по данному проекту выполнены следующие виды работ:

1. Проанализирован опыт использования систем АСР в мире и России.
2. Определены научные основы конструирования систем АСР.

3. Рассмотрены правовые аспекты создания и функционирования систем АСР в рамках действующего законодательства.

4. Проведено исследование по выявлению внутренних потоков в реально действующей локальной экономической системе.

5. Проведена презентация концепции проекта на Совете по развитию малого и среднего бизнеса при Главе Притобольного района Курганской области

6. Дальнейшая работа по проекту включена в Программу развития малого и среднего бизнеса в Притобольном районе Курганской области на 2009 г. Идет разработка проекта системы АСР для Притобольного района Курганской области, основанного на безналичных расчетах с использованием слипов.

Работа по проекту выполняется в сотрудничестве с МГУ и Международным институтом Александра Богданова.

Овсянникова С.И., аспирантка  
Жариков Е.П., проф., д-р экон. наук  
Дальневосточный государственный университет  
г. Владивосток

## ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ НА БАЗЕ ПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

В большинстве стран с ежегодным грузооборотом около 200-600 млн т основная часть грузовых потоков формируется или проходит через морские порты. В этом плане они стимулируют развитие транспортной инфраструктуры, смежных секторов экономики и сопутствующей институциональной надстройки, выполняя тем самым роль «полюса» роста (развития) экономики в целом.

В мировой транспортной системе порты являются системообразующей основой транспортных узлов (мест стыков нескольких маршрутов), где осуществляется перевалка груза с одного вида транспорта на другой, происходит накопление и распределение по разным направлениям. Формирование таких узлов имеет большую значимость в развитии международных транспортных коридоров и всей транспортной системы. Так, в странах АТР порты Китая, Кореи, Малайзии играют важную роль в экономиках названных стран, представляя собой крупнейшие перевалочные базы для оперативной обработки постоянно растущих товарных потоков.

Однако в этой связи следует отметить, что не каждый даже достаточно крупный по современным меркам порт впоследствии становится транспортным узлом. Представляется, что формированию портового транспортного узла способствует ряд факторов:

- удобное географическое положение. Выражается в расположении порта либо на пересечении магистралей в регионе, либо на пунктах мировых транспортных маршрутов. Так Сингапур, мировой лидер по перевалке контейнеров (более 17 млн ДФЭ в год), расположен практически «в центре» АТР;

- ориентированность на внутренний и внешний рынки. Двойное назначение порта дает дополнительный стимул для его развития. Яркий пример - порт Шанхай, который находится на стыке северной и южной части страны и являющийся «воротами» Китая в международную торговлю;

- расширенный комплекс услуг и эффективное использование инфраструктуры. Диверсификация предоставляемых портом услуг не только повышает его экономическую устойчивость, но и является своеобразным имиджем (в отличие от портов со строгой функциональной направленностью), что привлекает участников каналов грузодвижения. В азиатском регионе все крупные порты в рамках взаимодополняющего сервиса имеют сухие доки для ремонта судов, осуществляют судовое снабжение, имеют возможность для работы с крупными негабаритными и тяжеловесными грузами;

- качественно построенный административно-экономический порядок работы. Выражается в обеспечении условий, способствующих облегчению основного процесса перевалки грузов и привлечению дополнительных потоков в портовый узел. Так, присвоение портам статуса особой экономической зоны позволяет выступать им в роли активных участников в мировой торговле, благодаря различным налоговым и иным льготам. Круглосуточная работа таможи и карантинной службы, прохождение таможенных процедур по принципу "единого окна" в портах Китая сократили время оформления с нескольких суток/часов до нескольких минут.

Таким образом, крупнейшие порты Азии в той или иной мере отвечают сформулированным принципам, тем самым обеспечивая бесперебойную перевалку грузов с/на различные виды транспорта. Но наличие практически равных участников в однородном секторе услуг создает конкуренцию и одновременно стимулирует к дальнейшему развитию, опыт которого уже достаточно накоплен Европейскими портовыми транспортными узлами.

В отличие от Азиатского региона, где практически каждое государство может выступать как обособленная единица с самостоятельным транспортным комплексом, в Европе все страны являются взаимосвязанными участниками большого распределительного грузопотока.

Основную часть груза, идущего в Европейский Союз, принимают на себя порты Амстердама, Антверпена, Гамбурга, стоящие «у ворот» в европейскую систему. Груз на входе с моря через порты на выходе распределяется на авиа и автомаршруты. Товар из одного контейнера может отправляться как на траках по Европе, так и частично авиамаршрутами. Подобная особенность и предопределила необходимость развития больших складов, где аккумулируются мелкие грузы. Здесь формируется и развивается относительно новое в глобальном контексте направление – управление товародвижением – логистика.

В результате портовые транспортные узлы со временем становятся портовыми логистическими центрами.

Логистический центр - это более высокий уровень развития транспортного узла как такового. Основным и принципиальным отличием одного от другого можно назвать способность в глобальном масштабе оперировать маленькими количествами грузов, когда технические возможности позволяют без потерь груза производить как формирование больших партий, так и обратное распределение тысяч тонн с судов до килограммов для отгрузки на авто.

В итоге в европейской транспортной системе основополагающим в работе выступает уже не конкуренция, а взаимодействие, основанное на принципах взаимодополнения и интеграции.

Как показывает практика, сначала власти подобного центра работают на привлечение грузов, создают надлежащую инфраструктуру, условия для оперативной, качественной и выгодной обработки грузов. Если в последующем центры справляются с привлекаемыми объемами, то грузы на тот или иной перевалочный пункт идут уже «автоматически» - чтобы

сменить сформированную у грузовладельцев привычку, необходимы очень веские обстоятельства.

Для России и Приморского края в частности своевременное создание подобных логистических центров, как более высокой степени при формировании эффективных портовых транспортных узлов, чрезвычайно важно. Этому благоприятствует и то, что в АТР такой процесс только начинается, и, следовательно, у России здесь равные возможности с другими странами региона. В то же время активная позиция России в этом процессе будет работать на реанимацию Транссиба как международного транспортного коридора.

Приморский край, как экономически развитый регион, занимающий благоприятное геополитическое положение, безусловно, должен найти свою нишу в новых глобальных образованиях мировой транспортной системы.