

# ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного  
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (16) ноябрь 2006 г.

Издается с марта 2003 года

**Редакционная коллегия:**

**Главный редактор:**

*Б.А. Никифоров* – проф., д-р техн. наук.

**Заместители:**

*Г.С. Гун* – проф., д-р техн. наук;

*М.В. Чукин* – проф., д-р техн. наук (ответственный редактор).

**Члены редколлегии:**

*В.А. Бигеев* – проф., д-р техн. наук;

*М.В. Бушманова* – проф., канд. физ.-мат. наук;

*К.Н. Еремин* – проф., д-р техн. наук;

*С.Е. Гавришев* – проф., д-р техн. наук;

*А.С. Карандаев* – проф., д-р техн. наук;

*В.М. Колокольцев* – проф., д-р техн. наук;

*О.В. Лешер* – проф., д-р пед. наук;

*И.Ю. Мезин* – проф., д-р техн. наук;

*С.И. Платов* – проф., д-р техн. наук;

*В.М. Салганик* – проф., д-р техн. наук;

*А.С. Сарваров* – проф., д-р техн. наук.

© Журнал «Вестник МГТУ им. Г.И.Носова», 2006

Подписку можно оформить по общему каталогу изданий органов научно-технической информации «Почта России», подписной индекс журнала 73849 – для предприятий, 73856 – для индивидуальных подписчиков, либо приобрести непосредственно в редакции.

**Адрес редакции:**

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-85-17

Факс (3519) 23-57-60

E-mail: [mgtu@mgtu.ru](mailto:mgtu@mgtu.ru); [nis@mgtu.ru](mailto:nis@mgtu.ru)

Журнал подготовлен к печати Издательским центром МГТУ им. Г.И.Носова.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 10.11.2006.

Заказ 771. Тираж 500 экз.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....</b>	<b>5</b>
<i>Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Илимбетов А.Ф.</i> Развитие комбинированной геотехнологии в аспекте комплексного освоения рудных месторождений .....	5
<i>Илимбетов А.Ф., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Милкин Д.А.</i> Новые решения проблемы комплексного освоения рудных месторождений .....	8
<i>Кожогоулов К.Ч., Джаманбаев М.Д., Омуралиев С.Б.</i> Зависимости глубины и скорости промачивания грунтов от времени при различном механическом составе образцов пород и интенсивности атмосферных осадков .....	13
<i>Абдрахимов У.Т., Жалгасбеков А.З., Кузьмин С.Л.</i> К проектированию шасси самоходного оборудования для горнорудной промышленности Казахстана .....	16
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ .....</b>	<b>19</b>
<i>Сарычев Б.А.</i> О восстановлении фосфора в процессе внепечной обработки при производстве низколегированной стали .....	19
<i>Бигеев В.А., Малофеев А.Е., Пантелеев А.В., Николаев О.А., Валиахметов А.Х.</i> Особенности работы ДСП на длинных дугах .....	20
<b>ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....</b>	<b>24</b>
<i>Илларионов И.Е., Брялин М.Ф.</i> Теоретические и технологические основы разработки стержневых смесей на основе новых неорганических фосфатных связующих и порошкообразных отвердителей .....	24
<i>Бахметьев В.В., Колокольцев В.М.</i> Повышение эксплуатационных свойств отливок путем рафинирования и модифицирования расплавов сталей.....	34
<b>ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....</b>	<b>41</b>
<i>Никифоров Б.А., Салганик В.М., Денисов С.В., Стеканов П.А.</i> Освоение производства высокопрочного проката для автомобилестроения в ОАО «ММК» .....	41
<i>Экк А.Е., Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г.</i> Математическое моделирование процесса непрерывного прессования конформ.....	45
<i>Минаев А.А., Смирнов Е.Н., Лейрих И.В., Зуб В.В.</i> Исследование и математическое моделирование формоизменения пор в непрерывно-литом металле при пластической деформации .....	47
<i>Рашиников С.Ф., Щербо Ю.А., Ситников И.В., Сычев А.Ю., Чукин М.В.</i> Повышение качества сталемедной продукции и совершенствование технологии твердофазного соединения компонентов биметалла .....	52
<i>Довженко Н.Н., Довженко И.Н., Сидельников С.Б.</i> Энергосиловые параметры процесса совмещенной прокатки-прессования.....	54
<i>Бодяев Ю.А., Басов Б.А., Куницын Г.А., Файзулина Р.В., Молева О.Н., Соханчук Д.В.</i> Разработка технологии производства тонких холоднокатаных полос под полимерное покрытие .....	61
<i>Сычков А.Б.</i> Технологические аспекты производства качественной катанки.....	63
<i>Третьяков В.А., Варшавский Е.А., Мазур И.П., Ненахов В.А.</i> Автоматизация процесса составления монтажных партий на НШСГП 2000 ОАО «НЛМК».....	69

<i>Колесников А.Г., Вафин Р.К., Мальцев А.А.</i> Аппаратура для мониторинга остаточного ресурса прокатных станов .....	71
<i>Платов С.И., Железков О.С., Юрченко Г.Н., Терентьев Д.В., Пожидаев Ю.А., Мироненков Е.И.</i> Расчет тел качения подшипников на контактную усталостную прочность с использованием метода конечных элементов .....	73
<b>МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ .....</b>	<b>78</b>
<i>Счастливец В.М., Табатчикова Т.И., Яковлева И.Л., Егорова Л.Ю., Круглова А.А.</i> Влияние термомеханической обработки на структуру и механические свойства стали типа 10ХН2М .....	78
<i>Цвиркун О.А., Будовских Е.А., Петрунин В.А., Целлермаер В.Я., Громов В.Е.</i> Микротвердость поверхности зоны электровзрывного карбоборирования и науглероживания железа .....	83
<i>Урцев В.Н., Дегтярев В.Н., Мокшин Е.Д., Шмаков А.В., Урцев Н.В.</i> Особенности эвтектоидного превращения при охлаждении стальных образцов в расплаве селитры .....	84
<i>Кушнарев А.В., Сухов А.В., Петренко Ю.П., Филиппов Г.А.</i> О вязкости разрушения колесной стали .....	87
<b>ТЕОРИЯ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....</b>	<b>93</b>
<i>Рудской А.И., Рыбин Ю.И., Цеменко В.Н.</i> Условие пластичности порошковых материалов.....	93
<i>Анциферова И.В., Глухарева О.Н.</i> Технологические характеристики порошка алюминиевого сплава АК12, полученного центробежно-пневматическим распылением металла в инертной атмосфере .....	98
<b>НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>101</b>
<i>Воробьев А.Е., Гладуш А.Д., Чекушина Т.В.</i> Техногенное нефтеобразование в литосферных реакторах как фактор преодоления кризиса минерального сырья .....	101
<i>Закиров Д.М., Зоннтаг Б., Добровольский П.-Р., Алин К., Гоуфек И.</i> Пассивирование цинковых покрытий в растворах на основе Cr(III) во вращающихся установках .....	108
<i>Райт В.В., Чаплыгин А.Б., Дятлов В.Н., Медведев А.Е.</i> Прочность абразивного инструмента на бакелитовой связке .....	111
<b>СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ .....</b>	<b>113</b>
<i>Рубин Г.Ш.</i> Системный подход к решению задач обработки металлов давлением.....	113
<i>Ребезов М.Б., Лукьянов С.И.</i> Обеспечение качества испытаний.....	115
<b>ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ .....</b>	<b>118</b>
<i>Рашиников В.Ф.</i> Техническое перевооружение, модернизация и инвестиционные приоритеты ОАО «ММК» в среднесрочной перспективе.....	118
<i>Носов А.Д.</i> Развитие сквозной технологии производства метизов из металла ОАО «ММК» ....	120
<i>Морозов А.А., Ускова Е.С.</i> Комплексная система управления рисками как неотъемлемый элемент современного металлургического предприятия.....	123
<i>Сеничев Г.С., Шмаков В.И., Виер И.В., Салганик В.М., Песин А.М., Жлудов В.В.</i> Разработка и программная реализация методики локального оптимизационного планирования ассортимента металлургической компании .....	127

<b>ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ, ОБУЧЕНИИ.....</b>	<b>130</b>
<i>Гун Г.С.</i> О проблемах и достижениях вузовской науки .....	130
<i>Бринза В.В., Хван В.В., Коровин А.В.</i> Повышение эффективности функционирования сложных социальных систем на основе использования информации о внутренних закономерностях развития их составляющих .....	136
<b>ФИЛОСОФСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ МИРОВОЗЗРЕНИЯ.....</b>	<b>145</b>
<i>Арзамасцев А.М.</i> Личность как ценность гражданского общества.....	145
<i>Юрский С.Ю.</i> Power! .....	149
<i>Урцев В.Н., Урцев Н.В.</i> Об антропном принципе и неожиданных соотношениях .....	154
<b>Сведения об авторах .....</b>	<b>158</b>

## РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.2

М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, А. Ф. Илимбетов

### РАЗВИТИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ В АСПЕКТЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ\*

Стратегия комплексного освоения рудных месторождений должна предусматривать, наряду с комплексным использованием добываемых полезных ископаемых, вовлечение в эксплуатацию различающихся по составу георесурсов и применение в процессе промышленной эксплуатации месторождения различных способов и технологий разработки в соответствии с конкретными горно-геологическими условиями отдельных рудных участков и залежей техногенного сырья. Это может быть совместное или последовательное применение открытой, подземной и физико-химической геотехнологий, использование процессов выщелачивания для извлечения цветных, редких и благородных металлов из руд и отходов их добычи и переработки.

Комплексное освоение рудных месторождений означает реализацию следующих направлений [1]:

- извлечение из недр и использование минерально-сырьевых и иных георесурсов;
- создание новых видов ресурсов на базе материальных богатств и специфических свойств недр;
- сохранение недр как комплексного многофункционального ресурса обеспечения жизнедеятельности на Земле.

Таким образом, комплексное освоение месторождений предполагает комплексное использование всех содержащихся в рудах полезных компонентов при применении рационального сочетания известных и перспективных физико-химических геотехнологий, преимущественно малоотходных, переработку и использование накопившихся отходов производства и сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств.

Под комплексной комбинированной геотехнологией применительно к добыче и переработке твердых полезных ископаемых понимается совокупность способов, методов, процессов и операций воздействия на горный массив или природную и техногенную минераль-

ную массу, основанных на сочетании технологических процессов и оборудования открытых, подземных горных работ и физико-химических методов добычи с целью извлечения и полезного эффективного использования полезных ископаемых для нужд народного хозяйства [2].

Развитие комбинированной геотехнологии возможно двумя путями:

- совершенствование применяемых технологических решений с обоснованием их рациональных параметров с целью повышения полноты и комплексности освоения месторождений и обеспечения экологической и промышленной безопасности горных работ;
- создание принципиально новых инновационных геотехнологий и технологических схем освоения недр, основанных на проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ с целью качественного изменения технических и экономических показателей горного производства, получения новых видов продукции.

Принципиально новой геотехнологией можно считать такую совокупность способов, методов, процессов и операций воздействия на горный массив или минеральную массу, которая до сего времени не была известна в горном производстве, либо известную совокупность, основанную на ранее не применяющихся в горном деле приемах воздействия на недра Земли и составляющие их компоненты.

К принципиально новым комбинированным геотехнологиям относятся:

- сочетание открытых и подземных горных работ и физико-химических способов добычи минерального сырья с получением товарной металлургической продукции в рамках горного предприятия;
- химическое выщелачивание руд и техногенных отходов горно-металлургического производства с последующим использованием кеков выщелачивания в закладке выработанного пространства подземных камер твердеющей смесью.

Новые горные технологии основаны на принципах:

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 3 06-05-64541 и НШ-6523.2006.5.

- увеличения избирательности воздействия на недра и направленного изменения свойств минерального вещества на макро- и микроуровне;
- максимального использования геомеханических, геохимических и других природных аномалий участков недр, минералов и их агрегатов, анизотропии свойств;
- увеличения степени комплексности использования ресурсов рудоносных провинций на базе ресурсовоспроизводства;
- повышения степени сопряженности технологических процессов;
- минимального изменения экологической функции недр как части природной среды.

Для реализации концепции комплексного освоения месторождений усовершенствованными и принципиально новыми технологиями горным предприятиям по добыче и переработке рудного сырья необходимы:

- более полная оценка и экономически оправданное извлечение из недр основных и попутных полезных ископаемых, в том числе различных по составу и качеству, с получением из минеральной массы на всех стадиях ее добычи и переработки ценных элементов и их соединений в виде товарных твердых и жидких концентратов;
- рациональное использование в промышленных и хозяйственных целях вскрышных вмещающих пород и отходов обогащения руд;
- решение экологических проблем путем применения малоотходных технологий, сокращения объемов накопленных и текущих твердых отходов, деминерализации сбрасываемых рудничных вод с извлечением содержащихся в них металлов в товарные концентраты и последующей очисткой для предотвращения миграции вредных компонентов в окружающую среду;
- использование в хозяйственных целях пустот, создаваемых в результате извлечения из недр полезных ископаемых.

Решение вышеперечисленных проблем в настоящее время осуществляется на горнодобывающих предприятиях компании «УГМК-Холдинг», осваивающих медно-колчеданные месторождения Урала, возможность и перспективность комплексного освоения которых определяются следующими факторами:

- геологическими – наличием природных и техногенных месторождений с содержанием полезных ископаемых и компонентов в количествах, достаточных для промышленного освоения;
- техническими, определяющим и возможность высокопроизводительного и наиболее полного извлечения полезных ископаемых и ком-

понентов при добыче и переработке горной массы и снижения вредного воздействия горных работ на окружающую среду в результате применения рационального сочетания различных геотехнологических и обогащительных процессов;

- экономическими, связанными с необходимостью превышения доходов, получаемых в результате реализации всей произведенной основной и дополнительной продукции, над затратами на реализацию технологий комплексного освоения месторождений и полезного использования всех вовлекаемых в технологическое производство ресурсов.

Важность и сложность решения перечисленных вопросов комплексного освоения медно-колчеданных месторождений заключается в том, что полнота использования минерального сырья не обеспечивается простым сложением отдельных производств, а является задачей создания иного хозяйственно-организационного принципа развития горнопромышленного комплекса. Этот принцип должен войти в практику проектирования горного предприятия, полностью и эффективно использующего природное и техногенное сырье, производственные фонды, финансовые и трудовые ресурсы.

При малых масштабах производства и благоприятных горно-геологических условиях недра сохраняют способность к самовосстановлению своей природоорганизующей функции. С увеличением масштабов горного производства эта способность недр может сократиться вплоть до уровня, за которым наступает деградация развитых биологических форм в результате осушения водоносных горизонтов, питающих влагой почву, при снятии растительного слоя; подработки земной поверхности с нарушениями ее сплошности и образованием провалов; природного выщелачивания металлов и других элементов с миграцией их в окружающую среду [3].

В связи с этим задачей горного производства является применение таких геотехнологий, которые не приводят к деградации территорий, атмосферы и гидросферы в регионе действия горного предприятия. Другим обязательным направлением освоения недр является применение технологий восстановления, рекультивации нарушенной территории, технологий, не допускающих сброса неочищенных и промышленных стоков, технологий очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу. Этому же служит сокращение выхода и накопления твердых отходов добычи и обогащения полезных ископаемых.

Реализация ресурсовоспроизводящих технологий способствует как получению дополнительной продукции и соответствующего экономического эффекта, так и улучшению экологиче-



ской обстановки в районе деятельности горного предприятия. Причем неперенным условием рационального комплексного освоения недр становится не только достижение максимального технико-экономического эффекта от промышленного освоения и использования природных месторождений, но и его увеличения за счет вовлечения в эффективную промышленную эксплуатацию техногенных месторождений, сформировавшихся в результате многолетней деятельности предприятий горно-металлургического комплекса.

Задача снижения объемов отходов горно-металлургических предприятий и вовлечения их в эффективное промышленное использование становится первоочередной для народного хозяйства страны. В том числе на горнодобывающих предприятиях Южного Урала накоплена мощная техногенная сырьевая база. Техногенные георесурсы здесь представлены: отвалами вскрышных пород и бедных руд, залежами некондиционных руд, частично вскрытых карьерами и выработками действующих подземных рудников; минерализованными рудничными водами; складированными в хранилищах различных типов отходов обогащения и металлургического производства.

С одной стороны, содержание ценных компонентов в указанных объектах и масштабы их накопления достаточно большие для перспективного вовлечения в промышленную эксплуатацию, что и определяет целесообразность отнесения этих объектов к техногенным месторождениям с постановкой на баланс горнодобывающих предприятий, осуществляющих разработку базовых природных месторождений медно-колчеданных руд.

С другой стороны, уровень негативного экологического воздействия этих образований на окружающую среду горнодобывающих регионов предопределяет необходимость изыскания эффективных технологий использования бедных руд и отходов добычи и переработки полезных ископаемых. Неоднородность вещественного состава, содержание широкого спектра ценных компонентов, которые на медно-колчеданных месторождениях, преимущественно, присутствуют в виде изоморфных включений в сульфидах, обуславливают предпочтительность физико-химических геотехнологий освоения залежей некондиционных руд в недрах и техногенных месторождений, сформированных на поверхности горного отвода.

Позитивными предпосылками к внедрению физико-химических геотехнологий на природных и техногенных месторождениях полиметаллического сырья являются:

– накопление значительных объемов техно-

генного сырья, уже прошедшего первичную подготовку, с достаточно высоким содержанием полезных компонентов – цветных, благородных металлов и редких элементов;

- благоприятная тенденция роста цен на эти металлы на мировом рынке сырья;
- выполненные в середине XX-го столетия исследования процессов выщелачивания меди и цинка на медных и медно-колчеданных месторождениях Урала, благородных металлов и редких элементов на месторождениях урановых руд;
- широкое промышленное внедрение в мировой практике процессов физико-химической геотехнологии при добыче меди и других цветных металлов, а также опыт эксплуатации отечественных месторождений урана и золота;
- возможность, благодаря достижениям фундаментальной химии, комплексного и селективного извлечения из полиэлементного природного и техногенного сырья полезных компонентов заданного качества;
- имеющийся научный задел в области создания и обоснования параметров физико-химической геотехнологии применительно к комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений;
- сложившийся дефицит минерально-сырьевой базы на действующих горнодобывающих предприятиях Урала, имеющих развитую производственную и социальную инфраструктуру.

Обоснование принципов и стратегии рационального освоения месторождений полиметаллических руд на перспективу, создание новых процессов и технологий комплексной и экологически безопасной их разработки базируется на повышении степени их геотехнологической изученности и решении геотехнологических, геомеханических и экологических проблем в интересах устойчивого обеспечения потребностей народного хозяйства в комплексном минеральном сырье.

С этих позиций необходимо определить основные положения комплексного освоения месторождений и стратегии сохранения недр Земли, которые в себя включают:

- целостную ресурсно-технологическую оценку осваиваемых месторождений во всем многообразии ресурсов недр;
- освоение недр по этапам с учетом горно-геологической и горнотехнической специфики и пространственного расположения георесурсов, а также приоритетности их извлечения;
- управление освоением ресурсов с контролем изменения их состояния, местоположения и качества;

- предотвращение потери ресурсов или снижения степени доступности их освоения в будущем;
- мониторинг состояния природных сред на всех этапах освоения месторождений;
- установление параметров функционирования горных предприятий на каждом из этапов освоения месторождений исходя из существования пространственной и временной связи между ними в отношении всех видов ресурсов недр.

Применительно к проблеме формирования стратегии освоения медно-колчеданных месторождений Южного Урала, расположенных на территории республики Башкортостан и Челябинской области, таких как Учалинское, Новоучалинское, Озерное, Узельгинское, Молодежное, Талганское, Сибайское, Бакр-Узяк, Александринское, Октябрьское, Юбилейное, Подольское, Северо-Подольское, первоочередными задачами являются:

- теоретическое обоснование геотехнологической стратегии комплексного освоения месторождений на основе изучения особенностей их техногенного преобразования, создание технологических схем и способов разработки природных и техногенных месторождений на базе комбинации процессов

открытых, подземных и физико-химических способов добычи руд;

- обоснование методики определения основных параметров техногенного преобразования медно-колчеданных природных месторождений и вовлечения в эффективную промышленную эксплуатацию сформированных в результате складирования отходов горно-металлургического производства техногенных месторождений;
- установление закономерностей минерального и химического состава, распределения полезных компонентов и физико-механических свойств минерального сырья в природных и техногенных месторождениях;
- исследование закономерностей процессов техногенного преобразования минерального сырья при добыче и переработке комбинированными физико-техническими и физико-химическими способами;
- усовершенствование существующих и разработка новых технологических процессов комплексного освоения природных и техногенных месторождений для повышения уровня и комплексности извлечения полезных компонентов путем снижения их потерь в недрах при добыче и переработке, а также утилизации отходов производства.

#### **Библиографический список**

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; Под ред. К.Н. Трубецкой. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 478 с.: ил. ISBN 5-7892-0008-7.
2. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. 560 с.: ил. ISBN 5-8216-0046-4.
3. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / Под ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого, ч.-кор. РАН Д.Р. Каплунова. М., 2005. 248 с.: ил. ISBN 5-201-15589-8.

УДК 622.2

А. Ф. Илимбетов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, Д. А. Милкин

## **НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ\***

Проблема восполнения минерально-сырьевой базы, экологизации горного производства имеет актуальное значение для промышленных регионов большинства стран, являющихся основными поставщиками цветных металлов на мировой рынок. Причем, наряду с рациональным использованием полезных ископаемых недр, особое значение приобретает переработка техногенного сырья горно-металлургического комплекса (хвосты обогатительных фабрик и металлургические шлаки, отвалы бедных руд и

вскрышных пород, рудничные воды и др.), экономический потенциал которых весьма высок. Многие техногенные отходы характеризуются промышленно-значимым содержанием ценных компонентов и образуются в индустриальных зонах с развитой инфраструктурой, что создает предпосылки их полной утилизации на предприятиях-производителях этого сырья [1]. Остро эта проблема стоит в промышленных регионах, где деятельность горных и металлургических предприятий за многовековой период привела к значительному истощению запасов богатых руд, снижению содержания ценных компонентов в

\* Работа выполняется при поддержке Фонда содействия отечественной науке.



эксплуатируемых запасах и накоплению крупномасштабных хранилищ отходов промышленного производства.

Дефицит и низкое качество эксплуатационных запасов природных (геогенных) месторождений обуславливают необходимость внедрения новых технологий, позволяющих существенно снизить потери при добыче, обогащении руды и в металлургическом переделе, а также изыскания новых технологических решений, позволяющих вовлечь техногенные месторождения, сформированные из промышленных отходов, в эффективную промышленную разработку.

В России добыча и обогащение медных и комплексных руд осуществляется на 15 крупных предприятиях Уральского, Норильского и Кавказского регионов. Попутную добычу ведут Сорский, Приморский и Солнечный горно-обогатительные комбинаты, разрабатывающие молибденовое, вольфрамовое и оловянное месторождения. Обогащение медно-цинковых руд осуществляется на восьми обогатительных фабриках.

Несмотря на постоянное совершенствование технологического процесса и высокие показатели обогащения методом флотации (извлечение меди 80–92%, цинка 75–82%, золота 18–47%), выход хвостов по отношению к исходным рудам составляет 70–90%.

Анализ существующих технологических схем обогащения медно-колчеданных руд свидетельствует, что значительная часть металлов, содержащихся в хвостах, не может быть эффективно извлечена в цикле первичной переработки.

Новым научным направлением комплексного освоения недр является целенаправленное формирование из отходов переработки руд техногенных месторождений с заданными характеристиками. При этом решаются вопросы: экономии природного минерального сырья за счет использования техногенного; получения дополнительной товарной продукции; сохранения качества отходов путем формирования техногенного месторождения с заданными технологическими параметрами, обеспечивающими возможность их освоения в будущем; сокращения площади отчуждения земель, занимаемых под хвостохранилища; снижения экологического воздействия на окружающую среду.

Решению этих проблем способствует развитие комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Определяющее влияние на выбор технологической схемы промышленной эксплуатации отходов переработки руд цветных металлов оказывают условия их формирования, складирования и хранения. По этому признаку все отходы разделены на 4 вида [2]:

– текущие – на выходе с обогатительной фаб-

рики после завершения всех процессов обогащения;

- затопленные – находящиеся в действующем, постоянно пополняемом хвостохранилище под затоплением водой с изменяющейся концентрацией элементов, Eh и pH среды, в зависимости от режима намыва и природно-климатических условий;
- осушенные – размещенные в хвостохранилище, в котором осуществляются процессы консервации;
- лежалые – отходы, лежалые в течение определенного времени в законсервированном хвостохранилище и подвергшиеся процессам вторичного минералообразования и изменению структуры массива.

Такая классификация техногенных отходов позволяет обеспечить дифференцированный подход к обоснованию технологии их вовлечения в эффективную промышленную эксплуатацию.

Для каждой группы отходов разработаны технологические схемы формирования и комплексного освоения техногенных месторождений на основе отходов обогащения руд различными горнотехническими системами. Горнотехническая система рассматривалась как совокупность конструктивных элементов и процессов открытых, подземных, физико-химических технологий при их различном сочетании во времени и в пространстве. Открытым и подземным способами осуществляется разработка геогенных месторождений с формированием в выработанном пространстве карьера, подземного рудника и на поверхности техногенных месторождений из отходов переработки руд для выщелачивания ценных компонентов с получением товарных металлов и их концентратов. При этом решаются вопросы полезного использования отходов выщелачивания для закладки выработанного пространства.

Представленная на рис. 1 горнотехническая система предполагает утилизацию текущих отходов обогащения в выработанном подземном пространстве без доизвлечения ценных компонентов. Технологическая схема предусматривает частичное обезвоживание хвостов, которое может осуществляться как на обогатительной фабрике, так и на поверхностном закладочном комплексе. Затем обезвоженные хвосты обогащения используются для заполнения выработанного пространства подземных камер гидравлической или твердеющей закладкой.

Хвосты, уложенные ранее в качестве гидравлической закладки подземных камер, после осушения массива и формирования структурных трещин могут быть подвергнуты скважинному подземному выщелачиванию с поверхности или карьерного пространства, а также из выработок подземного рудника.

Данная технологическая схема применима также к массивам, сформированным из текущих отходов обогащения в выработанном пространстве карьера или на поверхности в специальных технологических емкостях. В этом случае реализуется вариант кюветного выщелачивания ценных компонентов. Принципиальное отличие состоит в аппаратном оформлении данной схемы – подача растворов осуществляется не из пробуренных с поверхности скважин, а путем орошения локального массива по всей площади посредством эмиттеров или воблеров.

При подземном выщелачивании отходы размещаются в подземном пространстве, остаются на месте укладки, выполняя функции закладочного массива. Материал, выщелоченный на поверхности, может быть использован в качестве гидравлической закладки либо в качестве наполнителя для приготовления твердеющей закладочной смеси.

К недостаткам технологии выщелачивания намывных массивов следует отнести весьма низкую фильтрационную способность хвостов, представленных тонкими классами крупности. Шламы закупоривают межзерновые каналы, препятствуют интенсивному проникновению выщелачивающих растворов вглубь массива.

Устранение данного недостатка возможно с использованием специальной подготовки массива к реализации физико-химической геотехнологии. Подготовительные операции предусматривают предварительное окомкование отходов обогащения для увеличения крупности структурных

элементов массива и повышения его пористости. В окомкованном массиве процессы циркуляции раствора и, как следствие, выщелачивание ценных компонентов протекают весьма интенсивно.

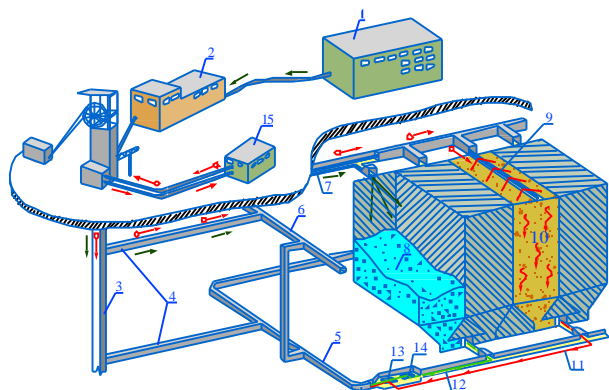
Реализация горнотехнической системы, представленной на рис. 2, предполагает обезвоживание текущих хвостов обогащения на обогатительной фабрике, либо в технологическом комплексе подготовки сырья к выщелачиванию, расположенном на промплощадке рудника. При этом применяются традиционные процессы и аппараты сгущения, фильтрации и сушки. Обезвоженный материал подается на шихтовку с вяжущими веществами и окомкование. Целью последнего является получение прочных, пористых и устойчивых в выщелачивающих растворах окатышей.

Подготовленные таким образом окатыши транспортируются на полигон кучного выщелачивания, где укладываются в штабели и выдерживаются в случае необходимости до набора требуемой прочности. Сформированный техногенный массив подвергается выщелачиванию до достижения максимальной степени извлечения ценных компонентов. Продуктивные растворы перерабатываются методами гидрометаллургии на горно-перерабатывающем комплексе. Конечной продукцией данной технологической схемы являются товарные металлы, концентраты цветных, благородных и других металлов, а также промпродукты, такие как элюаты сорбции, цементная медь. В варианте, представленном на рис. 2, после отработки каждого штабеля окатыши направляются на закладочный комплекс для приготовления твердеющей закладочной смеси либо их используют в качестве сыпучей закладки вторичных камер или локализации иных пустот.

К достоинствам данной технологической схемы следует отнести возможность оперативного контроля и управления процессом выщелачивания. К недостаткам – отчуждение значительных площадей земель.

В представленной на рис. 3 горнотехнической системе формирование техногенного массива на основе окомкованных текущих отходов обогащения осуществляется в выработанном пространстве карьера с целью сохранения изъятия дополнительных площадей земель.

Окатыши, выдержанные на временном складе до набора требуемой прочности, подаются в выработанное карьерное пространство и размещаются на отработанных, временно нерабочих бортах карьера либо в его основании. Орошение осуществляется системой гибких шлангов и разбрызгивателей. Сбор продуктивного раствора – как посредством прудков и канав, так и из подземных выработок, пройденных в бортах и в основании карьера. Отработанные окомкованные хвосты могут быть ос-



**Рис. 1. Горнотехническая система комбинированной геотехнологии, предусматривающая утилизацию текущих отходов обогащения в пространстве подземного рудника:**  
 1 – обогатительная фабрика; 2 – поверхностный закладочный комплекс подземного рудника; 3–7 – выработки подземного рудника с расположенными в них закладочным трубопроводом, дренажных узлов и системы сбора и циркуляции растворов выщелачивания; 8 – формируемый массив гидравлической закладки; 9 – оросительная система для выщелачивания специально подготовленного массива; 10; 11 – направление циркуляции растворов выщелачивания на откаточном горизонте; 13, 14 – участковые водосборники для сбора соответственно дренажных вод и продуктивных растворов

тавлены в карьере в качестве внутренних отходов либо использованы как заполнитель закладочных смесей.

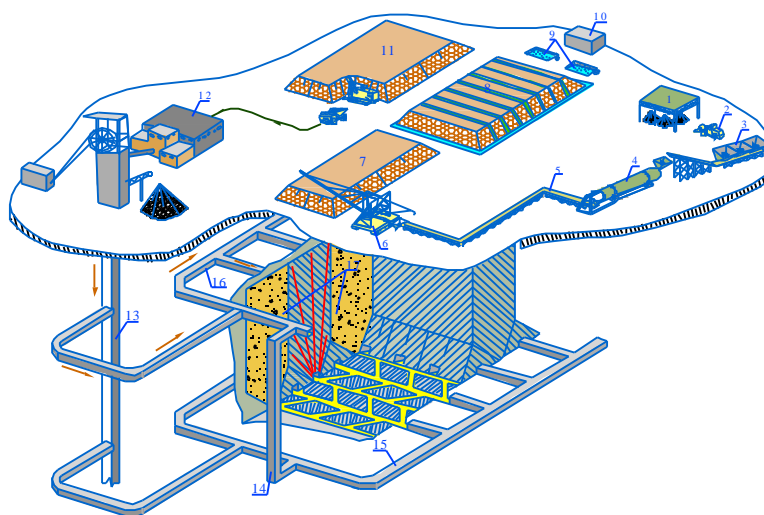
Выщелачивание техногенных формируемых на поверхности или карьере, характеризуется рядом недостатков, основным из которых является сезонность ведения работ в суровых климатических условиях, а также влияние атмосферных осадков на состав и качество выщелачивающих и продуктивных растворов.

Устранение таких недостатков достигается при размещении окомкованного сырья в выработках подземного рудника (рис. 4). Для этого подготовленные и выдержанные окатыши транспортируются по клетьевому либо наклонному стволу в шахту, перепускаются на рабочий горизонт и размещаются в выработанном пространстве специально подготовленных вторичных камер.

Орошение массива производится с вышележащего горизонта, а сбор растворов – из выработок, расположенных в нижележащем горизонте. Циркуляция растворов осуществляется путем их перекачки с раствороприемного (откаточного) на оросительный (вентиляционно-закладочный) горизонт до насыщения ионами промышленно-значимых элементов. Насыщенные растворы подвергаются переработке либо в условиях подземного рудника, либо откачиваются на поверхность с дальнейшей переработкой в технологическом комплексе. Массив окатанного материала после глубокого комплексного извлечения ценных компонентов остается во вторичных камерах, которые заполняются под кровлю твердеющей смесью.

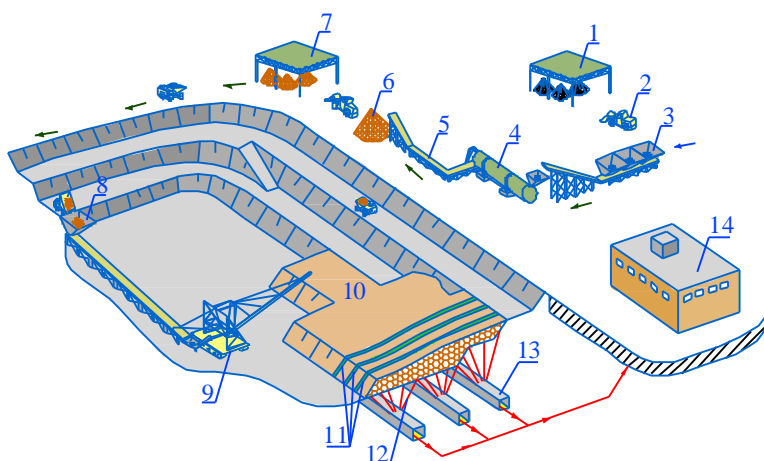
Рассмотренные горнотехнические системы, представленные на рис. 1–3, позволяют вовлечь текущие отходы обогащения в промышленную эксплуатацию путем целенаправленного формирования техногенных месторождений, их отработки физико-химическим методом и использования отходов выщелачивания в подземной технологии для управления состоянием массива.

Действующие хранилища отходов обогащения полиметаллических руд представляют собой наиболее сложный объект освоения, так как большая часть отходов, залегающих в них, нахо-



**Рис. 2. Горнотехническая система, предусматривающая формирование из текущих отходов обогащения массива окомкованного материала на полигоне кучного выщелачивания, его выщелачивание с использованием отработанных окатышей в качестве закладочного материала:**

- 1 – склад компонентов шихты для окомкования; 2 – доставка компонентов шихты в дозирующие бункера 3 окомкователя 4; 5 – система конвейеров и консольный штабелукладчик 6; 7 и 8 – соответственно формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 9 – прудки продуктивного и маточного растворов; 10 – комплекс переработки продуктивного раствора; 11 – склад отходов выщелачивания (после извлечения ценных компонентов); 12 – поверхностный закладочный комплекс; 13–16 – выработки подземного рудника; 17 – твердеющий массив отходов выщелачивания



**Рис. 3. Горнотехническая система, предусматривающая формирование из текущих отходов обогащения массива окомкованного материала, его выщелачивание с использованием отработанных окатышей в качестве закладочного материала:**

- 1 – склад компонентов шихты для окомкования; 2 – доставка компонентов шихты в дозирующие бункера 3 окомкователя 4; 5 – система конвейеров; 6, 7 – временный склад окатышей; 8 – приемный бункер; 9 – консольный штабелукладчик; 10 – штабель окатанного материала; 11 – система орошения; 12 – скважины для сбора продуктивного раствора; 13 – выработки для сбора продуктивного раствора; 14 – комплекс переработки продуктивного раствора



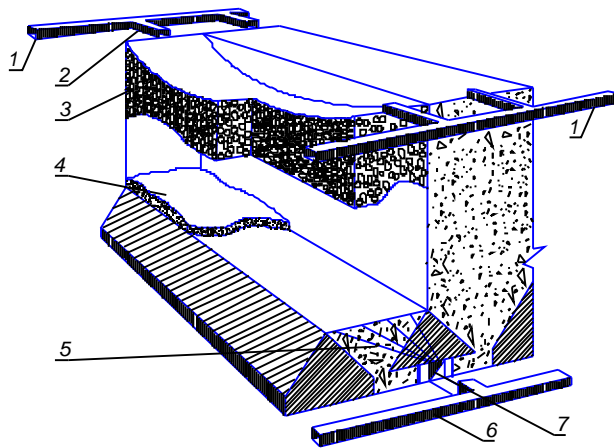


Рис. 4. Технология формирования массива окатаного материала в отработанных камерах второй очереди:

- 1, 2 – выработки вентиляционно-закладочного горизонта;
- 3 – массив окатышей; 4 – постель из кварцевого песка;
- 5 – скважины для сбора продуктивного раствора;
- 6 – откаточный шп. рек; 7 – раствороприемный орт

дится под затоплением. Для разработки таких техногенных массивов наиболее перспективным представляется гидродобыча ранее складированного сырья с последующей реализацией одной из схем переработки текущих отходов обогащения. Горнотехническая система, представленная на рис. 5, предусматривает добычу отходов обогащения, залегающих под затоплением земснарядом. Добытая из действующего хвостохранилища пульпа поступает в технологический комплекс подготовки сырья к выщелачиванию, расположенный на промплощадке рудника. В комплексе осуществляется обезвоживание хвостов путем сгущения в радиальных сгустителях или гидроциклонах, фильтрация, сушка до требуемой

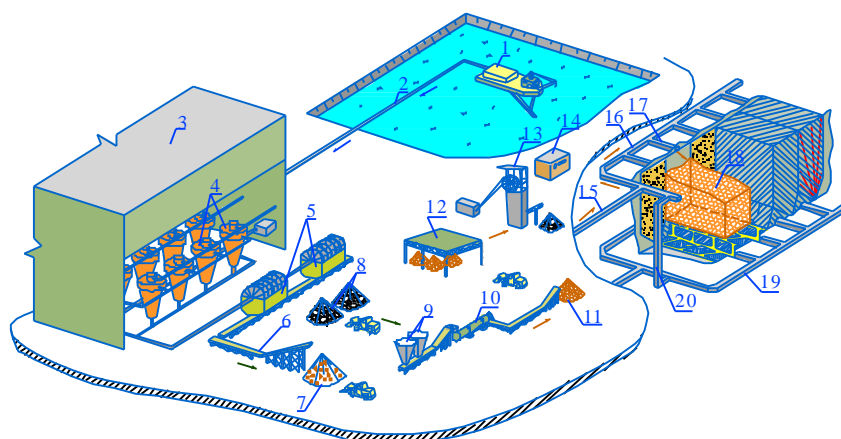


Рис. 5. Горнотехническая система разработки действующего хвостохранилища путем гидродобычи сырья, переработки его физико-химическими методами с последующем использованием в качестве наполнителя закладочных смесей:

- 1 – земснаряд; 2 – пульповод; 3 – обогатительная фабрика; 4 – гидроциклоны;
- 5 – вакуум-фильтры; 6 – система конвейеров; 7 – обезвоженные хвосты;
- 8 – склад компонентов шихты для окомкования; 9 – бункер-дозатор; 10 – окомкователь;
- 11, 12 – временный склад окатышей; 13 – кран; 14 – комплекс переработки продуктивного раствора; 15, 16, 17, 19, 20 – выработки подземного рудника; 18 – массив окатышей

влажности и окомкование с добавлением вяжущих материалов.

Окомкованные хвосты поступают на временный склад окатышей, где хранятся до набора требуемой прочности. Окатыши требуемых кондиций подаются на промплощадку подземного рудника, затем по клетьевому стволу и системе рудоспусков на вентиляционно-закладочный горизонт, с которого самоходным транспортом отсыпается с заездов во вторичные камеры. Сформированный таким образом массив разрабатывается методами физико-химической геотехнологии. Растворы перерабатываются методами цементации, сорбции, осаждения с получением товарных металлов и их соединений.

Необходимо отметить, что принципиальным требованием реализации технологии добычи отходов обогащения из действующего хранилища является прекращение поступления в данное хвостохранилище текущих отходов с самостоятельной переработкой их на выходе с обогатительной фабрики по схемам, представленным на рис. 1–5.

В случае отказа от складирования текущих отходов обогащения в хранилище целесообразно проведение технологических операций по их консервации и осушению. После этого добыча и переработка техногенного сырья могут производиться по технологической схеме, представленной на рис. 6.

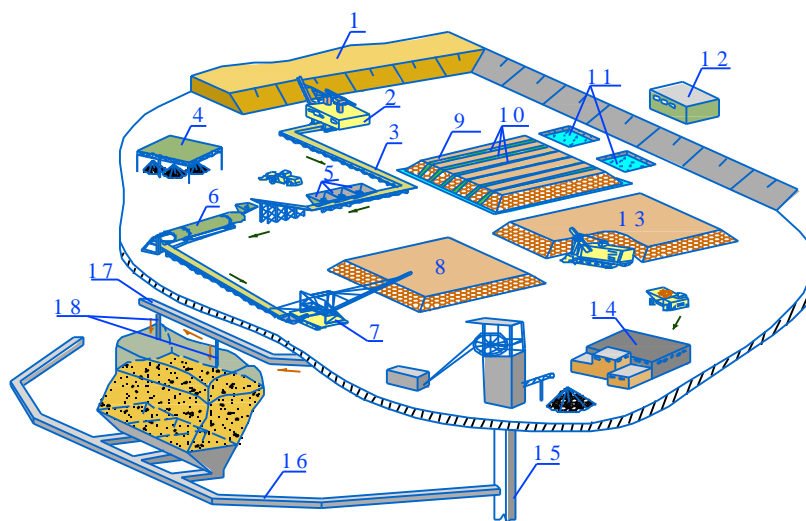
Схема предусматривает валовую выемку отходов из осушенного хранилища механизированными комплексами, окомкование усредненной фазы хвостов, кучное выщелачивание массивов, сформированных из окомкованного сырья на территории ложа хвостохранилища, освобождаемой от отходов. По завершению выщелачивания производится расформирование штабелей, транспортирование отработанного сырья на закладочный комплекс подземного рудника для использования отходов выщелачивания в качестве компонента закладочной смеси с формированием на их основе твердеющих или сыпучих массивов. Отработанное методами физико-химической геотехнологии сырье может быть использовано также для погашения накопленных пустот.

Принципиальное отличие технологических схем освоения массива хранилища отходов прошлых лет – старогод-

него связано с особенностями строения и специфическими горно-геологическими условиями залегания различных по вещественному составу и физико-механическим свойствам элементов техногенного массива. Обоснованию технологии вовлечения лежащих отходов обогащения в промышленную эксплуатацию должно предшествовать гидро-геологическое, геомеханическое и геотехнологическое изучение состава, строения и свойств техногенного месторождения. Технологические схемы его разработки должны предусматривать специальные операции по разделению техногенных отходов на характерные фракции различного качества для переработки в отдельных циклах.

Разнообразие технологических схем комплексного освоения техногенных массивов, представленных отходами обогащения полиметаллических руд, основанных на сочетании процессов физико-технических и физико-химических геотехнологий, позволяет выбрать рациональный способ переработки отходов с учетом условий их формирования и хранения в пространстве подземного рудника, карьера, на поверхности, принятого способа и систем разработки геогенного месторождения для эффективной промышленной эксплуатации отходов обогащения руд цветных металлов.

В случае, если применение процессов физи-



**Рис. 6. Горнотехническая система, предусматривающая разработку консервируемого хранилища отходов обогащения, кучное выщелачивание окомкованного сырья на территории, освобождаемой от хвостов с использованием отходов выщелачивания для погашения подземных пустот:**

- 1 – хвостохранилище; 2 – цепной экскаватор; 3 – система конвейеров; 4 – склад компонентов шихты для окомкования; 5 – бункер-дозатор; 6 – окомкователь; 7 – консольный отвалообразователь; 8 и 9 – соответственно формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 10 – система орошения; 11 – прудки продуктивного и маточного раствора; 12 – комплекс переработки продуктивного раствора; 13 – склад отходов выщелачивания (после извлечения ценных компонентов); 14 – поверхностный закладочный комплекс; 15–17 – выработки подземного рудника; 18 – закладочные скважины

ко-химической геотехнологии к техногенному массиву из текущих отходов обогащения в краткосрочной перспективе нецелесообразно, необходимо предусматривать технологические решения по целенаправленному формированию из них техногенных месторождений на поверхности и в выработанном пространстве карьера и подземного рудника для обеспечения возможности их освоения в будущем.

#### Библиографический список

1. Технологии в едином комплексе: О стратегии освоения медно-колчеданных месторождений Южного Урала / Рыльникова М.В., Илимбетов А.Ф., Абдрахманов И.А., Маннанов Р.Ш. // *Металлы Евразии*. 2006. № 5. С. 40–42.
2. Матюшенко Г.А. Разработка технологии формирования и комплексного освоения техногенных месторождений на основе отходов переработки медно-колчеданных руд: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006. 18 с.

УДК 532.546, 628.36

К. Ч. Кожогулов, М. Д. Джаманбаев, С. Б. Омуралиев

## ЗАВИСИМОСТИ ГЛУБИНЫ И СКОРОСТИ ПРОМАЧИВАНИЯ ГРУНТОВ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ОБРАЗЦОВ ПОРОД И ИНТЕНСИВНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Природные и природно-техногенные катастрофы в виде оползней происходят в мире ежегодно и часто приводят к значительному материальному ущербу и человеческим жертвам.

Природно-климатические условия Кыргызстана резко отличаются от условий других республик Центральной Азии. Это связано в первую очередь с тем, что большую часть террито-

рии Кыргызской республики занимают горы. А для юга Кыргызстана воздействие атмосферных осадков на грунты является одним из главных факторов, влияющих на формирование и активизацию оползней в горных и предгорных районах, т.к. климат этого региона характеризуется интенсивным снеготаянием и выпадением большого количества осадков в весенне-осенний период. Вследствие этого из более 5 тысяч оползней в республике более 3 тысяч приходится на южную область.

При этом увлажнение грунтов за счет атмосферных осадков является одним из основных оползнеобразующих факторов. Большое количество осадков приводит к интенсивному смыву грунтов и их переувлажнению, особенно в период максимума выпадения осадков.

В этих случаях в качестве одного из основных критериев оползневой опасности принимается критическая глубина промачивания. Если во время осадков глубина промачивания достигает этой критической величины, то возникновение оползня неизбежно.

Механизм поступления воды в грунт при выпадении дождя, равномерность и характер распределения влаги в грунте характеризуется величиной количества воды и скоростью впитывания. Для глинистых грунтов скорость впитывания будет меньше, чем для песчаных.

Породы в оползневом массиве резко изменяют свои свойства по сравнению с породами, не затронутыми оползневыми процессами. Изменение это выражается в нарушении жестких структурных связей в породе, в уменьшении пористости и увеличении плотности и влажности [1].

Во многих работах [2–4] процесс просачивания атмосферных осадков в пористую среду рассматривается без учета влагосостояния грунта, изменения пористости и интенсивности дождя.

В данной работе приведены результаты моделирования процесса впитывания атмосферных осадков в грунты с учетом изменения их пористости от влагосостояния, а также от интенсивности дождя. Предполагается, что пористость грунтов изменяется с изменением влажности по следующей зависимости:

$$m^* = (1 - w)m, \quad (1)$$

где  $w$  – влажность в долях единицы;  $m$  – пористость в сухом состоянии грунта.

Вводятся новые силы, которые влияют на процесс впитывания:

- Аналог Архимедовой силы, характеризующий всасывающую силу со стороны грунта:

$$F_{a.архи} = (1 - m^*)\rho g y, \quad (2)$$

где  $\gamma = \rho g$  – удельный вес воды.

- Сила, появляющаяся за счет изменения массы воды в грунте:

$$F_{u.m} = \vartheta \frac{dM(t)}{dt}, \quad (3)$$

где  $\vartheta = m^* \frac{dy}{dt}$  – скорость впитывания;  $M(t) = \rho \vartheta_0 t$  –

масса воды, выпавшей в осадки за время  $t$ .

Для описания процесса впитывания атмосферных осадков в грунты с учетом вышесказанных предположений используется модель переменной массы в виде [5]:

$$gM(t) + (1 - m^*)\rho g y - \alpha \vartheta - \vartheta \frac{dM(t)}{dt} = 0. \quad (4)$$

Здесь  $\alpha$  определяется из предположения, что при  $t \rightarrow T$  дождь прекращается  $\vartheta_0 = 0$  и масса воды, выпавшая за время  $T$ , равняется массе воды, содержащейся в грунте  $M = \rho m^* y$ , а скорость впитывания равняется коэффициенту фильтрации  $\vartheta = k$ .

Тогда

$$\alpha = \frac{\rho g y}{k}. \quad (5)$$

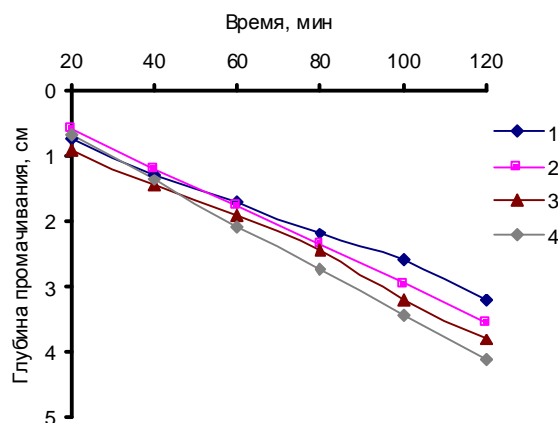
Подставив (5) в (4), получим

$$gM(t) + (1 - m^*)\rho g y - \frac{\rho g y}{k} \vartheta - \vartheta \frac{dM(t)}{dt} = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) определяет глубину промачивания с учетом интенсивности дождя и влагосостояния грунта  $w$ .

Далее будем рассматривать случай, когда глубина воды отлична от нуля, т.е. с учетом влияния на инфильтрацию глубины слоя воды.

До сих пор экспериментальные исследования этого вопроса основывались главным образом на



Зависимости глубины промачивания от времени при различной интенсивности осадков:

- 1 – по данным эксперимента; 2 – расчетная по (6) при  $\vartheta_0 = 0,03$  см/мин; 3 – по данным эксперимента; 4 – расчетная по (6) при  $\vartheta_0 = 0,044$  см/мин



полевых измерениях скорости впитывания или на изучении процесса инфильтрации при дождевании и проводились в большинстве случаев в диапазоне глубины от 0 до 20 см. Эти исследования привели к выводу, что влияние поверхностного слоя мало [6]. Проведенные эксперименты с полевыми затоплениями расширили диапазон встречающихся в практике глубин до 100 см и более. Полученные результаты показали, что влияние слоя воды на инфильтрацию может быть значительным [7].

Таким образом, слой воды  $H(t)$  является линейной функцией времени и определяется из уравнения баланса

$$H(t) = \mathcal{Q}_0 t - m^* y, \quad (7)$$

где  $y$  – значения (6).

Были проведены эксперименты в лабораторных условиях. Приготовлены образцы из грунтовых смесей с различным процентным содержанием глинистых – песчаных фракций: (80–20)%, (60–40)%, (40–60)%, (20–80)%.

Для образца (40–60)% характерны следующие показатели: пористость  $m=0,3$ ,  $k=5,1 \cdot 10^{-3}$  см/мин,  $w=0,015$  (в долях единицы) при интенсивности осадков: 1)  $\mathcal{Q}_0=0,03$  см/мин; 2)  $\mathcal{Q}_0=0,044$  см/мин. Данная интенсивность осадков принята исходя из того, что повышенная опасность схода оползней возникает при ливневых осадках с интенсивностью, близкой к этим величинам, – 0,03 см/мин [8].

Результаты экспериментов приведены в таблице и на рисунке.

Средняя относительная погрешность эксперимента по формуле (6) при  $\mathcal{Q}_0=0,03$  см/мин составляет 11%, при  $\mathcal{Q}_0=0,044$  см/мин – 10,7%.

В результате исследований можно сделать следующие выводы:

- Обоснован один из подходов моделирова-

#### Результаты эксперимента по определению глубины промачивания и образования слоя воды над поверхностью грунта

Время промачивания $t$ , мин	Экспериментальная		Глубина промачивания по (6) $y$ , см	Слой воды на поверхности грунта $H$ , см	
	глубина	скорость		эксп.	по (7)
	промачивания				
$y$ , см	$V_{in}$ , см/мин				
при интенсивности $\mathcal{Q}_0 = 0,03$ см/мин					
20	0,75	0,037	0,59	0,38	0,43
40	1,27	0,032	1,18	0,82	0,85
60	1,7	0,028	1,77	1,3	1,28
80	2,2	0,027	2,37	1,75	1,7
100	2,58	0,026	2,96	2,24	2,13
120	3,2	0,026	3,55	2,65	2,55
при интенсивности $\mathcal{Q}_0 = 0,044$ см/мин					
20	0,9	0,045	0,69	0,61	0,68
40	1,45	0,036	1,37	1,33	1,36
60	1,9	0,032	2,06	2,08	2,03
80	2,45	0,031	2,74	2,8	2,71
100	3,2	0,032	3,43	3,45	3,39
120	3,8	0,031	4,11	4,16	4,07

ния процесса впитывания атмосферных осадков в грунты, учитывающий изменения их пористости, влагосостояния, а также интенсивности дождя.

- Установлено, что если интенсивность осадков больше, чем коэффициент фильтрации, т.е.  $\mathcal{Q}_0 > k$ , образуется слой воды на поверхности земли, высота которого определяется формулой (7). Если  $\mathcal{Q}_0 \leq k$ , то выпавшее количество воды полностью просачивается в грунт.
- Установлены зависимости глубины промачивания от времени при различной интенсивности осадков. Сопоставление результатов математического моделирования и лабораторных экспериментов показало хорошую сходимость.

#### Библиографический список

1. Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР: Материалы среднеазиатского совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. Вып. 12. Душанбе: ДОНИШ, 1968. 250 с.
2. Труды Центрального Института прогнозов. 1949. Вып. 12(39). С. 34–60.
3. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 139 с.
4. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.
5. Джаманбаев М. Дж., Омуралиев С.Б. Моделирование процесса впитывания атмосферных осадков в грунтовые породы // Сб. науч. докл. Междунар. науч.-практ. конференции «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и техника орошения». Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. С. 146–152.
6. Lewis M.R., Powers W.L. 1939. A study of factors affecting infiltration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3, 334–339.
7. Schiff L. 1953. The effect of Surface head on infiltration rates and on the performance of ring infiltrometers and ponds. Trans. Amer. Geophys. Union, 34, 257–266.
8. Morgenstern N.R. de Matos. Stability of slopes in residual soil // Proceedings of 5-th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1975. Vol. 3. P. 367–383.

У. Т. Абдрахимов, А. З. Жалгасбеков, С. Л. Кузьмин

## К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШАССИ САМОХОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА

В Казахстане на подземных рудниках работает свыше 1500 самоходных машин. Только на Жезказганских подземных рудниках корпорации "Казахмыс" эксплуатируется около 400 единиц самоходного горного оборудования (СГО), которые закупаются в ближнем и дальнем зарубежье. В настоящее время степень износа оборудования составляет 60–80%, что требует обновления материальной базы горнорудных предприятий.

Ранее неоднократно рассматривалась возможность производства СГО машиностроительным комплексом Республики Казахстан.

В конце 1950–1960-х годов на таких крупных предприятиях черной и цветной металлургии, как Балхашский и Жезказганский горно-металлургические, Ачисайский и Лениногорский полиметаллические, Лисаковский и Соколовско-Сарбайский горно-обогатительные, Целинный горнохимический комбинаты были созданы опытно-экспериментальные конструкторские бюро. Например, в институте «ЖезказганНИПИцветмет» была создана целая группа самоходных горных машин, которые можно отнести к машинам вспомогательной группы.

К созданным в Республике самоходным горным машинам относятся: самоходные полки для осмотра и крепления кровли; машины для зарядки взрывчатыми веществами шпуров и скважин, для заправки техники горюче-смазочными материалами; трейлер, тягач, колесосъемники, машины для перевозки и установки опор линий электропередачи. Так, например, в Алматы был построен завод горношахтного машиностроения, ныне АО «Массагет», который уже в 1980-х годах производил машины забойной группы 1 и 2 типоразмеров: машины погрузочно-транспортные ПД-1Э, ПД-2Б1, машину анкерного крепления МКА-2, установку бурильную шахтную УБШ-216, машину многофункционального назначения МФ-1, шасси самоходную ТСШ-4 и др., базирующиеся на самоходных шарнирно сочлененных рамах собственной конструкции. При этом машины АО «Массагет» оказались дешевле своих аналогов из ближнего и дальнего зарубежья (данные на конец 1994 г.); в г. Сатпаеве Карагандинской области был построен завод горношахтного оборудования, который производил около 7 видов машин вспомогательного назначения на базе шасси автомобилей МАЗ и МоАЗ; в АО «Востокмашзавод» по заявке АО «Жезказ-

ганцветмет» в 1989–1991 гг. были проведены опытно-конструкторские разработки технологии изготовления откаточных машин типа МоАЗ грузоподъемностью 35 т, погрузочно-доставочные машины с емкостью ковша до 6 м<sup>3</sup>, на Целинном горнохимическом комбинате прорабатывался вопрос производства пневмо- и гидроперфораторов для бурильных машин типа УБШ.

В 1990-х годах данное производство было свернуто, а заводы перепрофилированы на выпуск другой продукции.

Наиболее сложной, металлоемкой и дорогостоящей составной частью СГО являются шасси с дизельным приводом. Поэтому производство следует начинать с шасси, которые будут соответствовать уровню лучших зарубежных аналогов.

В целях сокращения эксплуатационных затрат и улучшения условий содержания и ремонта машин предлагается создание максимально унифицированных по типам и по применяемым в них комплектующим агрегатам и узлам шахтного самоходного оборудования (ШСО). На ШСО можно установить различное навесное оборудование.

Мощность двигателя оборудования должно обеспечить передвижение полностью снаряженной машины с максимально возможной скоростью; на основании этого принимается, что мощность двигателя должна превышать 100 кВт.

Передаточное число определяется исходя из максимальной скорости автомобиля.

$$i_c = \frac{r_k \cdot n_{e \max}}{i_k \cdot i_g \cdot V_{\max}} = \frac{0,278 \cdot 550}{1 \cdot 29,2} = 5,24,$$

где  $r_k$  – радиус колеса ШСО, м;  $n_{e \max}$  – максимальная частота вращения двигателя, об/мин.

Передаточное число первой передачи определяется по заданному максимальному дорожному сопротивлению. Из уравнения тягового баланса:

$$P_{T \max} = \frac{M_{e \max} \cdot i_k \cdot i_g \cdot \eta_T}{r_K} \geq \psi_{\max} M_a g,$$

откуда

$$i_1 = \frac{g \cdot M_a \cdot \psi_{\max} \cdot r_K}{M_{e \max} \cdot i_k \cdot i_g \cdot \eta_T},$$

где  $M_a$  – предполагаемая масса горного самоходного оборудования, кг;  $\psi_{\max}$  – максимальное

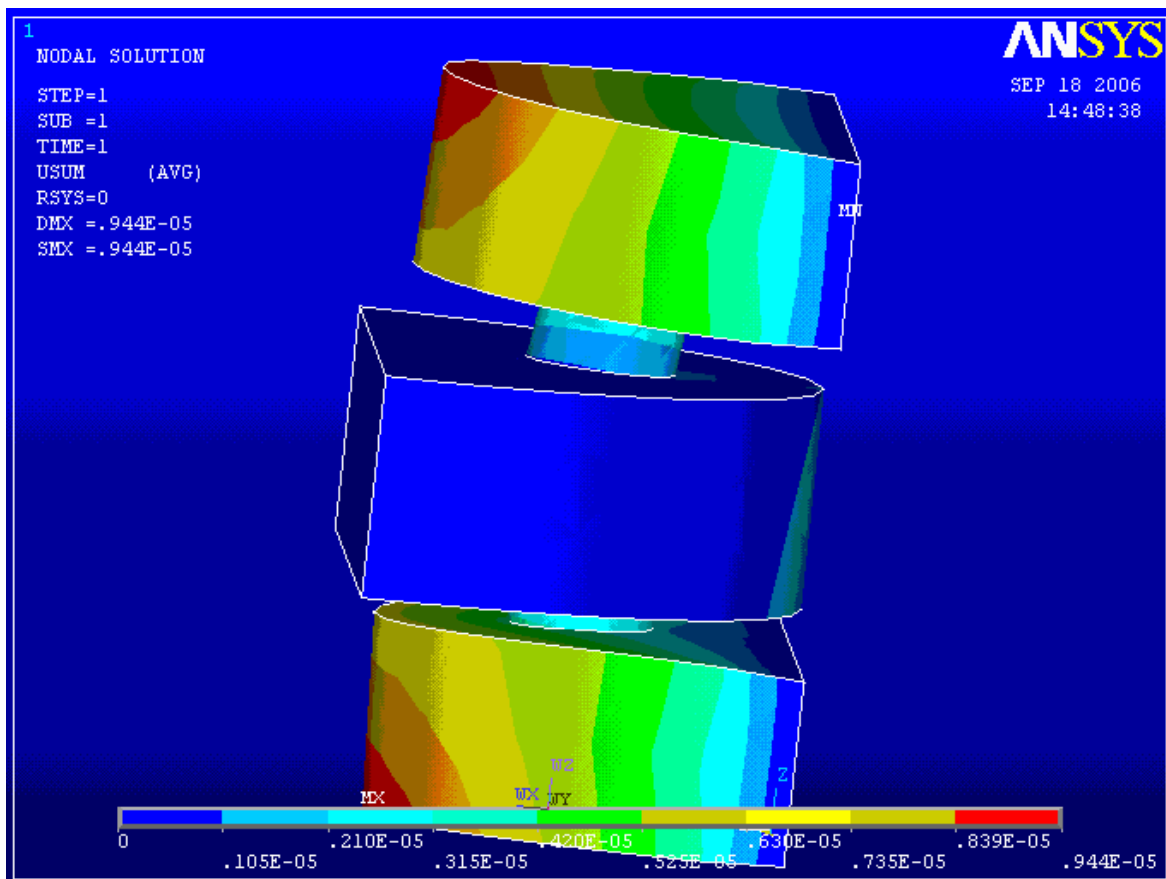


Рис. 1. Деформация шарнира, соединяющего две полурамы

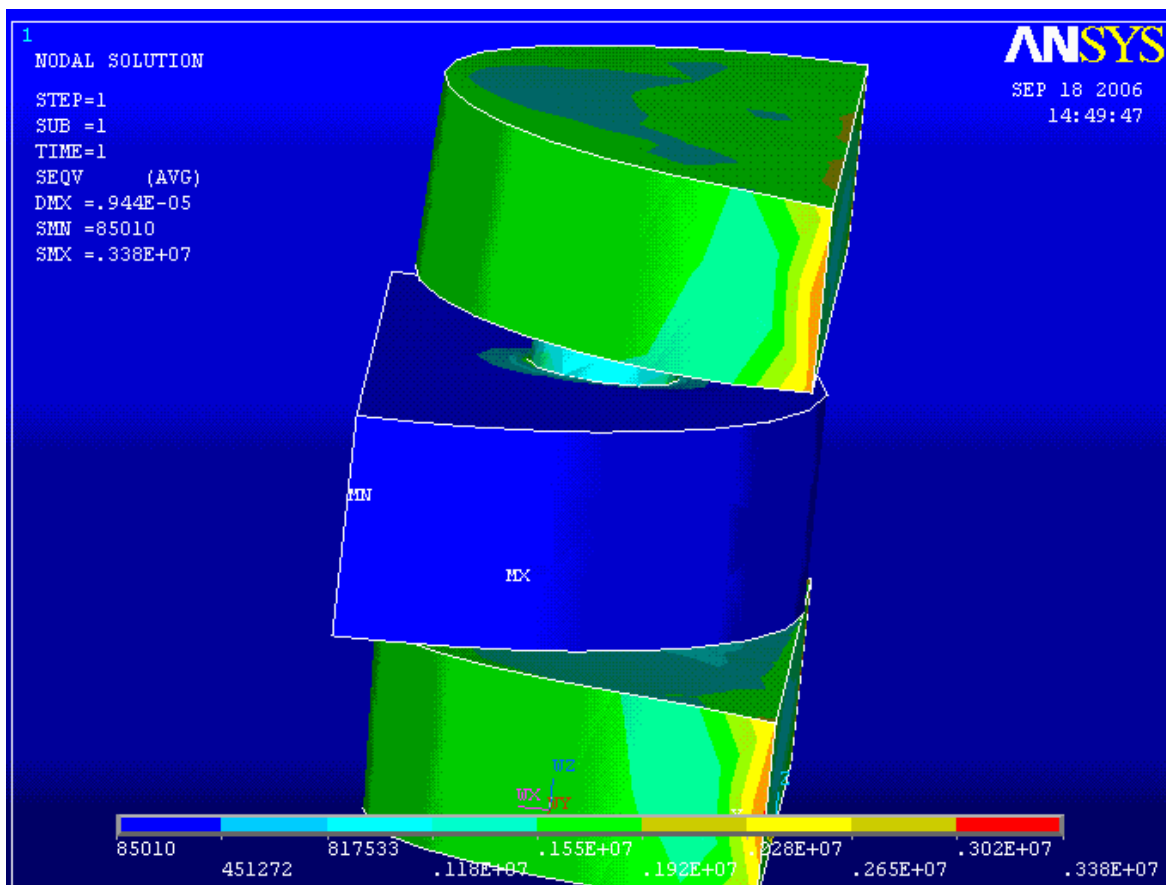


Рис. 2. Напряжение в шарнире

дорожное сопротивление;  $M_{e\max}$  – максимальное значение крутящего момента двигателя, Н·м;  $\eta_T$  – КПД трансмиссии.

Для получения максимального значения крутящего момента принятого двигателя используется эмпирическая зависимость, позволяющая воспроизвести кривую мощности  $N_e=f(n)$  по известным координатам одной точки, например по точке  $(N_{\max}, n_N)$  [2].

$$N_{ei} = N_{\max} \left[ a \frac{n_E}{n_N} + b \left( \frac{n_E}{n_N} \right)^2 - c \left( \frac{n_E}{n_N} \right)^3 \right].$$

Для расчета внешней скоростной характеристики удобно взять следующие значения  $n_e/n_N$ : 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1.

После этого подсчитываются значения крутящего момента для всех расчетных точек скоростной характеристики по формуле

$$M_{ei} = 1000 \frac{N_{ei}}{n_{Ei}}.$$

Результаты расчёта сведём в таблицу.

$n_e / n_N$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
$n_{ei}, c^{-1}$	55	165	275	385	495	550
$N_{ei}, кВт$	6.954	27.807	53.431	78.438	97.437	104
$M_{ei}, Н м$	126.44	168.53	194.29	203.74	196.84	187.27

Следовательно, передаточное число первой передачи

$$i_1 = \frac{9,8 \cdot 1500 \cdot 0,47 \cdot 0,278}{203,74 \cdot 5,24 \cdot 0,94} = 1,9.$$

Если разгон СГО происходит в одном и том же интервале скоростей вращения коленчатого вала двигателя, то передаточные числа коробки передач должны изменяться по закону геометрической прогрессии. Это дает возможность найти передаточные числа промежуточных степеней по следующей формуле:

$$i_k = \sqrt[n]{i_1^{n-m}};$$

$$i_{k1} = 1,9, i_{k2} = \sqrt[3]{1,9^3} = 1,4, i_{k3} = 1.$$

#### Библиографический список

1. Абдрахимов У. Т. О перспективах развития горного машиностроения в Казахстане // Топорковские чтения: Междунар. науч.-техн. конференция. Вып. 6. Рудный, 2006.
2. Анкудинов Д.Т. Шахтные пневмоколесные самоходные машины. М.: Недра, 1984.
3. Жалгасбеков А.З., Дьяков В.А. Повышения эффективности самоходного дизельного оборудования при подземной разработке рудных месторождений // Проблемы подготовки специалистов и развитие научных исследований на переходном этапе к рыночным отношениям: Материалы Регион. науч.-метод. конференции. Каратау, 1991.

В связи с неготовностью в настоящее время профильных казахстанских предприятий обеспечить производство для первого опытного образца шасси некоторых составных частей и агрегатов: двигателя, гидромеханической трансмиссии и систем управления трансмиссией, ведущих мостов требуемого качества и технического уровня эту машину планируется оснастить соответствующими системами, поставляемыми из-за рубежа фирмой "Дойтц Дизель" (силовой дизельной установкой с двигателем модели F12L413FW мощностью 104 кВт). В опытных образцах планируется использовать гидротрансформатор, коробку передач и ведущие мосты фирмы "Кларк" (гидромеханическая трансмиссия модели R-5000 с системой управления).

В дальнейшем, на втором этапе, по мере готовности отечественных предприятий к производству названных систем на уровне выдвигаемых к ним требований, рассматриваемое шасси будет оснащаться двигателем с его системами отечественного производства.

Рама самоходного шасси уже сегодня может быть изготовлена собственными силами. Для её проектирования применяется САПР с помощью программного комплекса ADAMS. В сочетании с программным комплексом ANSYS, использующим в своих расчётах метод конечных элементов, возможно оптимизировать данную конструкцию. При этом возможно спроектировать раму более прочной в тех местах, где имеются высокие напряжения, и более легкой – в менее ответственных местах. Это позволит создать надёжную раму с оптимизированным соотношением веса и прочности.

Для примера рассмотрим проектирование шарнира, соединяющего две полурамы, приложив точки закрепления и возникающие нагрузки от веса рабочего оборудования и силы тяги двигателя, получаем деформацию и напряжение в данной конструкции, представленные на рис. 1 и 2. На основании допустимых нагрузок можно сделать вывод о работоспособности данного узла.

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.1

Б. А. Сарычев

## О ВОССТАНОВЛЕНИИ ФОСФОРА В ПРОЦЕССЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

При производстве низколегированной стали с содержанием  $S \leq 0,010$  и  $P \leq 0,015$  в конвертерном цехе ОАО «ММК» в обязательном порядке производится внепечная десульфурация на установке печь-ковш (УПК), в процессе которой происходит увеличение содержания фосфора. С целью оценки факторов, определяющих эту величину, была проведена серия опытных плавов.

Было установлено, что кроме увеличения фосфора в металле за счет фосфора, вносимого с ферросплавами, вводимыми во время слива плавки в ковш, происходит увеличение фосфора за счет его восстановления из шлака в процессе внепечной обработки на УПК (рис. 1).

Анализируя состав десульфурующего шлака, который наводится на агрегате печь-ковш с целью обеспечения в готовом металле низких значений серы, можно увидеть, что его состав очень сильно отличается от состава шлака на повалке.

Существенно ниже основность шлака и очень резко снижена его окисленность. Наличие алюминия приводит к тому, что фосфор начинает восстанавливаться и переходить из шлака в металл. При этом снижается концентрация ( $P_2O_5$ ) и соответственно коэффициент распределения фосфора ( $L_p$ ) (рис. 2).

Таким образом, в случае попадания в ковш конвертерного шлака неизбежно происходит восстановление фосфора из этого шлака и переход его в металл.

Вместе с тем, следует отметить, что в случаях, когда удастся качественно отсечь конвер-

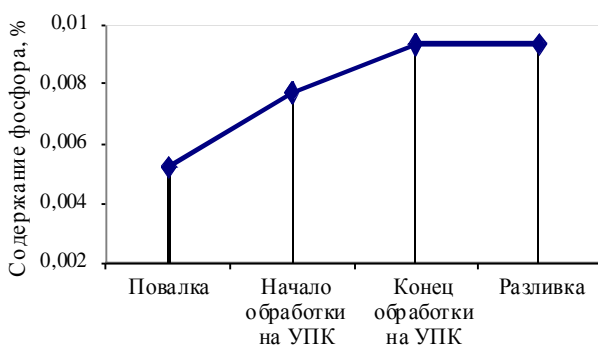


Рис. 1. Изменение содержания фосфора

терный шлак, восстановление фосфора в процессе внепечной обработки не происходит. Такую отсечку удалось осуществить на четырех опытных плавках. При этом восстановление фосфора не произошло.

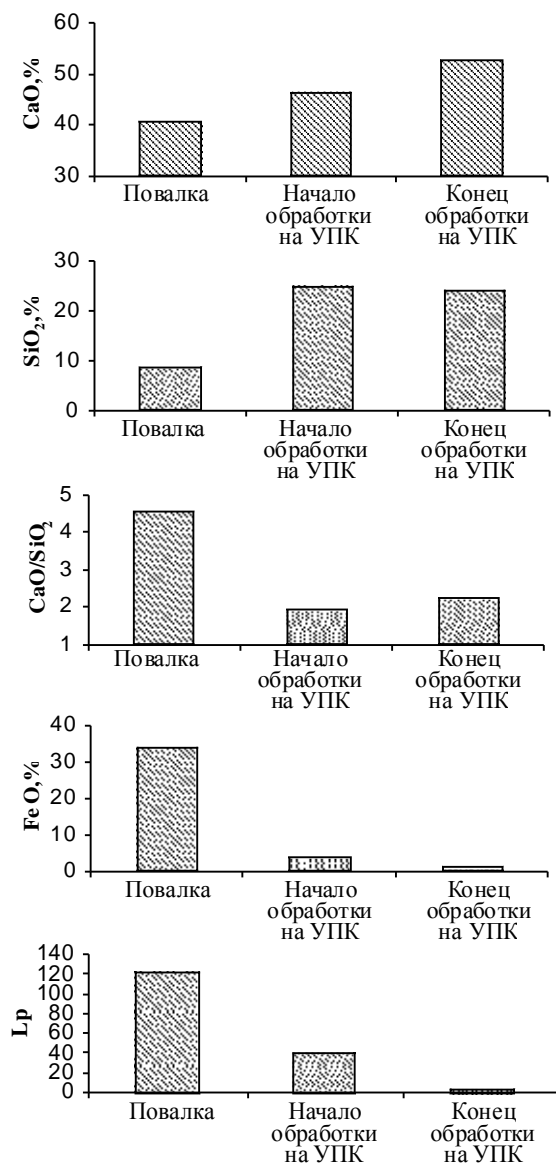


Рис. 2. Изменение химического состава шлака и коэффициента распределения фосфора от повалки до конца обработки на УПК



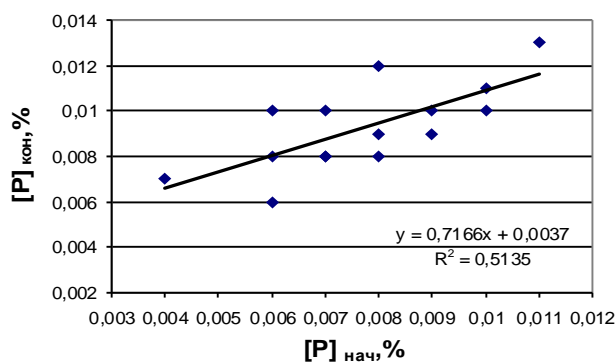


Рис. 3. Влияние содержания фосфора в металле в начале обработки на его конечное содержание

Анализ параметров, влияющих на восстановление фосфора в процессе внепечной обработки, позволил установить зависимость содержания фосфора после внепечной обработки ( $[P]_{\text{кон}}$ ) от его начального содержания ( $[P]_{\text{нач}}$ ) (рис. 3).

Кроме того, увеличение обработки на УПК ( $\tau_{\text{УПК}}$ ) и в целом всей внепечной обработки ( $\tau_{\text{внеп.обр}}$ ), включающей в себя еще и обработку на вакууматоре, способствует получению больших значений содержания фосфора в металле после внепечной обработки (рис. 4).

Таким образом, для обеспечения содержания фосфора в готовой стали  $\leq 0,015$  необходимо проводить тщательную отсечку конвертерного

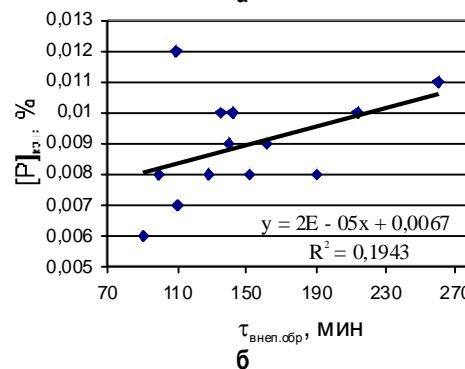
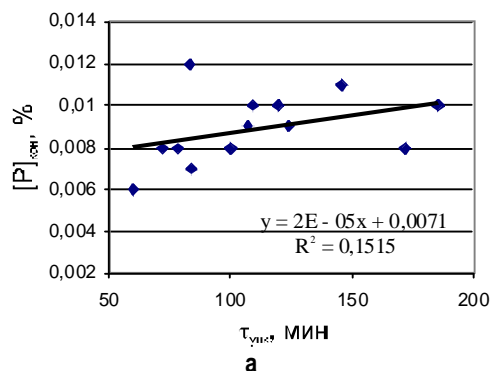


Рис. 4. Влияние продолжительности обработки на УПК ( $\tau_{\text{УПК}}$ ) (а) и всей внепечной обработки ( $\tau_{\text{внеп.обр}}$ ) (б) на содержание фосфора в металле в конце обработки

шлака и иметь в металле в начале обработки на УПК его содержание не выше 0,011...0,012%.

УДК 621.36

В. А. Бигеев, А. Е. Малофеев, А. В. Пантелеев, О. А. Николаев, А. Х. Валиахметов

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДСП НА ДЛИННЫХ ДУГАХ

Главным источником поступления тепловой энергии в рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи является электрическая дуга. Создание оптимальных условий работы дуги является одним из основных вопросов в разработке технологии современной скоростной электроплавки.

Степень усвоения тепловой энергии, передаваемой от электрода металлу, напрямую зависит от толщины слоя шлака (рис. 1). При свободном горении дуги общая степень передачи энергии металлу составляет 36%, если исходить из того, что общее количество остальной излучаемой энергии распределяется между стенкой печи, сводом печи и жидкой ванной (по одной трети). Если дуга наполовину своей длины или полностью погружена в шлак, то излучаемая дугой энергия будет передаваться примерно наполовину или полностью (с учетом теплопроводности шлака) ванне металла. Коэффициент использования энергии составит тогда 65 и 93% [1].

По данным исследований фирмы «VAI FUECKS» для создания наиболее благоприятных условий горения дуги толщина слоя шлака  $H_{\text{шл}}$  должна на 20% перекрывать длину дуги  $L_{\text{дуг}}$  (рис. 2). Это связано, прежде всего, с неравномерностью распределения толщины слоя шлака по ванне металла.

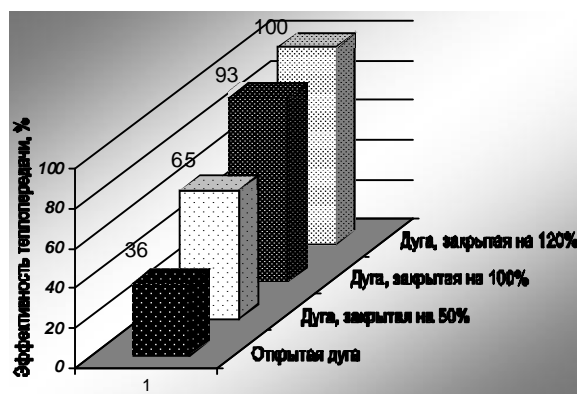


Рис. 1. Влияние высоты слоя шлака на эффективность теплопередачи от электрода ванне



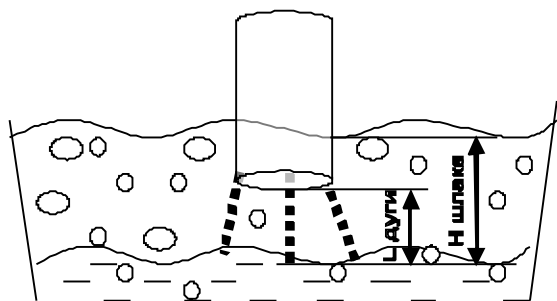


Рис. 2. Наиболее благоприятные условия горения дуги по данным исследований «VAI FUELS»

$$H_{шл} = 1,2 L_{дуг} \quad (1)$$

Длина дуги связана с напряжением  $U_{дуг}$  зависимостью:

$$L_{дуг} = U_{дуг} - 25 \quad (2)$$

Работа на длинных дугах позволит вести шлавку на повышенных ступенях трансформатора. Дуги, погруженные в шлак, горят стабильнее, уменьшаются колебания силы тока и напряжения, что позволяет повысить вводимую в печь мощность примерно на 15% и, следовательно, сократить токовое время и общую продолжительность плавки, уменьшить удельный расход электроэнергии. В результате увеличения длины дуги, а также меньшего бокового расхода при экранировании дуг шлаком снижается расход электродов и износ футеровки. Снижаются уровень шумовыделения печи и помехи в электрические сети. Таким образом, увеличение длины дуги лимитируется толщиной шлака.

Обозначенную толщину шлака необходимо достигать и поддерживать путём его вспенивания, посредством инъекции мелкодисперсного углеродсодержащего материала в струе кислорода с помощью стеновых фурм, манипулятора или фурм, вводимых вручную через рабочее окно. Углерод рекомендуется вдувать в зону ниже уровня раздела шлак–металл для улучшения науглероживания ванны. Вспенивание шлака и устойчивость пены лучше всего обеспечивать интенсификацией ввода кислорода в печь при повышении его расхода до  $50 \text{ м}^3/\text{т}$  и вдуванием угольного порошка при удельном расходе до  $10 \text{ кг}/\text{т}$ . Для устранения закозления торца фурмы через кольцевой зазор вокруг канала подачи угля вдувают дополнительный газ. Идеальным для поддержания шлаков во вспененном состоянии является использование металлизированных окатышей, содержащих углерод и кислород и, что не менее важно, равномерно вводимых в реакционную зону. Вспененный шлак образуется вблизи зоны вдувания углерода. Даже при перемешивании ванны, вызванном электромагнитным эффектом дуг, равно-

мерность распределения вспененного шлака по площади ванны может быть улучшена при соответствующем расположении инжекторов. Это достигается, например, путем вдувания углерода и кислорода с помощью стеновых инжекторов, установленных так, чтобы вспененный шлак образовывался около них и распространялся в зоны, где он обычно не образуется.

Вспенивание шлака происходит при диспергировании в объёме жидкого шлака, выделяющегося из жидкой стали монооксида углерода. Вспененный шлак представляет совокупность пузырьков монооксида и диоксида углерода, разделенных тонкими прослойками шлака. Образование и устойчивость вспененного шлака зависят от физико-химических свойств шлака, от интенсивности и места газовыделения.

Удельный расход энергии при плавке под вспененным шлаком ниже, чем при наличии плохо вспененного шлака, что объясняется лучшей передачей энергии, достигаемой вследствие экранирования дуг, возможностью работы на длинных дугах, частичного нагрева сопротивлением и передачи тепла конвекцией через слой шлака в системе металл–шлак, вводом дополнительного тепла окисления углерода и увеличением степени дожигания монооксида углерода в объёме шлака. Особенно высокая экономия энергии достигается при присадке необожженного доломита, хотя на разложение доломита расходуется энергия. Увеличение расхода энергии на расплавление повышенного объёма шлакообразующих добавок компенсируется положительным энергетическим эффектом оптимальной работы дуги и вспененного шлака. Экономия энергии при плавке стали под вспененным шлаком достигает  $10\text{--}30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$  жидкой стали [1].

Несмотря на отсутствие единого мнения по поводу конкретных математических формул, большинство моделей поведения шлака объединяет использование таких параметров, как вязкость, поверхностное натяжение, плотность, а также средний диаметр пузырьков газа. Принято считать, что эти факторы коррелируют с коэффициентом пенообразования, который выражается чаще всего в секундах и характеризует продолжительность прохождения слоя определенной толщины  $H$  (м) пузырьками вспенивающего газа со скоростью (м/с) и перемещение пузырьков вспенивающего газа [3].

$$\Sigma = H/U \quad (3)$$

Вспенивание шлака пропорционально скорости выделения окиси углерода и среднему времени пребывания пузырей в ванне.

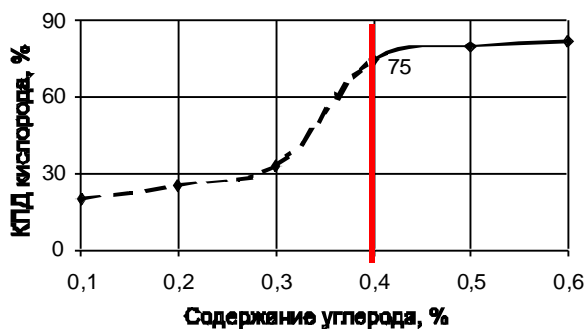


Рис. 3. Зависимость коэффициента полезного действия вдуваемого кислорода на вспенивание от содержания углерода в ванне

Разработано несколько теоретических и эмпирических моделей, в которых коэффициент пенообразования — функция перечисленных параметров, один из вариантов которого [3] представляется зависимостью

$$\Sigma K \cdot \mu / (\rho \cdot \sigma)^{1/2}, \quad (4)$$

где  $K$  — эмпирическая константа, определяемая химическим составом шлака;  $\mu$  — вязкость, Па·с;  $\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  — поверхностное натяжение, Н/м.

Опыт работы дуговых печей показывает, что формирование хорошо вспененного шлака обеспечивается при основности шлака, равной 2,0–2,2, температуре ванны 1550–1580°С, содержании в шлаке около 20–24% FeO и 8–12% Mg, содержании в ванне 0,3–0,5% С. Вспениванию шлака и устойчивости пены благоприятст-

вуют повышенная вязкость шлака, низкое межфазное натяжение, малый размер и большое количество выделяющихся пузырьков монооксида углерода в начальный период плавки.

После выпуска плавки в печи остается часть жидкого металла, содержание углерода в котором обычно меньше 0,03%. Поэтому для оптимизации работы дуги и процесса в целом необходимо ускорить формирование вспененного шлака. Сначала необходимо проводить загрузку углерода, некоторого количества извести и окалины в остаток предыдущей плавки до загрузки первой корзины с металлошихтой либо окалину, известь и углерод загружать на дно первой корзины с шихтой. В результате, несмотря на дополнительное время на науглероживание жидкого остатка, не будет задержки с подводом максимальной электрической мощности.

Кроме того, эффективность передачи теплоты топливно-кислородных горелок при вдувании факела в объем вспененного шлака возрастает с 40 до 70% по сравнению с вдуванием при плоской ванне. То есть работа горелок становится эффективной не только в период плавления, но и в течение всей плавки, что способствует повышению производительности печи и снижению удельного расхода электроэнергии (рис. 3).

Автоматическая система управления плавки ДСП регулирует коэффициент пенообразования в зависимости от состояния защищенности дуги шлаком, которое чаще всего определяется по уровню общих гармонических колебаний дуги (рис. 4).

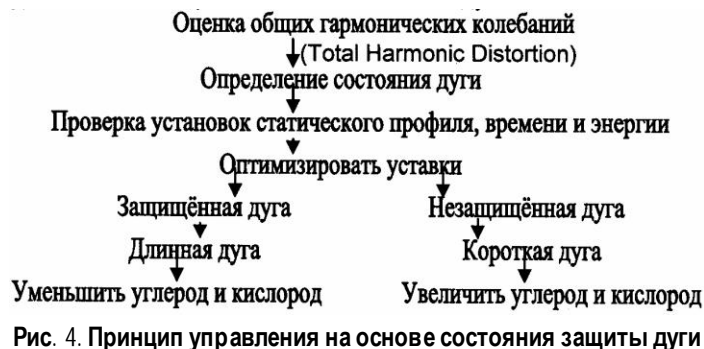


Рис. 4. Принцип управления на основе состояния защиты дуги

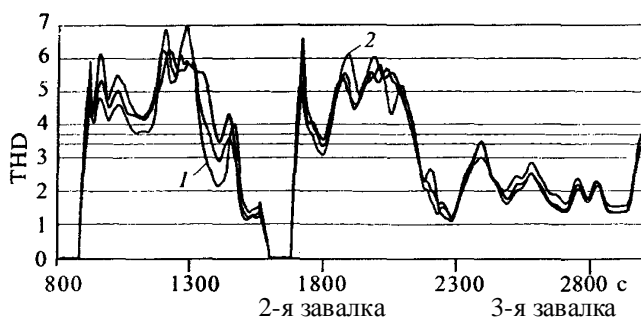


Рис. 5. Корреляция между степенью защиты электродуги и уровнем шума:  
1 — незащищенная дуга; 2 — защищенная дуга

Хотя, в принципе, оперировать толщиной слоя шлака  $H_{шл}$  очень просто, на практике измерить её весьма трудно как в реальной печи, так и в упрощенных условиях лабораторного эксперимента.

Фирмой «Danieli» Automation были проведены несколько успешных испытаний с измерением физических параметров, относящихся к процессу вспенивания шлака. Специально сконструированная аппаратура контролировала сигналы двух типов — электрические и акустические. На основании опыта работы группы «Danieli» на различных предприятиях показано, что акустические сигналы прямо коррелируют с электрическими. Поэтому в дальнейшем будем ограничиваться только такими электрическими сигналами, как общие гармонические колебания (THD) (рис. 5, 6) [3].

Вспенивание шлака прямо влияет только на один металлургический параметр — содержание азота в стали. В настоящее время, ввиду проекта активного строительства трубопроводов для экс-

порта газа из России на восток, появляется потребность выплавки в электропечах трубной стали с содержанием азота до 0,005%, способной выдерживать давление до 250 атм. При контакте атмосферы с дугой идёт ионизация газов и возрастает их активность. Хорошее вспенивание приводит к снижению концентрации азота до уровня около 0,004% в результате лучшей защиты металла от атмосферы печи слоем вспененного шлака в течение всей плавки. Однако в конце плавки происходит неизбежное насыщение азотом ввиду низкого содержания углерода в ванне (до 0,04%) и недостаточного вспенивания шлака (см. рис. 3).

Работа со вспененными шлаками может давать и отрицательные эффекты – выбросы чрезмерно вспененного шлака или его выделение через рабочее окно и электродные отверстия. Кроме того, окисление вдуваемого углерода приводит к увеличению объема образующихся технологических газов в 1,5 раза и их теплосодержания в 2,5 раза, что требует повышения мощности и объемов системы газоотсоса.

В перспективе представляет интерес установление зависимостей между рассмотренными физическими величинами для реализации простого и эффективного управления электрической дугой и процессами вспенивания. Исследования в производственных условиях должны быть нацелены на определение связи между параметрами

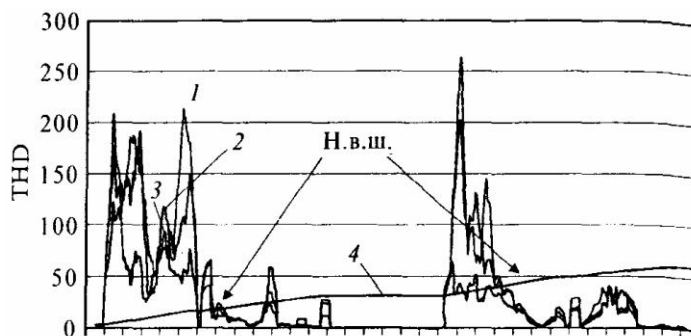


Рис. 6. Уровень стабильности дуги:

1, 2, 3 – приведенная погрешность электрода 1, 2 и 3 соответственно; 4 – энергопотребление; Н.в.ш. – начало вспенивания шлака

ми процесса (длиной дуги, подводимой мощностью, вдуванием кислорода, вдуванием газа и пылевидного угля, изменением температуры) и электрическими сигналами. Результаты будут использованы для динамического управления плавкой, а также для определения простых взаимосвязей электрической дуги со вспениванием шлака (химическим составом шлака, примерной толщиной его слоя, экономией электроэнергии, уменьшением износа огнеупоров, снижением потребления электродов и контролем над содержанием азота). Объединение оптимальных условий горения дуги и вспенивания шлака с другими стратегиями управления процессом плавки, которые уже успешно внедрены в практику, – очередной шаг на пути оптимизации технологии выплавки стали.

#### Библиографический список

1. Поррачин П., Онести Д. Вспенивание шлака // *Электротехнология*. 2005. № 3.
2. Баптизмантий В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса. М.: *Металлургия*, 1975. 367 с.
3. Гроссо А., Миани Ф. Роль вспенивания шлака в оптимизации тепловой работы ДСП // *Сталь*. 2005. № 4.
4. Дюдкин Д.А. Технологические и энергетические аспекты эксплуатации агрегата ковш-печь // *Сталь*. 2005. № 8. С. 30.

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

И. Е. Илларионов, М. Ф. Брялин

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НОВЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ И ПОРОШКООБРАЗНЫХ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ

Изложены теоретические и технологические основы разработки стержневых смесей на основе новых неорганических фосфатных связующих и порошкообразных отвердителей. Приведены составы смесей для внедрения в практику литейного производства.

В настоящее время во многих литейных цехах страны для изготовления стержней в качестве связующих, отверждаемых при тепловой обработке и в холодной оснастке, применяются синтетические смолы и различные их отвердители, обладающие канцерогенностью, токсичностью и высокой газотворной способностью. Из неорганических связующих широкое применение находят жидкое стекло и фосфатные связующие. Однако жидкое стекло обладает низкой термостойкостью и обеспечивает затрудненную выбиваемость и регенерируемость стержней и форм.

Нами проведены исследования по разработке фосфатных связующих и смесей для получения на их основе стержней и форм чугунного и стального литья. В качестве связующих применяли алюмохромфосфатное связующее АХФС

по ТУ 6-18-166-83 (изменение 1), выпускаемое Актюбинским заводом хромовых соединений, и фосфатные системы  $P_2O_5-Al_2O_3-H_2O$ ;  $P_2O_5-MgO-H_2O$ ;  $P_2O_5-Al_2O_3-MgO-H_2O$ . Синтез связующих для получения ХТС проводили путем нейтрализации ортофосфорной кислоты оксидом магния, гидратом оксида алюминия (рис. 1).

Зависимость  $\eta$  и  $\gamma$  разработанных магнийфосфатного и алюмофосфатного связующих в зависимости от содержания фосфорного ангидрида приведена на рис. 2.

Исходя из того, что вязкость жидкой композиции для непрерывных смесителей не должна превышать 100–150 с по ВЗ-4, можно сделать вывод, что на практике могут быть пригодны алюмофосфатное связующее (АФС) с содержанием (мас.ч.)  $P_2O_5$  не более 47,5, магнийфосфатное связующее (МФС) – не более 42 (см. рис. 2), химический состав которых приведен в табл. 1 и 3. Алюмофосфатное связующее (АФС) не обладает достаточно высокой стабильностью при хранении (независимо от состава кристаллизация его и выпадение осадка возникает в течение месяца).

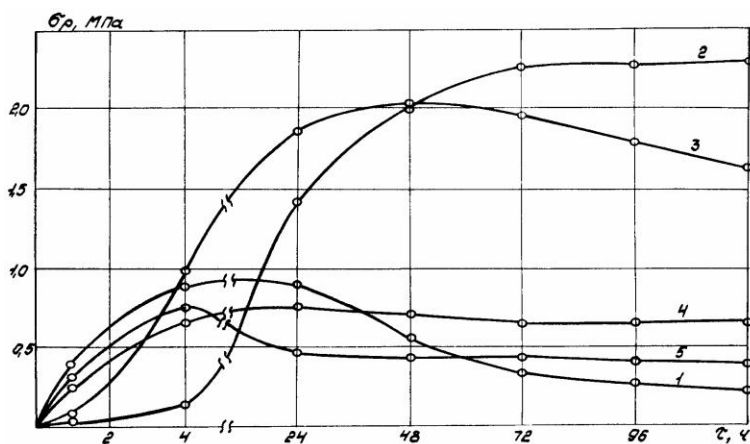


Рис. 1. Изменение прочности образцов ХТС при выдержке на воздухе ( $T=293\text{ K}$ ,  $W=60-70\%$ ) в зависимости от содержания компонентов, %:  
1 –  $H_3PO_4 - 4$ , ОЭСР – 3,5; 2 –  $H_3PO_4 - 4$ , ОЭСРА – 4;  
3 – МАФС – 4, ОЭСРА – 4; 4 – ЦМФС – 4, ОЭСР – 4,0;  
5 – ОФ-3042 – 3,0, БСК – 0,8 и продолжительности выдержки

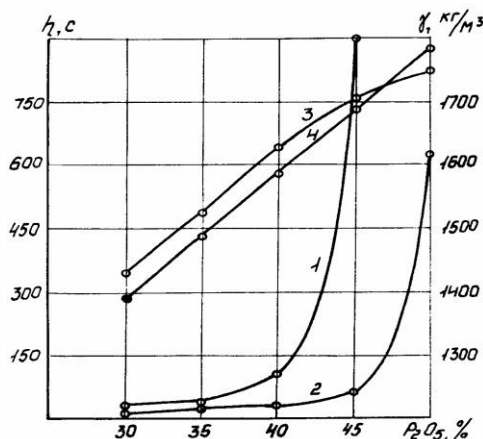


Рис. 2. Влияние содержания фосфорного ангидрида на вязкость и плотность магнийфосфатного (МФС) и алюмофосфатного (АФС) связующих:  
1 – вязкость МФС; 3 – плотность МФС;  
2 – вязкость АФС; 4 – плотность АФС



Таблица 1

Свойства алюмофосфатных связующих

Наименование ингредиентов и физико-химических свойств	Химический состав, мас.ч., и показатели физико-химических свойств в АФС, №				
	1	2	3	4	5
Фосфорный ангидрид	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
Оксид алюминия	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Вода	64,0	58,0	52,0	46,0	40,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1390	1491	1589	1680	1790
Вязкость по ВЗ-4 при 293 К, с	15	17	22	70	630
pH	0,73	0,61	0,42	0,35	0,10

Таблица 3

Свойства магнийфосфатных связующих

Наименование ингредиентов и физико-химических свойств связующего	Химический состав, мас.ч., и показатели физико-химических свойств МФС, №			
	1	2	3	4
0,0	35,0	40,0	45,0	
Оксид магния	7,2	8,5	9,7	10,9
Вода	62,8	56,5	50,3	44,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1430	1490	1630	1750
Вязкость по ВЗ-4 при 293 К, с	15	19	97	900
pH	1,48	1,18	0,95	0,83

Таблица 2

Свойства ХТС на основе алюмофосфатных связующих (см. табл. 1)

Наименование ингредиентов и показатели физико-механических свойств ХТС	Содержание ингредиентов, мас.ч., и показатели физико-механических свойств				
	1	2	3	4	5
Кварцевый песок марки ОбК02А или Б	92,8	92,8	92,8	92,8	92,8
Алюмофосфатное связующее, № 1	3,2	-	-	-	-
2	-	3,2	-	-	-
3	-	-	3,2	-	-
4	-	-	-	3,2	-
5	-	-	-	-	3,2
ОЭСП ПО "ЧЗПТ"	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Живучесть, мин	8	7	6	4	3
Прочность на растяжение, МПа, через ч					
1	0,13	0,13	0,35	0,42	0,22
4	0,26	0,56	0,68	0,96	0,65
24	0,34	0,44	0,51	0,97	0,85
48	0,30	0,35	0,45	0,72	1,00

Таблица 4

Свойства ХТС на основе магнийфосфатных связующих (см. табл. 3)

Наименование ингредиентов и показатели физико-механических свойств ХТС	Содержание ингредиентов, мас.ч., и показатели физико-механических свойств			
	1	2	3	4
Кварцевый песок марки ОбК02А или Б	92,8	92,8	92,8	92,8
Магнийфосфатное связующее, № 1	3,2	-	-	-
2	-	3,2	-	-
3	-	-	3,2	-
4	-	-	-	3,2
ОЭСП* ПО "ЧЗПТ"	4,0	4,0	4,0	4,0
Живучесть, мин	10	8	7	5
Прочность на растяжение, МПа, через ч				
1	0,010	0,05	0,05	0,05
4	0,05	0,10	0,10	0,18
24	0,15	0,19	0,20	0,65
48	0,10	0,15	0,17	0,60

Смеси, приготовленные с его использованием, имеют высокую прочность при повышенных температурах, что значительно затрудняет выбиваемость ХТС. Магнийфосфатное связующее (МФС) с вышелимитированным содержанием фосфорного ангидрида не обладает достаточными связующими способностями, что затрудняет применение его из-за низких прочностных свойств ХТС (табл. 2 и 4).

На рис. 3 приведены экспериментальные данные по изменению водородного показателя pH (кривая 1), плотности  $\gamma$  (кривая 2) и вязкости  $\eta$  (кривая 3) АФС от содержания оксида алюминия.

Отмечается прямолинейный характер снижения pH и повышения плотности АФС с увеличением содержания в связующем  $Al_2O_3$ . При этом плотность АФС практически незначительно увеличивается при росте содержания  $Al_2O_3$  от 6 до 8%. Дальнейшее повышение содержания  $Al_2O_3$  от 8 до 10% приводит к резкому росту вязкости

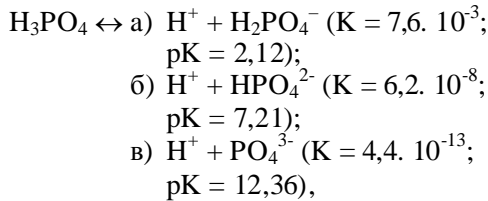
\* ОЭСП ПО "ЧЗПТ" представляет собой мелкодисперсную порошкообразную пыль с удельной поверхностью 250–450 м<sup>2</sup>/кг, в состав которой входят (мас.ч.): оксиды: магния 10–15, кальция 4–6, алюминия 11–13; диоксид кремния 8–10; углерод 0,5–2,0; оксиды Fe<sup>2+</sup> 6–15 и Fe<sup>3+</sup> – остальное.

связующего, что исключает его практическое применение. Однако с повышением содержания  $Al_2O_3$  в АФС наблюдается рост прочностных свойств ХТС (рис. 4) до оптимума (содержание  $Al_2O_3$  9%), затем – снижение прочности на растяжение, что связано с ухудшением смачиваемости минеральных частиц смеси АФС из-за высокой его вязкости и плотности.

Оксид алюминия в алюмофосфатном связующем (АФС) влияет на некоторые свойства этой системы. Например, по мере увеличения содержания оксида алюминия в АФС до 10% обратно пропорционально уменьшается pH (кривая 1) среды (от 0,75 при 6% до 0,1 при 10%  $Al_2O_3$ ), прямо пропорционально увеличивается плотность (кривая 2), соответственно повышается и вязкость (кривая 3) системы (см. рис. 3).

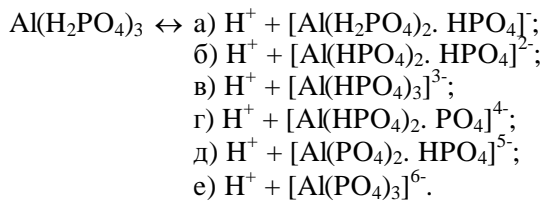
Повышение содержания оксида магния (рис. 5) в МФС приводит к аналогичному увеличению плотности и вязкости (кривые 2 и 3) связующего при снижении pH (кривая 1). Резкое увеличение прочности ХТС на МФС наблюдается лишь при содержании MgO в пределах 9,8–10,5% (см. рис. 5).

Изменение pH среды можно объяснить исходя из процесса диссоциации ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$  и АФС. Ортофосфорная кислота диссоциирует по схеме

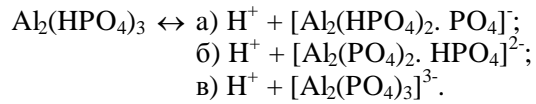


где К и рК – соответственно константа диссоциации и отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации кислот.

Однозамещенное алюмофосфатное связующее (АФС) диссоциирует по схеме



Двухзамещенное АФС диссоциирует по схеме



Трехзамещенное АФС диссоциирует по схеме

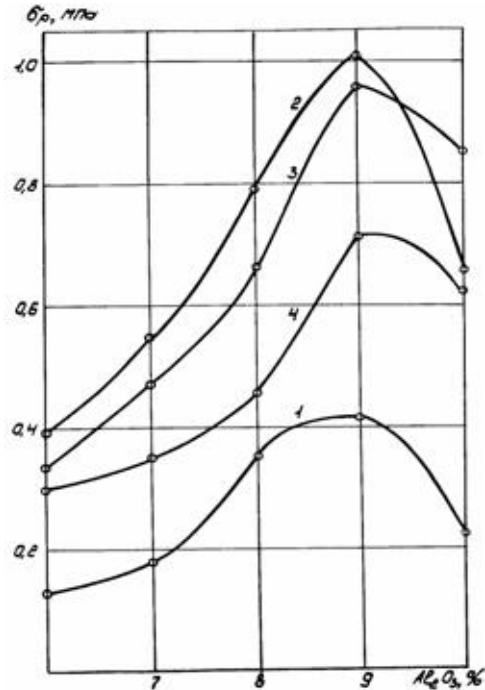
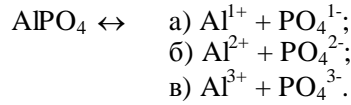


Рис. 4. Изменения прочности ХТС на растяжение от содержания оксида алюминия в АФС и продолжительности выдержки на воздухе, ч: 1 – 1; 2 – 4; 3 – 24; 4 – 48

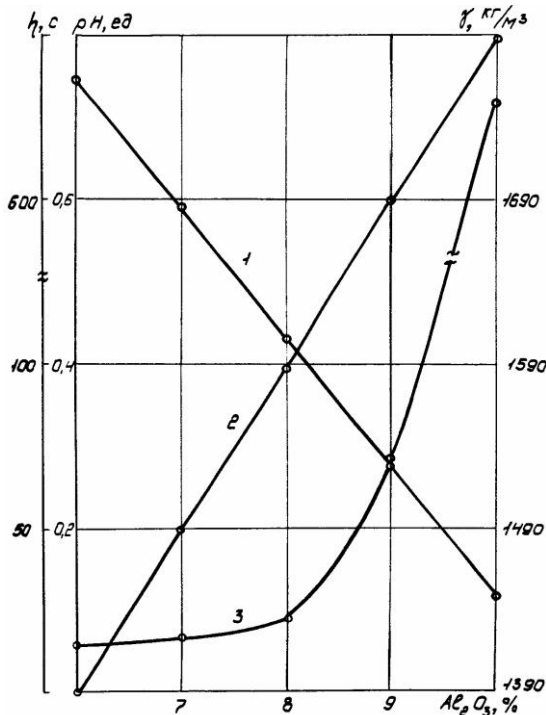


Рис. 3. Влияние содержания оксида алюминия на свойства алюмофосфатного связующего: 1 – водородный показатель; 2 – плотность; 3 – вязкость

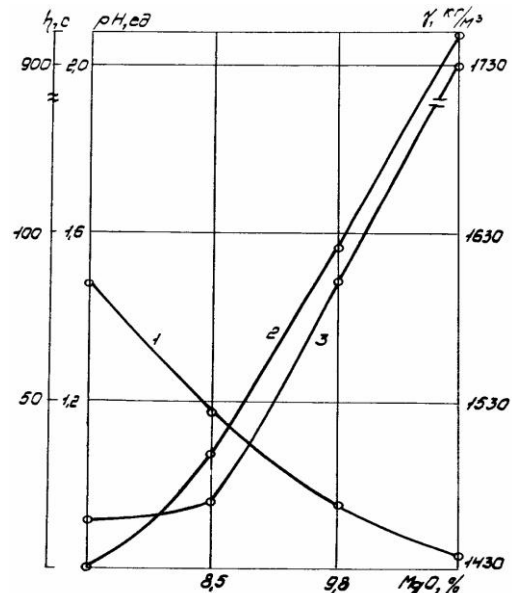
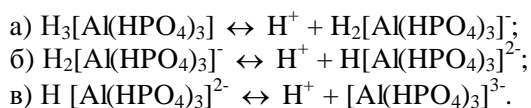


Рис. 5. Зависимость свойств магнийфосфатного связующего от содержания оксида магния: 1 – водородный показатель; 2 – плотность; 3 – вязкость



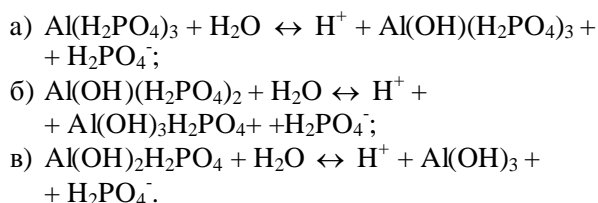
Кроме того, соединение однозамещенного ортофосфата алюминия  $Al(H_2PO_4)_3$ , вероятно, можно рассматривать как комплексное соединение однозамещенного ортофосфата алюминия  $Al(H_2PO_4)_3$ , которое может диссоциировать по следующей схеме:



Из этих данных следует, что для ортофосфорной кислоты, диссоциирующей по трем ступеням, максимальная степень диссоциации соответствует первой степени. Однако степень диссоциации для кислых солей алюминия ортофосфорной кислоты (АФС) должна быть несколько выше по мере замещения атомов водорода на атомы алюминия. При этом константа диссоциации должна быть максимальной для однозамещенных АФС и уменьшаться для 2- и 3-замещенных АФС. В такой же последовательности должен уменьшаться рН АФС, как показатель концентрации ионов водорода с обратным знаком. Из вышеприведенных уравнений видно, что только однозамещенное АФС может диссоциироваться по значительно большим ступеням, чем ортофосфорная кислота, двух- и трехзамещенные соли ортофосфорной кислоты. Отсюда бесспорно, что по мере увеличения содержания оксида алюминия в однозамещенных АФС рН должен уменьшаться и в дальнейшем, в многозамещенных кислых солях ортофосфорной кислоты, рН должен, наоборот, увеличиваться до нейтральной среды для трехзамещенных АФС.

Вязкость и плотность системы должны соответственно увеличиваться по мере повышения содержания алюминия в АФС, так как отношение  $Al^{3+}$  к  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  и  $PO_4^{3-}$  также увеличивается от 0,093 до 0,284 раза.

Однако более значительным является то, что изменение рН среды АФС может находиться в большей зависимости от процесса гидролиза алюмофосфатов, чем от процесса диссоциации. Процесс гидролиза данного фосфата многоступенчатый, и эта соль слабого основания и слабой кислоты к гидролизу подвергается легко по следующей схеме:



Однако указанные механизмы в литературе мало изучены и поэтому изменение рН среды следует изучать и для других, более насыщенных  $Al_2O_3$  фосфатов.

Прочность холоднотвердеющей смеси (ХТС, полученной на основе АФС), отверждаемой отходом (пылью) электросталеплавильного производства (ОЭСП) в зависимости от содержания  $Al_2O_3$  и продолжительности отверждения, изменяется своеобразно (см. рис. 4).

Например, при увеличении его до 9% прочность повышается монотонно, но при содержании в АФС оксида алюминия 10% эта закономерность нарушается. Отсюда следует, что оптимальное содержание  $Al_2O_3$  в АФС, обеспечивающей необходимую вязкость и плотность связующего, не должно превышать 9%.

При выдержке образцов ХТС до 4 ч прочность ХТС возрастает, а затем незначительно снижается, что объясняется переходом фосфатов двухвалентного железа в кислые фосфаты трехвалентного железа.

Аналогичные изменения вязкости, плотности и водородного показателя, а также прочностных свойств ХТС наблюдаются в случае применения магнийфосфатных связующих в зависимости от содержания оксидов магния (см. рис. 5 и 6).

Комбинирование в связующем оксидов алюминия и магния привело к синтезу и разработке магнийалюмофосфатного связующего (МАФС 2ОИК), на которое были разработаны и утверждены технические условия ТУ 6-18-10-11-85. Предлагаемое связующее, содержащее (мас.ч.): 38-42  $P_2O_5$ ; 4,5-5,0  $Al_2O_3$ ; 4,5-5,5  $MgO$ , воду – остальное, сочетает высокую связующую способность и длительную стабильность при хранении. Химическая формула связующего  $Mg_{2,8}Al_2(H_2PO_4)_{12}$ .

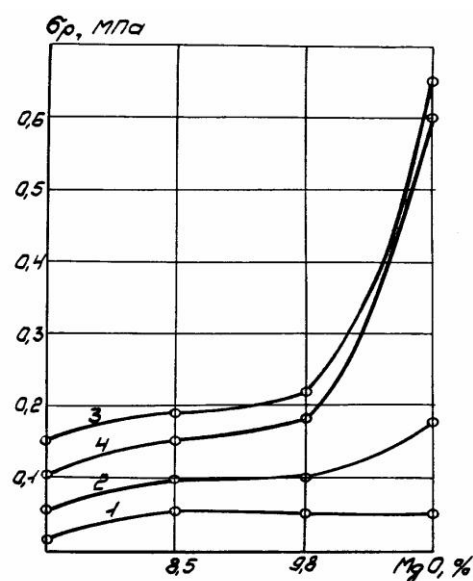


Рис. 6. Влияние содержания оксида магния в магнийфосфатном связующем и продолжительности отверждения ХТС на прочность, через 4ч:  
 1 – 1; 2 – 4; 3 – 24; 4 – 48

Приготовление ХТС проводили путем предварительного перемешивания сухих компонентов (песка и ОЭСП) в течение 2 мин с последующим введением связующих и совместного перемешивания в течение 1,5 мин в смесителе периодического действия марки 018М. Стандартные образцы, приготовленные из полученных смесей, испытывали согласно РТМ2 Н83-31-78 через определенные промежутки времени после выдержки при комнатной температуре. На рис. 5 и 6 приведены свойства МФС и ХТС на их основе.

Отверждение АФС, МФС и МАФС 20ИК успешно проводится порошкообразными отвердителями, содержащими оксиды основных металлов. При этом формирование твердой структуры происходит за счет повышения водородного показателя связующего на 1–1,5 ед., в результате чего начинается формирование твердой фазы, состоящей из кристаллогидратов кислых ортофосфатов магния, алюминия и других ортофосфатов. Повышение рН системы связано со взаимодействием избытка ортофосфатной кислоты в связующем с оксидами основных металлов.

Термографический анализ МАФС 20ИК на приборе “Derivatograph Q-1500” показал, что в исходном состоянии оно состоит из соединений  $Mg(H_2PO_4)_2$  и  $Al(H_2PO_4)_3$ . Возможно также присутствие соединения  $Mg(H_2PO_4)_2 \cdot nH_2O$  и  $MgHPO_4$ .

Экспериментальные данные по изменению физико-механических и технологических свойств ХТС с применением термической ортофосфорной кислоты, АФС и МАФС, отверждаемых ОЭСП и трифолином, приведены в табл. 5 и на рис. 7.

Из табл. 5 видно, что применение АФС и МАФС 20ИК позволяет повысить пластичность ХТС в начальный период отверждения. За меру пластичности принимали деформацию образцов размеров  $170 \times 22,5 \times 22,5$  мм при изгибе, испытанных на приборе № 403 фирмы “Dietert”.

Исследования показали (см. рис. 7), что по сравнению АФС (кривая 2) и  $H_3PO_4$  (кривая 1) наиболее высокие прочностные показатели ХТС обеспечивает магнийалюмофосфатное связующее (кривая 3). В то же время с точки зрения экологичности и техники безопасности целесообразно применение на практике алюмофосфатного и магнийалюмофосфатного связующих, отверждаемых порошкообразными отвердителями (ОЭСП, трифолин, крокус и др.) взамен ортофосфорной кислоты.

Деформация стержней в начальный период отверждения ХТС на АФС и МАФС 20ИК по сравнению с  $H_3PO_4$  повышается соответственно в 2,72 и 6,57 раз, что способствует устранению

Таблица 5

Свойства холоднотвердеющих смесей

Наименование ингредиентов, мас.ч., и физико-механических свойств	Содержание ингредиентов, мас.ч., и показатели физико-механических свойств			
	1	2	3	4
Кварцевый песок марки ОБК02А или Б	93,5	93,5	93,5	93,5
Ортофосфорная кислота термическая $\gamma = 1560 \text{ кг/см}^3$	3,5	–	–	–
Алюмофосфатное связующее $\gamma = 1680 \text{ кг/см}^3$	–	3,5	–	3,5
Магнийфосфатное связующее МАФС 20ИК $\gamma = 1700 \text{ кг/см}^3$	3,0	3,0	3,0	–
ОЭСП по “ЧЗПТ”				
Трифолин по ТУ 6-14-870-83	–	–	–	3,0
Прочность на растяжение, МПа, через ч				
1	0,36	0,44	0,24	0,20
4	0,88	0,96	0,89	0,40
24	0,88	1,00	1,36	0,75
Прочность на изгиб, $\text{Н/м}^2 \cdot 10^4$ , через ч				
0,5	196,20	158,86	98,10	78,48
1,0	372,78	44,94	23,54	19,62
Деформация, мм, через ч				
0,5	0,19	0,51	1,25	0,65
1	0,16	0,40	0,40	0,36
Живучесть, мин	8	10	13	15
Осыпаемость, %	0,1	0,05	0,01	0,04
Газопроницаемость, ед.	173	183	163	173
Газотворность, $\text{см}^3/\text{г}$ , при 1273 К не более	2,2	2,0	2,0	2,0

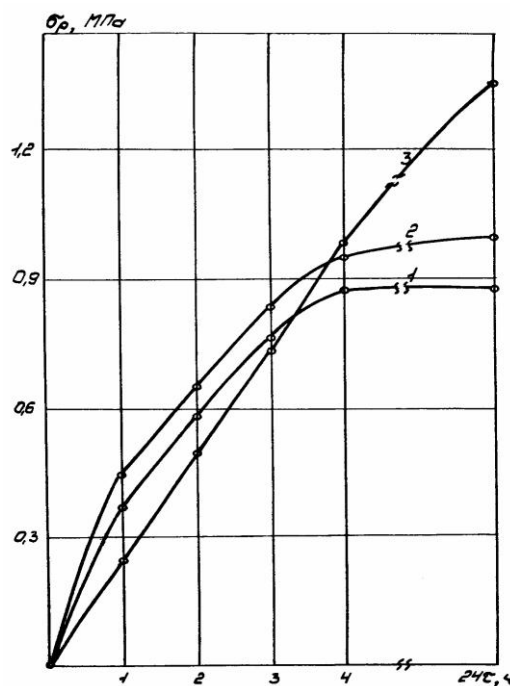


Рис. 7. Зависимость прочности ХТС от продолжительности выдержки и содержания фосфатных связующих: 1 –  $H_3PO_4$ ; 2 – АФС; 3 – МАФС 20ИК

брака стержней при извлечении стержней из стержневого ящика, кантовке и транс портировке. Выполненные исследования позволили разработать оптимальные составы магниалюмофосфатного связующего МАФС 20ИК и порошкообразного отвердителя для получения ХТС с необходимыми физико-механическими и технологическими свойствами. Сравнительные характеристики алюмохромфосфатного АХФС и магниалюмофосфатного МАФС 20ИК связующих приведены в табл. 6.

Для отверждения МАФС 20ИК и АХФС рекомендуется применять порошкообразные отвердители: трифолин – продукт, применяемый для очистки семян в сельском хозяйстве и выпускаемый Кемеровским анилино-красочным заводом, магнизитовый порошок каустической марки ПМК-75, выпускаемый заводом “Магнезит” (г. Сатка) по ГОСТ 1216-75, обладающие стабильностью свойств при хранении и безопасные в процессе применения. Отвердители указанных составов позволяют получать стержни и формы из ХТС с необходимыми физико-механическими и технологическими свойствами.

Представляет интерес исследование возможности применения АХФС и МАФС 20ИК для изготовления стержней, отверждаемых при кратковременной тепловой обработке. В качестве активирующих добавок использовали полиглицерин (ПГ) и глицерин (ГЛ). ПГ является кубовым остатком от дисцилляции синтетического глицерина многотоннажного производства ПО “Каустик” (г. Стерлитамак) и поставляется в виде густой малоподвижной жидкости темно-коричневого цвета плотностью 1320 кг/м<sup>3</sup>. Полиглицерин содержит

(мас.ч.): 4–5 глицерина, 71–75 диглицерина, 4–5 триглицерина, 12–13 тетраглицеринов, 5–6 воды и неорганические примеси – остальное. Глицерин (ГЛ) представляет собой светлую маслянистую жидкость плотностью 1260 кг/м<sup>3</sup>.

С целью изучения прочности стержневых смесей готовили смеси следующих составов (мас.ч.): АХФС или МАФС 20ИК – 3,5 глицерин или полиглицерин – 0,3–1,2, огнеупорный наполнитель (песок марки Об2К02А или Б Балашейского месторождения). Согласно методике сухие составляющие перемешивались в течение 2 мин, а со связующими – 2,5 мин. Приготовление комплексного связующего (фосфатное связующее + глицерин или полиглицерин) проводили путем механического перемешивания их в емкости в течение 5 мин, затем вводили этот состав в смешивающие бегуны и перемешивали с сухими составляющими. После приготовления стандартных образцов на растяжение их выдерживали в сушильном шкафу типа СНОЛ при различной температуре в течение 5, 10, 15 и 20 мин. Результаты экспериментальных данных приведены на рис. 9. Введение полиглицерина (ПГ) способствует повышению прочности на растяжение в 2–3 раза при содержании ПГ 0,6–1,2% и температуре обработки 453–513 К в течение 10 мин (см. рис. 8 и 9). Влияние ПГ существенно заметно с увеличением его содержания от 0,6% и выше (кривые 3, 4, 5, 3', 4', 5', см. рис. 8 и 9). Температура обработки 483 К является оптимальной

Таблица 6

Характеристика фосфатных связующих

Наименование показателей	АХФС	МАФС 20ИК
1. Внешний вид	Вязкая темно-зеленая жидкость	Прозрачная жидкость от бесцветного до серого цвета
2. Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 293 К, с, не более	200–250	Не более 150
3. Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,55–1,65	1,570–1,697
4. Длительность хранения, мес.	До 36	Не ограничена
5. Массовые доли:		
алюминия в пересчете на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	6,5–9,0	4,5–5,0
хрома в пересчете на Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	3,5–4,5	–
соединений фосфора в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	35–39	38–42
магния в пересчете на MgO, %	–	4,5–5,5
формальдегида %	Не более 0,2	–

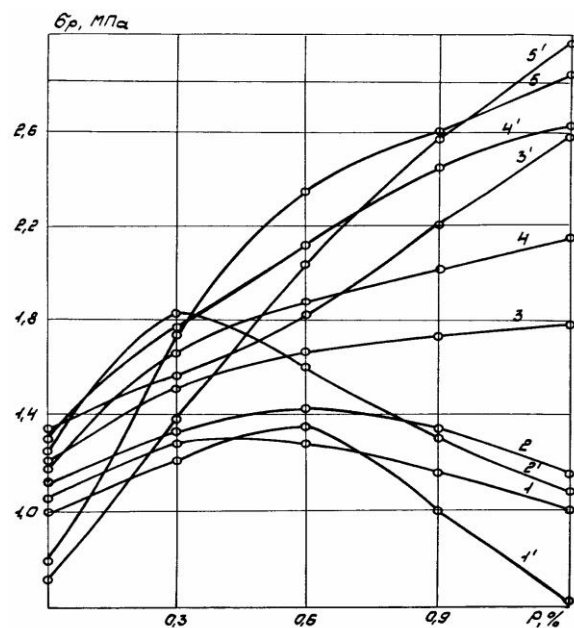


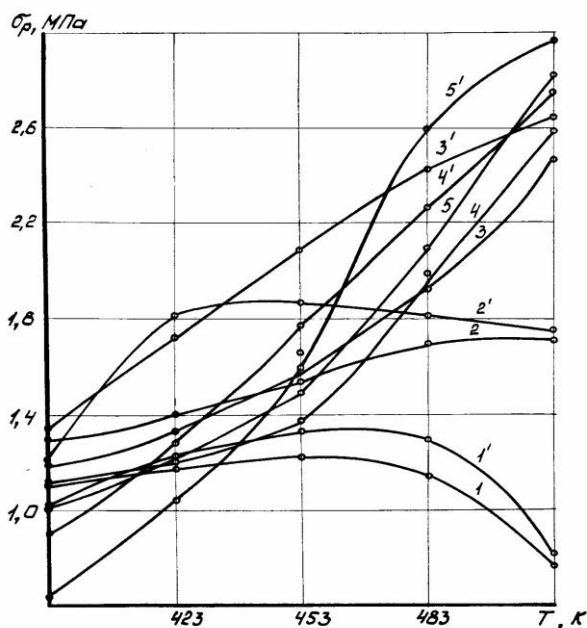
Рис. 8. Зависимость прочности на растяжение фосфатных смесей от содержания полиглицерина и температуры отверждения при 10 мин выдержке в печи: 1 – 393 К, АХФС; 1' – 393 К, МАФС 20ИК; 2 – 423 К, АХФС; 2' – 423 К, МАФС 20ИК; 3 – 453 К, АХФС; 3' – 453 К, МАФС 20ИК; 4 – 483 К, АХФС; 4' – 483 К, МАФС 20ИК; 5 – 513 К, АХФС; 5' – 513 К, МАФС 20ИК



для смесей на основе как АХФС (кривые 3, 4, 5), так и МАФС 20ИК (кривые 3', 4', 5', см. рис. 8 и 9). Увеличение содержания ПГ в смеси требует повышения температуры прогрева смеси и времени их выдержки при заданной температуре, что связано с увеличением влажности смеси. При этом достигается получение стержней с прочностью на растяжение 2,6–3,0 МПа (кривые 3, 4, 5 и 3', 4', 5', см. рис. 8 и 9) при содержании ПГ в количестве 0,9–1,2%. В этом случае необходимое время тепловой обработки образцов достигает 20 мин. Снижение продолжительности термической обработки достигается при повышении температуры отверждения до 513 К.

При температуре прогрева 393 К для смесей со связующим АХФС и МАФС 20ИК и добавке ПГ от 0,1 до 0,6% наблюдается повышение прочности, а дальнейшее увеличение добавки ПГ до 1,2% приводит к снижению прочностных свойств (кривые 1 и 1', см. рис. 9). При температуре обработки 423 К и содержании 0,3% ПГ наблюдается заметное повышение прочности (кривые 2 и 2', см. рис. 9). Однако температура прогрева 423 К недостаточна для смесей, содержащих ПГ свыше 0,3%, ибо при этом происходит снижение прочностных свойств.

Влияние температуры отверждения фосфатных смесей, содержащих ПГ, при их выдержке в печи в течение 10 мин наглядно отражено на рис. 9. Видно, что для смесей, на содержащих ПГ,

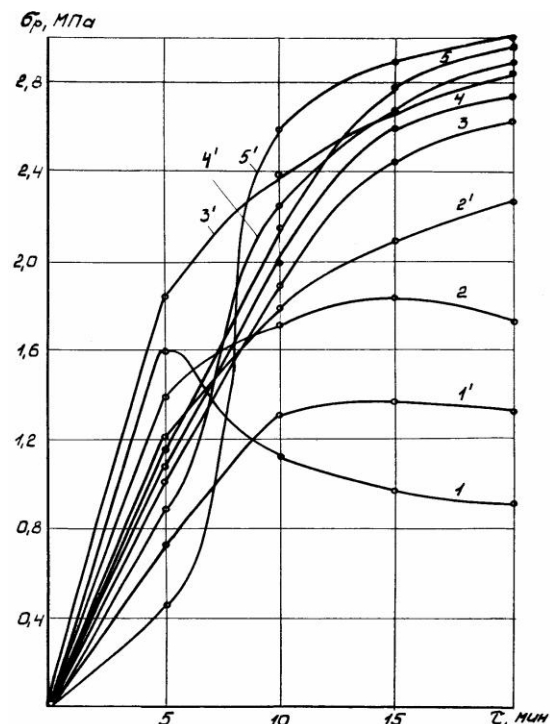


**Рис. 9. Влияние температуры отверждения фосфатных смесей, содержащих полиглицерин, при их выдержке в печи в течение 10 мин на прочность:**  
 1 – АХФС, без ПГ; 1' – МАФС 20ИК, без ПГ; 2 – АХФС, без ПГ; 2' – МАФС 20ИК, без ПГ; 3 – АХФС, без ПГ; 3' – МАФС 20ИК, без ПГ; 4 – АХФС, 0,9% ПГ; 4' – МАФС 20ИК, 0,9% ПГ; 5 – АХФС, 1,2% ПГ; 5' – МАФС 20ИК, 1,2% ПГ

температура обработки не должна превышать 483 К (кривые 1 и 1', см. рис. 9). Чем выше содержание ПГ в смеси, тем заметнее увеличение прочностных свойств, тем выше должна быть и температура прогрева смеси (кривые 2, 3, 4, 5 и 2', 3', 4', 5', см. рис. 9). При этом значительное влияние на изменение прочности оказывает продолжительность выдержки образцов смеси при заданной температуре (рис. 10). Например, для смеси с АХФС без добавки ПГ оптимальное время выдержки составляет 5–10 мин (кривая 1, см. рис. 10).

Аналогичные результаты повышения прочностных свойств наблюдаются при активации АХФС и МАФС 20ИК глицерином. Однако максимальные результаты повышения прочности при содержании в смеси глицерина в количестве 0,3–1,2% достигается лишь до 1,6–1,8 МПа. Такой результат на 30–40% ниже, чем в случае применения ПГ, а это связано с структурой и химическим составом применяемых добавок. В случае, когда в смесях с АХФС и МАФС 20ИК отсутствует глицерин или полиглицерин, прочность образцов на растяжение при таких же режимах термической обработки составляет 1,2–1,3 МПа, которая вполне удовлетворяет условиям получения средних и крупных стержней для чугунного и стального литья.

Приведенные данные (см. рис. 8–10) показы-



**Рис. 10. Зависимость прочности фосфатных смесей от продолжительности их выдержки в печи при температуре 483 К:**  
 1 – АХФС, без ПГ; 1' – МАФС 20ИК, без ПГ; 2 – АХФС, 0,3% ПГ; 2' – МАФС 20ИК, 0,3% ПГ; 3 – АХФС, 0,6% ПГ; 3' – МАФС 20ИК, 0,6% ПГ; 4 – АХФС, 0,9% ПГ; 4' – МАФС 20ИК, 0,9% ПГ; 5 – АХФС, 1,2% ПГ; 5' – МАФС 20ИК, 1,2% ПГ

вают, что активация фосфатных связующих органическими добавками, как глицерин и полиглицерин, способствует существенному повышению прочностных свойств и позволяет значительно расширить область применения фосфатных смесей. Варьируя количеством активирующей добавки, продолжительностью и температурой термической обработки можно получать стержни с заранее запланированными свойствами. У вышеуказанных смесей живучесть составляет 40–60 мин, газопроницаемость – не менее 250 ед., прочность на сжатие во влажном состоянии – не более 0,01 МПа.

Влияние температуры обработки и продолжительности выдержки стержневых смесей на основе фосфатных связующих обусловлено усилением диффузии последних к внутренним слоям зерен наполнителя через слой новообразований между связующим и наполнителем, что приводит к повышению прочности смеси. Увеличение прочности смеси на фосфатных связующих возможно тогда, когда скорость роста температуры при сушке стержней не превышает определенную величину, при которой сохраняется соотношение между скоростями химической реакции и структурообразования.

При температуре выше 373 К происходит удаление воды, образуются конденсированные аморфные фосфаты, чем и обусловлено резкое возрастание прочности смеси. Результаты рентгенофазового анализа (на приборе ДРОН-2) продуктов отверждения на основе АХФС при различных температурах показали, что они при взаимодействии АХФС с наполнителем имеют, в основном, аморфный характер.

Фосфатные связующие, в том числе АХФС и МАФС 20ИК, уже в исходном состоянии обладают клеящими способностями, дополнительно и возможностью пленкообразования. Следовательно, МАФС 20ИК и АХФС можно рассматривать в качестве неорганических полимеров, отверждающихся при относительно невысокой температуре (423–523) с образованием аморфных и кристаллических структур. Естественно, наличие такого связующего в стержневой или формовочной смеси в чистом виде или совмещенного с органической композицией придает смеси новые, более высокие физико-механические свойства.

Для изучения процессов, происходящих при отверждении фосфатных стержневых смесей с полиглицерином, провели термографические и ИК-спектрометрические исследования образцов смесей, содержащих 3,5% связующего и 0,7% поли-

глицерина. Установлено (рис. 11), что на кривой ДТА в области интервала температур 373–541 К просматриваются два пика, один из них отвечает эндотермическому эффекту, другой – экзотермическому. Из анализа формы эндотермического пика видно, что в нем имеются две точки перегиба. Это однозначно указывает на то, что в данном температурном интервале 373–541 К (температура, соответствующая эндотермическому пику) протекают три перекрывающихся эндотермических процесса. Первый эндотермический процесс происходит в температурном интервале 373–408 К, второй – 408–437 К, третий – 437–486 К. Температурный интервал, равный 484–541 К, соответствует экзотермическому эффекту. Из анализа кривой ДТГ в температурном интервале 373–541 К видно, что потеря массы исследуемого образца происходит за счет четырех процессов (три эндотермических и один экзотермический), максимальная скорость потери массы которых происходит при температурах 381, 423, 479 и 538 К. При этом процент потери массы соответствует при эндотермическом эффекте 33,5, при экзотермическом эффекте теряется 18,0, при втором – 4,5, при третьем – 11 от общей потери массы образца, которая составляет 40%. Приведенный выше анализ показывает, что первый эндотермический пик соответствует удалению несвязанной воды из раствора (10%), максимальная ее потеря происходит при 381 К. Второй эндотермический пик соответствует уходу кристаллогидратной воды, при 423 К происходит максимальная

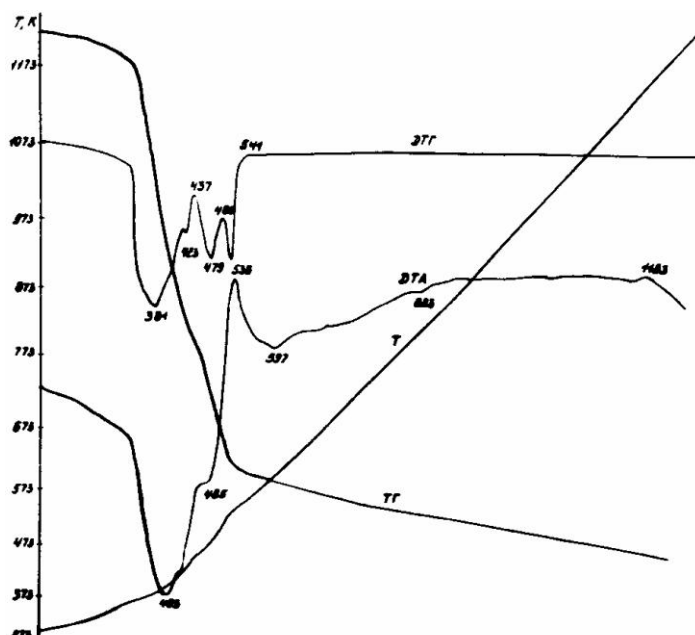


Рис. 11. Термограммы алюмохромфосфатного связующего с ПГ: ДТГ – кривая дифференциально-термогравиметрического анализа (скорость изменения массы образца); ДТА – кривая дифференциально-термического анализа (кривая изменения энтальпии связующего); Т – кривая изменения температуры образца; ТГ – термогравиметрическая кривая (изменение массы образца)

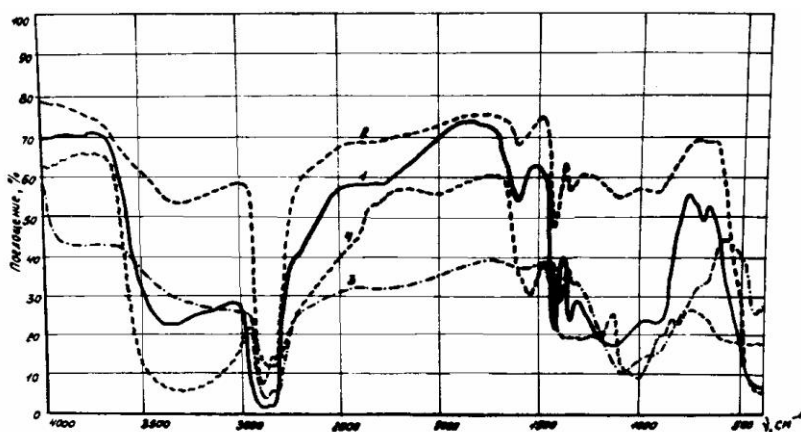


Рис. 12. Инфракрасные спектры поглощения связующих, записанные в интервале волновых чисел 4000–400 см<sup>-1</sup> на инфракрасном спектрометре "Specord-75 JR":

- 1 – алюмохромфосфатное связующее; 2 – магнийалюмофосфатное связующее; 3 – алюмохромфосфатнополиглицериновое связующее; 4 – полиглицерин

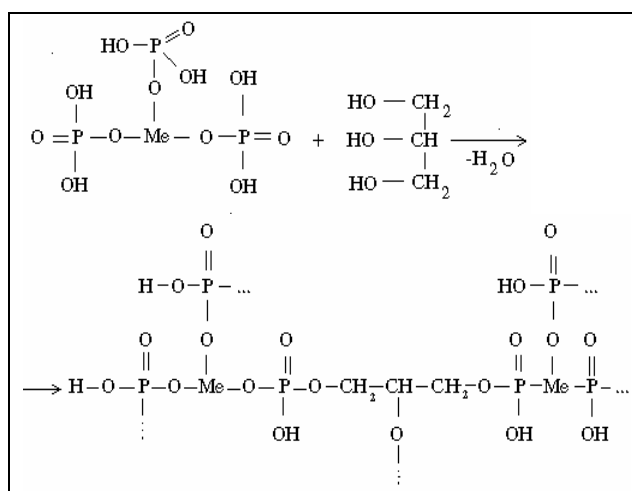
ее потеря (4,5%). Третий эндотермический пик свидетельствует о происходящей реакции этерификации. В этом случае максимальная скорость потери массы (11%) наблюдается в области температуры, равной 479 К. Четвертый, эндотермический эффект однозначно указывает на переход в аморфную фазу, происходящий также с выделением воды с максимальной скоростью при температуре 538 К. В этом случае теряется 6,5% массы от общей потери ее образцом.

В том случае, когда ПГ выступает в роли пластификатора на ИК-спектре, мы видим интенсивную широкую полосу поглощения валентных колебаний гидроксильных групп ПГ или ГЛ в области 3200–3400 см<sup>-1</sup>, участвующую в межмолекулярных водородных связях в полиассоциатах, и широкую, но менее интенсивную полосу поглощения валентных колебаний также гидроксильной группировки Р–О–Н фрагмента, участвующую в водородных связях в области 2500–2700 см<sup>-1</sup>. ИК-спектрометрические исследования проводили на приборе "Specord-75JR" (рис. 12).

В случае прохождения реакции этерификации на ИК-спектре наблюдается уменьшение интенсивности полос поглощения гидроксильных групп

пировок ПГ или ГЛ и Р–О–Н фрагмента в соответствующих областях. Но явно просматривается увеличение интенсивности полосы поглощения в области 1050–990 см<sup>-1</sup>, что соответствует Р–О–С (АСК) радикалу и однозначно указывает на протекание реакции этерификации с отщеплением Н<sub>2</sub>О.

Исходя из вероятности строения фосфатного связующего и ПГ и из сведений, полученных с помощью ИК-спектроскопии и термографических исследований, можно предложить следующую схему процесса отверждения смеси на основе фосфатного связующего, активированного ПГ:



В результате реакции этерификации между многоатомными спиртами жирного ряда и фосфатным связующим образуется пространственный сшитый полимер разветвленного строения, что и приводит к повышению прочности смесей.

Получение отливок высокого качества зависит не только от прочности смесей, но и от поведения смесей при контакте их с жидким металлом.

Для оценки сопротивляемости смеси тепловому и механическому воздействию расплава изучали термостойкость разработанных смесей при 1273 К и нагрузке до 0,51 МПа. Высокотемпературные испытания проводили при температуре 1273 К, исходя из того, что интенсивность нагрева образца смеси в этом случае согласуется с условиями нагрева поверхностного слоя стержней чугунных и стальных отливок с толщиной стенок до 50 мм. Образец устанавливается между двумя огне-

Составы стержневых смесей

№ п/п	Составляющие смеси, мас.ч.							
	Песок кварцевый обогащенный марки ОБК02А	АХФС по ТУ 6-18-166-83	Крахмалит по ТУ 18 РСФСР 462-77	Полиглицерин	ЛСТ по ОСТ 13-183-83	КО по ОСТ 13-01326-83	Огнеупорная глина марки НУ-1	Глицерин
1	100,0	3,5	1,0	0,7	-	-	-	-
2	100,0	3,5	1,0	-	-	-	-	-
3	100,0	-	-	-	3,0	2,0	1,5	-
4	100,0	3,5	-	-	-	-	-	-
5	100,0	3,5	-	-	-	-	-	0,5



Холоднотвердеющие смеси

№ п/п	Составляющие смеси, мас.ч.								
	Песок кварцевый марки ОБК02А	Смола СФ-3042 с добавкой 0,3 мас.ч. силана АГМ-9	75%-ный раствор БСК в 2,5%-ном растворе поливинилбутирального лака	МАФС 20ИК ТУ 6-18-10-11-85	Оксид магния	Н <sub>3</sub> Р <sub>0</sub> <sub>4</sub> γ=1,61 г/см <sup>3</sup>	Крокус ТУ 6-14-483-83	Жидкое стекло М=2,5 γ=1,42 г/см <sup>3</sup>	ОЭСП ПО "ЧЗПТ"
1.	100,0	1,8	0,7	-	-	-	-	-	-
2.	100,0	-	-	3,5	0,5	-	-	-	4,5
3.	100,0	-	-	3,5	0,5	-	-	-	3,0
4.	100,0	-	-	-	-	4,0	5,0	-	-
5.	100,0	-	-	-	-	-	-	4,5	-

\* Отверждено продувкой СО<sub>2</sub>.

упорными прокладками и вводят в нагретую до 1273 К печь. Время от ввода образца в печь до приложения нагрузки 245 кПа составляет 8–10 с. Испытания смесей проводили на dilatометре фирмы "Dieterl" (табл. 7). Оценивали смеси, отверждаемые при тепловой обработке.

Результаты dilatометрических исследований смесей приведены на рис. 13, а и б. Поддерживая исходную нагрузку 245 кПа при 1273 К, измеряли абсолютное изменение высоты столбика смеси. Предварительно образцы смесей 1 и 2 сушили при 473 К в течение 0,5 ч, смеси 3 – при 473 К в течение 1,5 ч; смеси 4 – при 473 К в течение 0,5 ч; смеси 5 – при 453 К в течение 1 ч.

Видно (см. рис. 13, а), что разрушение смеси на органических связующих ЛСТ и КО (кривая 3) носит хрупкий характер. Смесей, приготовленных на основе АХФС, активированного ПГ (кривая 1) и глицерином (кривая 5), по термостойкости не уступают смесям (кривые 2, 3, 4), применяемым в массовом производстве для изготовления чугуновых и стальных отливок. Кроме того, активация АХФС ПГ снижает положительную величину деформации смеси при высокой температуре и тем самым не приведет к возникновению термических напряжений.

На рис. 13, б приведены результаты высокотемпературных испытаний ХТС (табл. 8).

Как видим (см. рис. 13, б), ХТС составов 1 и 3 имеют хрупкий характер разрушения. При этом образцы смеси 1 разрушаются в течение 165 с, а смесь 3 имеет величину относительного расширения 1,65% и выдерживает температуру 1273 К в течение 1500 с, что в 9 раз выше, чем у ХТС на смоле СФ-3042, активированной силаном АГМ-9. Одновременно величина относительного расширения смеси 1 в два раза ниже, чем у ХТС на свя-

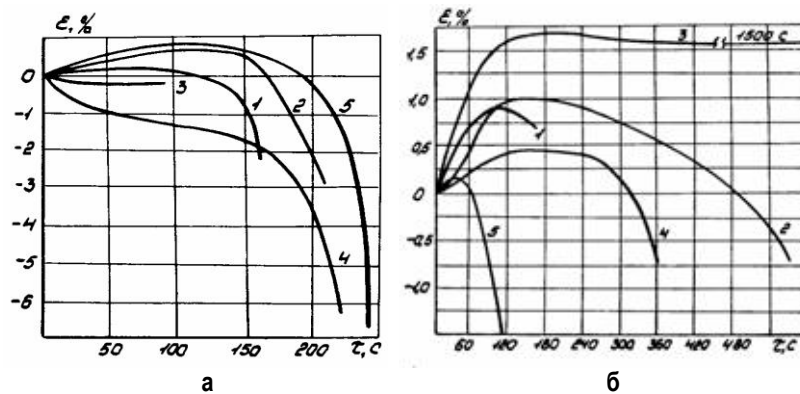


Рис. 13. Высокотемпературные деформации (E) стержневых смесей при 1273 К и нагрузке 245 КПа:

а – отверждаемых при тепловой обработке; б – холоднотвердеющих смесей

зующем МАФС 20ИК (смесь 3). Низкие величины относительной деформации (+ε) и термостойкости смесей (с) на практике приводят к растрескиванию стержней и заполнению трещин жидким металлом в процессе формирования поверхности отливок. В то же время смесь 3 имеет высокую степень деформации и термостойкости, что на практике обеспечивает чистую поверхность отливок из чугуна и стали.

Исследования ХТС показали, что наименьшую термостойкость имеет смесь 5 на основе жидкого стекла (кривая 5, см. рис. 13, б). Она размягчается при 1273 К в течение 105 с, что может привести к искажению геометрии изготовляемых отливок и затрудненной выбиваемости стержней. В подтверждение высказанных предположений заливали технологические пробы сталью 30Л при температуре 1853 К. Просечки наблюдались со стороны стержня из смеси 1, искажение геометрии – со стороны стержня из смеси 5 (жидкое стекло).

Одновременно проводили изготовление облицовочного слоя ХТС указанных составов для крупных форм. Испытания показали пригодность данной технологии для изготовления средних и крупных стержней и получения облицовочного слоя форм для чугунового и стального литья.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ПУТЕМ РАФИНИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ СТАЛЕЙ**

Наличие избыточных мощностей приводит к острой конкуренции среди литейных предприятий России, многие из которых имеют устаревшие технологии и оборудование и не могут производить высококачественное литье. Это обуславливает поиск новых технологических решений по совершенствованию технологии, в первую очередь получения качественных расплавов сталей для отливок с высокими служебными и эксплуатационными свойствами. Это позволит удовлетворить требования заказчика и сделать отливки востребованными на рынке.

В настоящее время в литейных цехах предпочтительно производить отливки из легированных и высоколегированных сталей со специальными свойствами, потребность в которых в последнее время резко возрастает, особенно на горно-добывающих, металлургических, нефтехимических предприятиях.

Основная сложность заключается в том, что в литейных цехах выплавляются небольшие объемы таких сталей, и кардинальное решение вопроса повышения качества за счет внедрения дорогостоящего оборудования (вакууматоры, агрегат печь-ковш и т.п.) нецелесообразно. Использование таких агрегатов резко повышает стоимость получаемых отливок и приводит к длительным срокам окупаемости вложений.

В этой связи актуальной проблемой становится применение такой внепечной обработки, которая может сводиться к использованию недорогих и сравнительно простых в эксплуатации методов и способов, позволяющих без больших капитальных затрат получать качественную сталь и необходимые свойства отливок.

Целью настоящей работы являлось повышение эксплуатационных свойств отливок за счет совершенствования процессов рафинирования и модифицирования расплавов сталей марок 35ФЛ, 40ХН2МЛ, 40Х24Н12СЛ, 110Г13Л, Ст.3, 25Х1М1ФЛ.

Экспериментальные и промышленные стали выплавляли в индукционной тигельной печи ИСТ-006 емкостью 0,06 т, дуговой электропечи ДСП-6М емкостью 6 т и мартеновской печи емкостью 25 т. В качестве шихтовых использовали материалы в соответствии с ГОСТами.

Химический анализ сталей определяли спектральным методом ГОСТ 18895-97 на спектрометре OBLF QSN 750, который обладает высокой скоростью анализа. Специально отобранные пробы имеют высокое качество подготовки и

гарантируют стабильные условия анализа. Содержание углерода определяли на анализаторе АН-7529, а концентрации других элементов – методами объемно-абсорбционного, фотометрического, эмиссионного, спектрального и химического анализов. Концентрацию кислорода определяли на анализаторе "Мономат-301" методом плавления в токе аргона по поглощению инфракрасного излучения, а азота – на анализаторе "Динимат-401" плавлением в токе гелия по теплопроводности. Содержание водорода определяли по ГОСТ 17745-72 на эксхалографе ЕА-1 фирмы «Бальцерс».

Коэффициент относительной износостойкости сталей ( $K_{и}$ ) определяли по ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы». В качестве эталона использовали образец из отожженной стали 45 с твердостью 190 НВ. В качестве абразивного материала применяли электрокорунд зернистостью N16-II по ГОСТ 3647-71 с относительным содержанием влаги не более 0,15%.

Определение показателей механических свойств проводили с использованием стандартных методик: испытания на растяжения по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9651-84, на ударный изгиб по ГОСТ 9454-78, твердость по Бринеллю по ГОСТ 9012-59 на приборе 21009ТБ, твердость по Роквеллу по ГОСТ 9013-59 на приборе ТР5006.

Жидкотекучесть определяли при помощи пробы со спиральным каналом по ГОСТ 16438-70.

Металлографическое изучение микроструктуры сплавов проводили на оптических микроскопах ММУ-2, "Неофот-21", "Эпиквант", "Эпитип-2" при увеличении от 50 до 1000 крат. Для травления использовали 4%-ный спиртовой раствор азотной кислоты, реактивы Марбле, Мураками, Гросбека (цветное травление). Микрофрактографическое исследование поверхностей разрушения ударных образцов осуществляли с помощью растровых электронных микроскопов с приставками "Камебак", "Филипс", "ISM-U3" и электронного микроскопа Tesla BS613 при увеличении до 50000 крат.

Изучено влияние содержания углерода в стали по расплавлению на длительность периода доводки и установлено, что слишком малые его концентрации приводят к снижению производительности печи, ухудшают условия протекания рафи-

нирования и, следовательно, качество металла.

Для получения избыточного содержания углерода в стали по расплавлению 0,5–0,8% в условиях резкого роста цены на чугун предложена и внедрена технология выплавки с применением коксовой мелочи в завалку, позволяющая снизить затраты на шихтовку плавки и повысить производительность печей. Отработана технология завалки коксика под мелкий металлический лом и загрузки в середину шихты известняка вместо извести. Избыточный углерод привел к соблюдению регламента доводки, проведению чистого кипения металла и получению шлака с высокой основностью. При этом было выявлено некоторое увеличение содержания серы в стали по расплавлению, но производительность при этом не снизилась.

Исследовано влияние серы в металле по расплавлению на ее содержание в конечном металле и количество удаленной серы за доводку. Высокое содержание серы в стали по расплавлению приводит к удлинению доводки и зачастую не позволяет получать ее низкие концентрации в конечном металле. Установлено, что в плавках с высоким углеродом в металле условия для удаления серы более благоприятные, т.к. есть возможность навести шлак и удалить его из печи. При заниженном содержании углерода в период расплавления, несмотря на большую длительность доводки, удаление серы затруднено, и нередко сопровождается ее повышением из-за присадок в сталь науглероживателей с высоким содержанием серы.

В доводку удается снизить содержание серы в металле на 0,003–0,010%, а чтобы получить более низкое ее содержание, рафинирование проводят вне печи. В работе исследована и разработана технология обработки стали при подаче в ковш щелочноземельных и редкоземельных металлов в виде комплексных лигатур либо в смеси со шлакообразующими материалами.

При проведении промышленных экспериментов по десульфурации стали в ковше в качестве материала, содержащего ЦЗМ и РЗМ, использовали лигатуру ЖКМК-ЗР (ТУ 14-5-39-74) следующего состава, %: 38,5 Si; 11,0 Ca; 9,0 Mg; 10,3  $\Sigma$ РЗМ; остальное железо.

Исследования проводили на 50 плавках стали различных марок. Сталь марки 40ХН2МЛ выплавляли в мартеновской печи емкостью 25 т, стали марок 35Л, 35ФЛ, 35ХМЛ – в дуговой печи емкостью 6 т. Металл плавил по общепринятой цеховой технологии.

Одновременный ввод в расплав ЦЗМ и РЗМ приводит к эффективному раскислению, десульфурации и модифицированию стали. При этом достигается большая степень усвоения вводимых элементов и повышается эффективность процесса десульфурации и очищения металла от неметаллических включений, ассимилируемых жидкоподвижным шлаком.

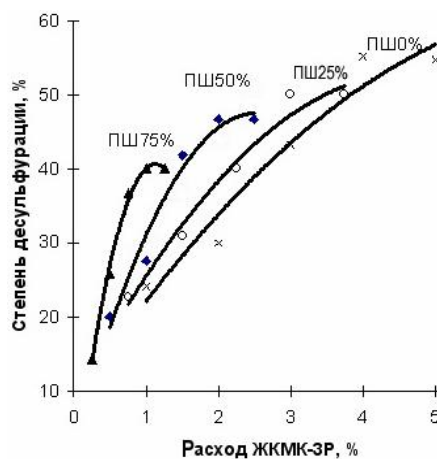


Рис. 1. Зависимость степени десульфурации стали 40ХН2МЛ при внепечной обработке смесью ЖКМК-ЗР при различном содержании плавикового шпата в смеси

Для повышения степени усвоения лигатуры ЖКМК-ЗР и получения жидкоподвижного легкоплавкого шлака ее давали в виде механической смеси с плавиковым шпатом ( $\text{CaF}_2$ ). Фракция компонентов смеси составляла 5–10 мм. Присадку проводили при наполнении ковша сталью на 1/10... 1/6 часть по высоте. Температура металла в печи перед выпуском составляла 1600°C. Количество вводимой смеси изменялось в пределах от 1 до 5 кг на тонну жидкой стали. Зависимость степени десульфурации металла от расхода ЖКМК-ЗР при различных расходах  $\text{CaF}_2$  показана на рис. 1.

Увеличение доли плавикового шпата в смеси даже при малых расходах лигатуры приводит к большей степени десульфурации (почти в 1,5 раза), чем при обработке одной лигатурой без шпата. Такая же степень десульфурации, как с использованием 75% плавикового шпата в смеси, достигается при расходе ЖКМК-ЗР без шпата лишь при трехкратном повышении расхода лигатуры.

Обработка лигатурами существенно снижает загрязненность стали неметаллическими включениями (рис. 2). Но при ее расходе свыше 2% дальнейшего снижения индекса загрязненности не происходит, а малые расходы лигатуры заметно снижают его.

Из рис. 3 видно, что степень десульфурации растет с увеличением расхода ЖКМК-ЗР, причем во всех случаях отмечается замедление роста при повышенных расходах шлаковой смеси. Характерно то, что величина свободного члена в уравнениях регрессии первой степени для всех случаев составляет значительную величину 24,5–29,4%. Отмечено положительное влияние добавок плавикового шпата на степень десульфурации. Коэффициент угла наклона прямых возрастает на 7,4% при повышении расхода  $\text{CaF}_2$  на 25% в составе смеси. Отсюда можно заключить, что расход модификатора не должен быть более 2% и выгодно применять шлаковые смеси с содержанием  $\text{CaF}_2$  не ниже 50%.

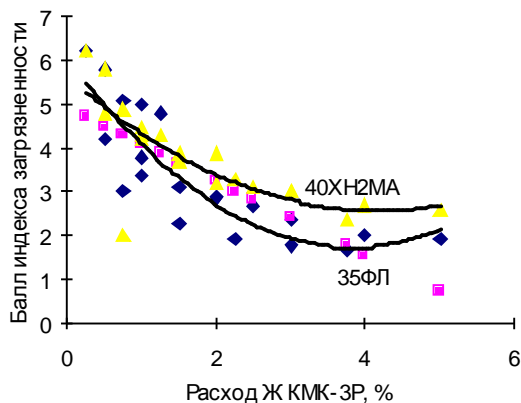


Рис. 2. Зависимость балла индекса загрязненности от расхода ЖКМК-ЗР при внепечной обработке электростали 35ФЛ (1)  $I = 0,177 G_{\text{л}}^2 - 1,47 G_{\text{л}} + 5,63$   $R^2 = 0,6085$  и мартеновской стали 40ХН2МА (2)  $I = 0,2937 G_{\text{л}}^2 - 2,2515 G_{\text{л}} + 6,052$   $R^2 = 0,7549$

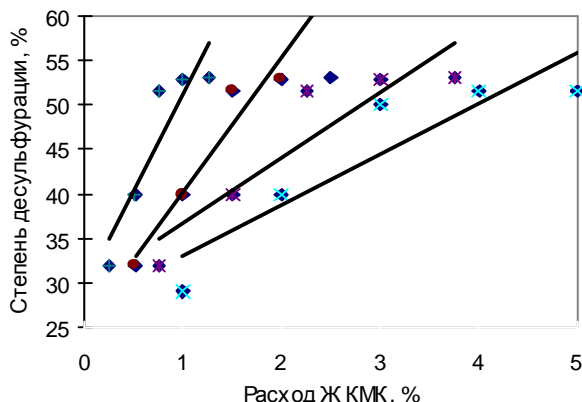


Рис. 3. Зависимость степени десульфурации стали 35ФЛ от расхода ЖКМК-ЗР при различных расходах CaF<sub>2</sub>: 1 – 75%:  $\Delta S = 25,55 + 14,94 G_{\text{л}}; 2$  – 50%:  $\Delta S = 29,39 + 7,40 G_{\text{л}}; 3$  – 25%:  $\Delta S = 27,39 + 5,69 G_{\text{л}}; 4$  – 0%:  $\Delta S = 29,40 + 22,2 G_{\text{л}}$

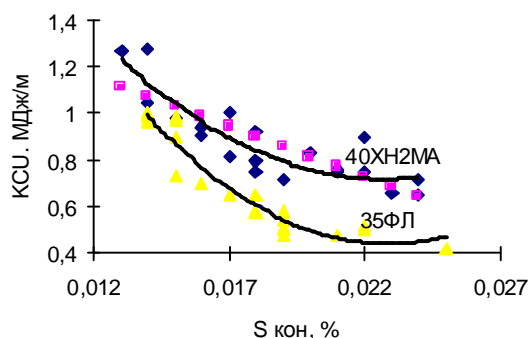


Рис. 4. Влияние содержания серы на ударную вязкость сталей при температуре испытания – 60°С

Изучение свойств стали, обработанной в ковше ЖКМК-ЗР с CaF<sub>2</sub>, показало четко выраженное влияние содержания серы на механические свойства (рис. 4). При этом заметно возросли пластические свойства сталей, что является следствием снижения загрязненности металла неметаллическими включениями.

Эффективность такой внепечной обработки повышается при продувке металла в ковше аргоном. С этой целью были проведены исследова-

ния комплексной обработки стали в ковше с присадками ЖКМК-ЗР и CaF<sub>2</sub>, и продувкой аргоном. Продувку осуществляли через пористую пробку в днище ковша. Продолжительность обработки составила 4,5 мин, расход аргона – 3,5 м<sup>3</sup>. Результаты экспериментов по изменению содержания газов и неметаллических включений показаны в табл. 1.

Сталь, не обработанная аргоном, характеризуется высоким содержанием общего кислорода и неметаллических включений. Основная масса включений имеет размеры от 6 до 10 мкм. Встречаются отдельные включения с размерами до 14 мкм. Форма включений разнообразна: хлопьевидная, округлая, остроугольная, пленочная.

Обработка аргоном позволила снизить содержание кислорода более чем в 4 раза, а неметаллических включений – в 1,5...2 раза. Причем резко сократилось количество включений с размерами больше 10 мкм. Оставшиеся в стали включения в основном имеют небольшие размеры – до 5 мкм. Изменилась форма неметаллических включений. Почти исчезли включения хлопьевидной и, частично, пленочной форм. Явных скоплений включений также не обнаружено.

Комплексная обработка металла вне печи шлаковыми смесями с ЖКМК-ЗР и аргоном значительно улучшила качество выплавляемой стали и повысила служебные свойства отливок различного назначения более 1,5 раз.

Для микроструктуры отливок из жаростойкой стали 40Х24Н12СЛ в литом состоянии характерно крупнозернистое строение (номер зерна 1–2 шкалы I ГОСТ 5639-82) и значительная неоднородность в распределении карбидов типа (Fe, Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, (Fe, Cr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, (Fe, Cr)<sub>3</sub>C и неметаллических включений. Загрязненность стали неметаллическими включениями характеризуется общим индексом J<sub>общ</sub> (ГОСТ 1778-70, метод Л), равным 0,11–0,28. Это существенно снижает эксплуатационные свойства отливок, особенно жаростойкость.

На первом этапе исследовали влияние температуры заливки форм от 1525 до 1600°С на свойства отливок. Для этого в производственных условиях в 6-тонной дуговой печи с основной футеровкой выплавляли по стандартной методике сталь 40Х24Н12СЛ и разливали в формы при различных температурах. Установлено, что наиболее благоприятное сочетание свойств стали достигается при температуре заливки 1530°С. Повышение температуры заливки приводит к огрублению аустенитно-ферритной структуры, большей загрязненности и границ зерен неметаллическими включениями типа 2Fe·SiO<sub>2</sub> и крупными скелетообразными и карбидами; количество карбидов и неметаллических включений в межзеренных участках увеличивается с ростом температуры заливки.

Форма выделений феррита при этом становится скелетообразной. Уровень свойств за-



Таблица 1

## Результаты продувки аргоном в ковше стали марки Ст.3

Место отбора пробы	Содержание газов, % масс.		Общий индекс загрязненности стали неметаллическими включениями, $I_{\text{общ}}$
	[O]	[N]	
Печь	0,0235	0,0042	0,0067
Ковш	0,0058	0,0037	0,0032
Изложница	0,0054	0,0052	0,0041

метно снижается:  $\sigma_b$  – от 548 до 500 МПа, KCV – от 35 до 20 Дж/см<sup>2</sup>, жаростойкость – в 1,3 раза.

На втором этапе исследования методом дробного факторного эксперимента (типа ДФЭ 2<sup>5-2</sup>) изучали влияние комплексного модифицирования алюминием (0,03 и 0,06%), титаном (0,1 и 0,25%), бором (0,003 и 0,006%), церием (0,05 и 0,1%), кальцием (0,01 и 0,03%) на свойства стали. Сталь имела исходный состав: 0,33% С; 0,61% Si; 0,79% Mn; 23,8% Cr, 11,3% Ni; 0,03% S; 0,033% P. Металл одной плавки при 1520°С разливали в несколько ковшей, в каждый из которых вводили соответствующие модификаторы.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, описывающие зависимости  $\sigma_b$ , KCV,  $\Delta m$  от количества вводимых модификаторов:

$$\sigma_b^{+20} = 518,1 + 1,9Al + 0,63Ti + 4,4B - 9,4Ce - 1,9Ca;$$

$$\sigma_b^{+900} = 156,1 + 0,57Al + 0,71Ti + 0,83B - 0,14Ce - 0,32Ca;$$

$$KCV^{+20} = 27,8 - 2,0Al + 2,3Ti + B + 0,25Ce + 1,8Ca;$$

$$KCV^{+900} = 65,1 - 5,6Al + 3,1Ti + 1,6B + 1,9Ce - 1,9Ca;$$

$$\Delta m_{100ч}^{+900} = 48,4 + 1,98Al - 3,93Ti - 10,43B + 2,33Ce + 3,0Ca.$$

Анализ зависимостей позволил установить характер влияния модификаторов на свойства стали 40X24H12СЛ: бор значительно повышает почти все исследуемые свойства: церий и кальций, наоборот, значительно снижают жаростойкость и  $\sigma_b$ , увеличивая при этом KCV. Алюминий отрицательно влияет на KCV и жаростойкость, хотя несколько повышает значение  $\sigma_b$ . При вводе Al, Ce, Ca на верхнем уровне резко увеличивается загрязненность стали неметаллическими включениями, которые представляют собой оксиды, сульфиды, окисульфиды, однако модифицированная сталь значительно чище, чем обычная:  $I_{\text{общ}} = 0,036 - 0,062$ . Микроструктура стали и величина зерна практически не зависят от количества вводимых модификаторов (микроструктура – аустенитно-ферритная; феррит выделяется вокруг неметаллических включений; величина зерна соответствует номеру 2–3 шкалы I ГОСТ 5639-82). Существенно снижается карбидная неоднородность и практически исчезают эвтектические карбиды дендритных форм.

Результаты исследования позволили рекомендовать для модифицирования стали комплекс в составе титана и бора.

На следующем этапе исследовали влияние комплекса из титана и бора на свойства отливок. Учитывая существенное улучшение свойств при модифицировании стали этими элементами, снизили содержание Cr и Ni в среднем на 2% каждого, предполагая, что уровень свойств не должен быть ниже исходного для стали 40X24H12СЛ. Содержание углерода ограничили до 0,35%. Исходный состав стали был следующим: 0,28% С; 0,85% Si; 0,48% Mn; 22,0% Cr; 8,1% Ni; 0,028% S; 0,03% P. Методом полного факторного эксперимента (типа ПФЭ 2<sup>2</sup>) определили области рациональных концентраций титана (0,15 и 0,30%) и бора (0,005 и 0,01%), обеспечивающие наилучшее сочетание механических свойств и жаростойкости стали.

При статистической обработке результатов эксперимента получили регрессионные зависимости свойств стали от количества вводимых титана и бора:

$$\sigma_b^{+20} = 561,9 + 25,6Ti + 19,4B;$$

$$\sigma_b^{+900} = 176,3 + 21,3Ti + 8,8B;$$

$$KCV^{+20} = 38,8 + 8,8Ti + 6,3B;$$

$$KCV^{+900} = 80,5 + 11,5Ti + 8,0B;$$

$$\Delta m_{100ч}^{+900} = 41,2 - 6,43Ti - 2,25B.$$

Исследования показали, что модифицирующий комплекс, состоящий из титана и бора, существенно улучшает свойства стали, несмотря на пониженное содержание Cr и Ni.

Металлографические исследования позволили выявить механизм влияния бора и титана на формирование граничных выделений карби-

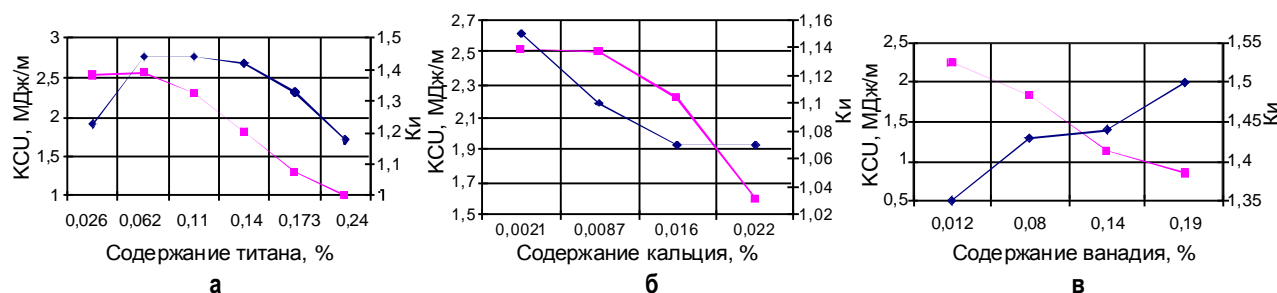


Рис. 5. Влияние титана (а), кальция (б), ванадия (в) на свойства стали 110Г13Л



дов. Ввод в сталь совместно 0,15–0,25% Ti с 0,005–0,01% В способствует утончению карбидов и делает их прерывистыми. Из дендритообразных карбиды переходят в более округло-овальные с меньшими размерами, существенно уменьшается и пограничная концентрация карбидов. Размер зерна соответствует 3–4 номеру.

Проведены промышленные эксперименты по совершенствованию технологии выплавки стали 110Г13Л с использованием в качестве рафинирующих и модифицирующих элементов титана, ванадия, кальция и кальций-барий-стронциевого карбоната. Работа в этом направлении велась также двумя этапами. Для этого на первом этапе в сталь 110Г13Л вводили ферротитан до остаточного содержания титана в стали 0...0,25%, силикокальций до остаточного содержания кальция 0...0,025% и феррованадий до достижения остаточного содержания ванадия 0...0,2%. Результаты эксперимента приведены на рис. 5.

Титан способствует повышению чистоты стали по неметаллическим включениям, на силикатные оксиды он оказывает флюсующее действие, делает их более легкоплавкими, что способствует коагуляции включений и удалению их в шлак. Общий индекс загрязненности стали с добавками титана до 0,11% находится в пределах 0,016...0,020. Дальнейшее повышение содержания титана приводит к резкому падению ударной вязкости и износостойкости и увеличению общего индекса загрязненности до 0,029.

Кальций сначала несущественно влияет на ударную вязкость, а затем резко снижает ее. В стали, обработанной кальцием, снижается количество особо вредных включений FeO\*MnO, и они очень редко встречаются по границам зерен. Положительное влияние кальция наблюдается при его содержании в стали 0,002–0,01%, размер зерна при этом соответствует 3...4 баллу, общий индекс загрязненности – 0,015–0,021. Дальнейшее увеличение содержания кальция ведет к загрязнению стали неметаллическими включениями, причем большая часть включений представляет собой крупные облакоподобные оксиды и оксисульфиды. Отдельные включения достигают размеров 30–40 мкм.

С повышением содержания ванадия в стали ударная вязкость снижается, а относительная износостойкость повышается, это связано с про-

цессами карбидо-, нитридо- и карбонитридообразования, которые способствуют повышению начальной твердости стали. Однако в этом случае существует опасность расположения включений карбидов, нитридов и карбонитридов по границам аустенитных зерен, что может привести к охрупчиванию металла и снижению ударной вязкости. Исследование микроструктуры ударных образцов в месте излома показало, что она представляет собой аустенит с мелкодисперсными карбидами ванадия, расположенными внутри и по границам зерен.

Ванадий является слабым раскислителем, поэтому его лучше использовать после раскисления титаном для дополнительного связывания в металле азота и подавления процесса старения. Процессы нитридообразования ванадия протекают в уже затвердевшей отливке в области температур 700...1000°C. Мелкодисперсные нитриды ванадия эффективно модифицируют структуру стали при вторичной кристаллизации, а также повышают ее износостойкость за счет высокой твердости нитридов и прочной связи их с матрицей. Оптимальное содержание ванадия в стали – 0,02...0,1%. При меньшем содержании ванадия в стали нитридов ванадия не хватает для эффективного модифицирования, а при большем содержании нитридов ванадия образуется очень много, что ведет к перенапряжению металлической матрицы и повышению склонности стали к трещинообразованию и снижению других свойств.

На основе проведенных исследований внедрена технология выплавки стали 110Г13Л с применением модифицирующе-раскисляющего комплекса ферротитан + феррованадий + силикокальций. При этом повышение свойств отливок достигнуто за счет измельчения зерна в результате образования в расплаве и в твердой стали дополнительных центров кристаллизации (нитриды титана и ванадия), ограничения роста кристаллитов (кальций), модифицирования неметаллических включений (титан, кальций). Благодаря такой технологии можно эффективно управлять процессами как первичной, так и вторичной кристаллизации литой стали. Таким способом можно эффективно воздействовать на процессы адсорбции за счет удаления вредных примесей и газов, изменения характера кристаллизации и перераспределения кристаллизую-

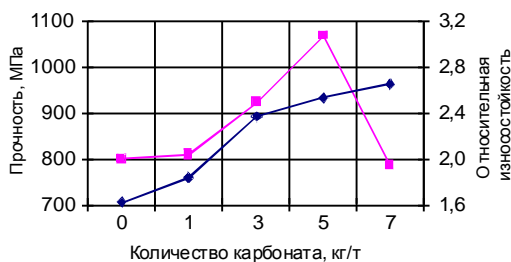


Рис. 6. Влияние расхода карбоната на свойства стали 110Г13Л

Таблица 2

Свойства стали 25Х1М1ФЛ без и после обработки карбонатом

Свойство	Значение	
	без обработки карбонатом	после обработки карбонатом
$\sigma_b$ , МПа	830	1162
НВ	229	269
Жидкотекучесть $\lambda$ , мм	200	400
$K_{и}$	1,2	1,5

щихся фаз и их количества. Достижимое уменьшение размеров дендритных кристаллитов и зерна аустенита при введении в сталь данных элементов сопровождается увеличением межзеренной поверхности, уменьшением удельной пограничной концентрации примесей. Металлографические исследования подтвердили этот вывод. Микроструктура представляет собой аустенит с зерном 5 балла, неметаллические включения в основном глобулярной формы, небольших размеров располагаются внутри зерна. Общий индекс загрязненности неметаллическими включениями составляет 0,018.

Использование для улучшения качества и повышения свойств отливок недорогих и недефицитных материалов в настоящее время весьма актуально. Одним из таких материалов является природный минерал – барий-кальций-стронциевый карбонат  $(Ca, Ba, Sr)CO_3$  Мурунского месторождения следующего состава, %: 20,75  $SiO_2$ ; 0,90  $TiO_2$ ; 2,35  $Al_2O_3$ ; 4,00  $Fe_2O_3$ ; 0,60  $MnO$ ; 0,90  $MgO$ ; 15,97  $CaO$ ; 22,41  $BaO$ ; 5,67  $SrO$ ; 2,2  $K_2O$ ; 0,70  $Na_2O$ ; 0,90  $H_2O$ ; 22,00  $CO_2$ ; 0,65  $P_2O_5$ . Данный карбонат практически не содержит серы. Было изучено его влияние на свойства стали 110Г13Л. Результаты исследований приведены на рис. 6.

Увеличение расхода карбоната ведет сначала к увеличению твердости, прочности и износостойкости, а затем к их снижению. Это объясняется тем, что он сначала действует как рафинирующе-модифицирующая добавка, очищая сталь от неметаллических включений, измельчая и усредняя структуру, затем карбонат выступает как вредная примесь, так как происходят процессы вторичного окисления. При этом большой расход приводит к заметному снижению температуры стали и образованию неустоявшихся конгломератов в шлаке, снижающих его поглощательную способность. Установлено, что наибольший эффект достигается при расходе карбоната в количестве 4,5–5,5 кг/т стали.

Введение в расплавы сталей барий-кальций-стронциевого карбоната сопровождается их интенсивным перемешиванием вследствие разложения карбонатов и выделения пузырьков  $CO_2$ . Это усиливает эффект рафинирования сталей от неметаллических включений и газов, особенно водорода, а также усредняет расплавы по температуре и химическому составу. Улучшение структуры и свойств достигается за счет рафинирующе-модифицирующего действия карбоната: снижается загрязненность сталей неметаллическими включениями, особенно сульфидными, существенно измельчается зерно до 5–6 баллов по эталонной шкале ГОСТ 5639-82; карбиды становятся менее разветвленными в металлической матрице. Проведенные исследования литейных свойств стали 110Г13Л, обработанной карбонатом, показали увеличение ее жидкотекучести и трещиностойкости, снижение общей линейной и затрудненной усадки. Особенно не-

обходимо отметить факт снижения интенсивности развития свободной и затрудненной усадки стали в начальные моменты времени при затвердевании отливки, что и объясняет высокую трещиностойкость отливок.

Проведенные исследования позволили разработать и внедрить технологию ковшевого рафинирования и модифицирования стали 110Г13Л для получения износостойких отливок (зуб ковша экскаватора, конуса, брони и щеки дробилки и др.) в ФЛЦ ЗАО «МРК» ОАО «ММК». Карбонат подается на дно ковша фракцией не более 50 мм. Ковш вместе с карбонатом нагревается до 600–700°C. После выпуска сталь выдерживают в ковше 10–15 мин для более полного усвоения присадок и удаления неметаллических включений и других продуктов раскисления в шлак. Шлак скачивают, а затем металл разливают в формы.

В конвертерном цехе ОАО «ММК» на МНЛЗ используются ролики, изготавливаемые из теплоустойчивой стали 25Х1М1ФЛ. В сложных условиях эксплуатации (высокая температура и износ) стойкость их была недостаточной и требовала повышения. С этой целью в работе были проведены исследования, разработана и внедрена технология выплавки стали с обработкой ее в ковше барий-кальций-стронциевым карбонатом.

Исследования по влиянию количества водородного барий-кальций-стронциевого карбоната на

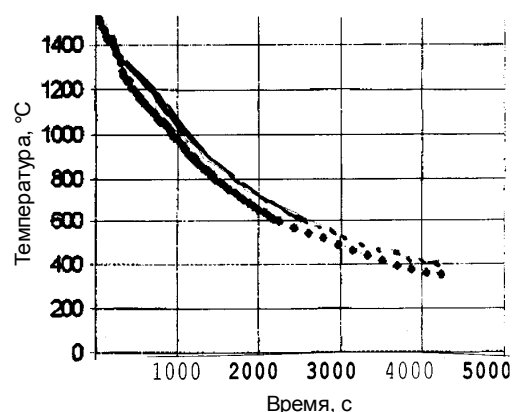


Рис. 7. Кривые затвердевания стали 25Х1М1ФЛ: 1 – без карбоната; 2 – после обработки карбонатом

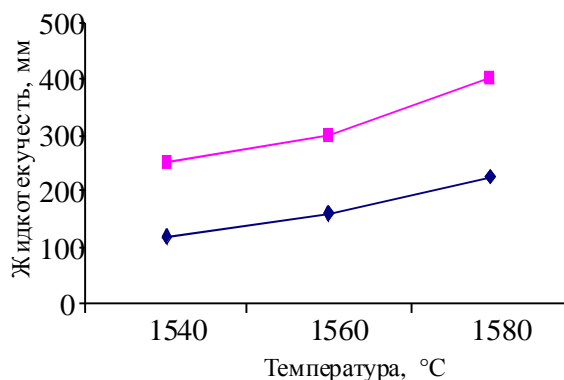


Рис. 8. Зависимость жидкотекучести стали 25Х1М1ФЛ от температуры: 1 – без карбоната; 2 – после обработки карбонатом

свойства стали 25Х1М1ФЛ были проведены аналогично исследованиям его влияния на свойства стали 110Г13Л. Получено другое оптимальное содержание присадки 5 кг/т, так как эта сталь перлитного класса. Механические и литейные свойства стали 25Х1М1ФЛ, обработанной и необработанной карбонатом, приведены в табл. 2.

В структуре обработанной стали присутствуют в основном мелкие карбиды глобулярной формы, расположенные равномерно по всему объему, тогда как у стали, не обработанной карбонатом, карбиды более крупные и расположены неравномерно в металлической матрице. Обработка карбонатом стали 25Х1М1ФЛ хотя улучшила свойства отливки, но балл зерна не изменила. Содержание серы в сплаве уменьшилось с 0,025 до 0,012%.

Кроме этого, был исследован процесс влияния карбоната на кинетику затвердевания стали и получены следующие кривые (рис. 7).

Обработка карбонатом снижает температуру начала затвердевания на 30–40°С. Это объясняется тем, что неметаллические включения, находящиеся в сплаве, могут служить центрами кристаллизации, а так как карбонат имеет рафинирующее воздействие на сталь, то количество центров кристаллизации уменьшается, что приводит к снижению температуры начала кристаллизации.

Обработка стали 25Х1М1Ф барий-кальций-стронциевым карбонатом повышает жидкотекучесть сплава (рис. 8). Это связано с тем, что при раскислении и модифицировании происходит изменение закономерности кристаллизации, в частности уменьшение величины кристалликов твердой фазы. Сочетание данного фактора с рафинирующим воздействием карбоната на расплав увеличивает жидкотекучесть.

В процессе кристаллизации большое значение имеют адсорбционные явления, связанные с наличием поверхностно-активных примесей. Раскисление, рафинирование и модифицирование позволяют эффективно воздействовать на процессы адсорбции за счет удаления вредных примесей и газов, изменения характера кристаллизации и перераспределения кристаллизующихся фаз и их количества.

Уменьшение размеров дендритов и первичного зерна при введении в сплав карбоната сопровождается увеличением межзеренной поверхности. Вследствие этого уменьшается удельная пограничная концентрация примесей, что положительно сказывается на трещиностойкости. Применение карбоната также снижает свободную усадку стали в 1,25 раза (рис. 9). Общая свободная

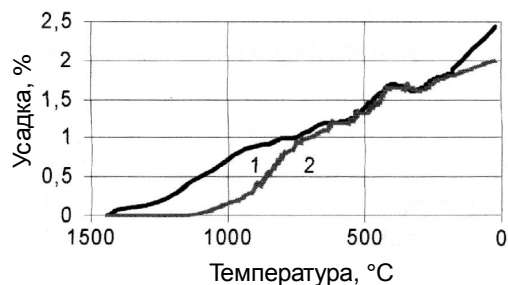


Рис. 9. Изменение свободной усадки от температуры стали:

1 – без обработки карбонатом; 2 – обработанной карбонатом

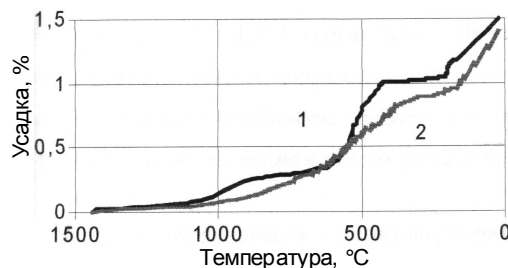


Рис. 10. Изменение затрудненной усадки от температуры стали:

1 – без обработки карбонатом; 2 – обработанной карбонатом

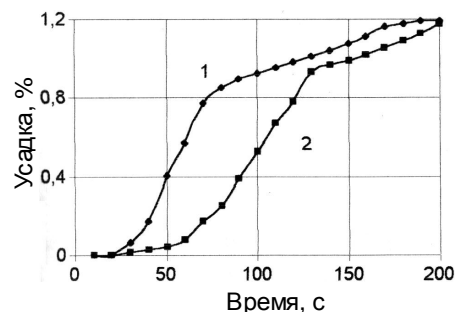


Рис. 11. Изменение кинетики усадки стали 25Х1М1ФЛ: 1 – без обработки карбонатом; 2 – после обработки карбонатом

усадка стали 25Х1М1ФЛ без применения карбоната составляет 2,43%, а стали, обработанной карбонатом, – 2,0%. Изменение затрудненной усадки от температуры стали обработанной и необработанной карбонатом показано на рис. 10.

При обработке стали карбонатом происходит замедление процесса усадки, вследствие чего снижается нарастание внутренних напряжений, что положительно влияет на трещиностойкость (рис. 11).

Таким образом, результаты проведенных исследований убедительно показали эффективность ковшевой обработки сталей для отливок и целесообразность ее внедрения в литейных цехах для повышения качества литья и его конкурентоспособности.

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Б. А. Никифоров, В. М. Салганик, С. В. Денисов, П. А. Стеканов

### ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ПРОКАТА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ В ОАО «ММК»

В последнее время развитие листовых материалов для автомобилестроения определяют такие основные тенденции, как: обеспечение коррозионной стойкости и снижение массы кузова с повышением безопасности автомобиля.

Мониторинговые исследования рынка показали, что в последние годы борьба между производителями альтернативных материалов за передел автомобильного рынка значительно обострилась. Легкие металлы – алюминий и магний – находят все более широкое применение в автомобилестроении, композитные материалы тоже основательно потеснили сталь на ее традиционном рынке (рис. 1). В этой ситуации ряд западных сталелитейных компаний разработали совместные научно-технические программы, осуществление которых привело к появлению качественно новых материалов – высокопрочных сталей нового поколения, что, как ожидается, должно значительно упрочить позиции сталелитейной промышленности в автомобильном секторе [1].

На протяжении нескольких десятилетий тенденции в проектировании автомобилей формировались под воздействием двух противоположно направленных факторов: необходимость соблюдения установленных регулятивными органами норм средней по отрасли топливной экономичности (CAFE) требовала снижения веса автомобилей, а стандарты безопасности исключали возможность уменьшения толщины стальных конструкций.

В середине 1970-х годов стремление к снижению веса автомобилей породило тенденцию к уменьшению их размеров. Однако, если евро-

пейские и японские потребители охотно приняли эти новшества, то в США дело обстояло иначе. В середине 80-х годов прошлого века было уже ясно, что американцы по-прежнему отдают предпочтение большим машинам. С другой стороны, потребителей все чаще интересовали вопросы безопасности [1].

При снижении массы автомобиля необходимо учитывать не только требования по расходу топлива (снижение эмиссии CO<sub>2</sub>), но и требования безопасности, защиты окружающей среды (токсичные выбросы, уровень внешнего шума), долговечности (защита от коррозии, интервалы техобслуживания), комфорта и другие.

Применение новых разработок относительно марок стали дает возможность сбалансировать противоречия между необходимостью снижения веса автомобиля и повышения его безопасности.

В настоящее время разрабатываются или применяются для изготовления панелей кузова несколько типов высокопрочных сталей.

Первый тип – «повышенной штампуемости» IF-сталь с очень низким содержанием углерода и азота и с примесью марганца, фосфора, кремния и бора.

Второй тип – «термоупрочненная» VH-сталь. Свойства этих двух типов сталей частично совпадают, так как IF-сталь и обычная мягкая сталь также могут быть термоупрочненными. IF-стали и VH-стали различаются между собой только по составу и технологии изготовления.

Третий тип – «трансформируемые повышенной пластичности» TRIP-стали, в состав которых входят углерод, кремний и марганец. TRIP-стали находятся на стадии разработки. Они имеют хорошую штампуемость. Основной недостаток изделий из этих сталей – низкое качество поверхности. Широкое применение TRIP-стали ожидается через 10–15 лет [1].

В начале 90-х годов прошлого века перспектива распространения на автомобильном рынке новых композиционных материалов заставила ведущих производителей стали объединить усилия по разработке новых материалов. Интеграция крупнейших мировых производителей сталей для автомобилестроения – JFESteel Corporation (Япо-

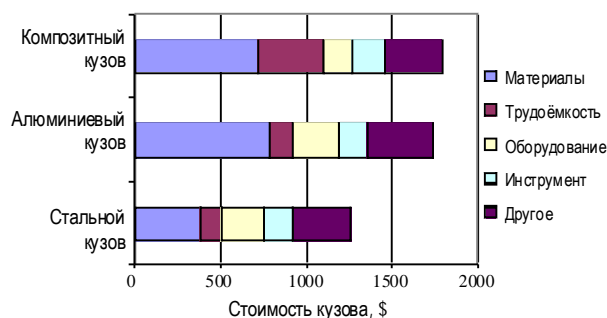


Рис. 1. Себестоимость кузова автомобиля, изготовленного из различных материалов



ния), Thyssen Krupp Stahl AG (ФРГ), SSAB (Швеция), United States Steel Corporation (США) и др. – осуществляется в рамках различных инициативных программ, координируемых Комитетом по применению сталей в автомобильной промышленности (AUTOCO) Международного института чугуна и стали (International Iron and Steel Institute, IISI). Целью данных программ является создание сверхлегких, экономичных, безопасных для человека и окружающей среды автомобилей. Машины, разработанные на основе новых конструкторских решений и новых высокопрочных сталей, должны стать максимально комфортными, легкими в управлении, но без повышения базовой стоимости. Комитет координирует усилия более чем 30 ведущих мировых производителей металлопроката по систематизации перспективных сталей, разработке новых и внедрению уже существующих марок сталей в автомобильную промышленность. Кроме того, разрабатываются нормативные документы по применению высокопрочных сталей и новых технологических процессов их обработки применительно к автомобилестроению [2].

Сталь – материал, выигранный во многих отношениях. У нее наилучшее соотношение прочности и веса, особенно у высокопрочных категорий. Тем не менее, проблема снижения веса становится все более актуальной, так как, выигрывая в прочности, сталь здесь пока проигрывает. Именно на снижение веса стальных конструкций при сохранении прочностных характеристик и направлена основная активность консорциумов. В частности, решению этой проблемы посвящена программа Auto/Steel Partnership, учрежденная в 1987 году североамериканскими производителями стали и «большой тройкой» автомобильных компаний. Позднее, после 1993

года, количество таких консорциумов для разработки «сверхлегких» стальных конструкций начало нарастать лавинообразно; «пусковым крючком» послужил старт программы UltraLight Steel Auto Body (ULSAB), в которой приняли участие 35 производителей стали из 18 стран [1].

Основной задачей ULSAB было определение путей значительного снижения веса автомобильного кузова при надежном обеспечении безопасности и комфортабельности при приемлемой цене. Целью программы UltraLight Steel Auto Closure (ULSAC) была демонстрация целесообразности применения стали для изготовления конструкционно прочных запорных элементов (капоты, дверцы, крышки багажника, люки и задние дверцы), тогда как UltraLight Steel Auto Suspension (ULSAS) была направлена на разработку легких и конструкционно прочных стальных подвесок [1].

Основные направления координационных программ, проводимых под эгидой AUTOCO IISI, схематично представлены на рис. 2.

Для устранения возможной путаницы в определениях и стандартах различных стран в рамках ULSAB были введены собственные категории прочности, определяемые величиной предела текучести для проката толщиной 0,65–2,0 мм [1].

На рис. 2: (P) – (Phosphor alloyed steels) стали, легированные фосфором;  
 (IS) – (isotropic steels) изотропные стали;  
 (BH) – (Bake harden able steels) стали, упрочняемые сушкой лакокрасочного покрытия;  
 (IF) – (Interstitial Free steels) стали без фаз внедрения;  
 (DP) – (Dual Phase steels) двухфазные стали;  
 (TRIP) – (Transformation Induced Plasticity steels) ТРИП-стали;  
 (CP) – (Complex Phase steels) стали с комплексной фазовой структурой;

(Mart) – (Martensitic steels) мартенситные стали;  
 (Conventional HSS) – (Conventional High Strength Steels) «рядовые высокопрочные стали»;  
 (AHSS) – (Advanced High Strength Steels) «усовершенствованные высокопрочные стали».

В ОАО «ММК» существует опыт производства IF-сталей и сталей с ВН-эффектом. Для них разработаны сквозные технологические инструкции.

Для расширения рынков сбыта стали для автомобильной промышленности, как в России, так и за рубежом, обеспечивающей современную концепцию производства автомобилей минимальной массы, в ОАО «ММК» начался поиск альтернатив-

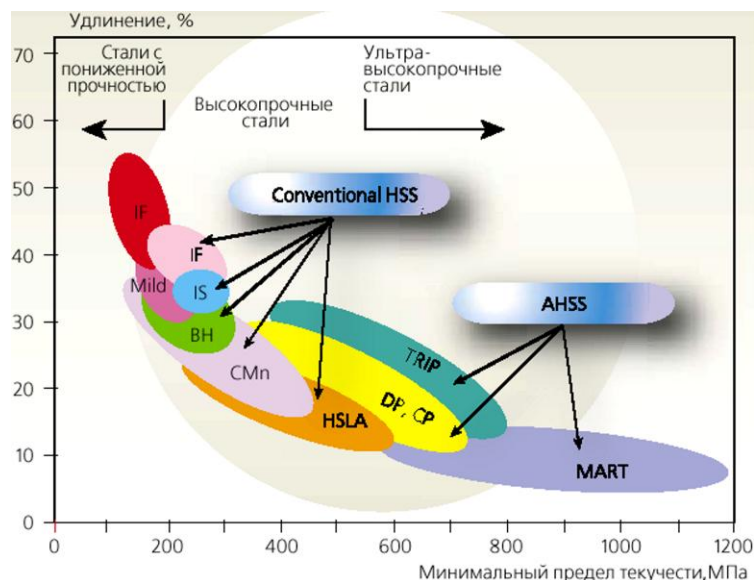


Рис. 2. Классификация автосталей



ных марок сталей.

Концепции легирования сталей для производства горячекатаных полос, из которых в дальнейшем изготавливают детали рам, шасси колёс и другие детали автомобилей, за последние десятилетия изменились дважды: от нормализованных сталей с высоким содержанием углерода и серы, микролегированных титаном, к термомеханической обработке стали с высоким содержанием титана для контроля формы сульфидов и, наконец, к микролегированным ниобием сталям с низким содержанием серы (титан также применяют для упрочнения таких деталей). Около 40 лет назад типичной сталью для грузовых автомобилей в Германии являлась толстолистовая сталь в нормализованном состоянии (0,2% С, 0,15% Ti, 0,02% S). Высокое содержание углерода и титана отрицательно влияло на вязкость и свариваемость. С внедрением термомеханической прокатки полосовой стали удалось значительно повысить свойства материала. Однако в полосовых сталях с высоким содержанием титана прочностные свойства сильно зависели от технологических параметров производства [3]. Как показывает опыт, в результате даже малых изменений температуры конца прокатки или температуры смотки полосы в рулон происходит широкий разброс механических свойств, что не может удовлетворять потребителей.

Применение термомеханической прокатки на непрерывном широкополосном стане позволяет путём оптимизации содержания марганца и микролегировующих добавок производить полосу с гарантированным пределом текучести 380–690 Н/мм<sup>2</sup>. Сочетание легирования марганцем, ниобием, титаном и бором в комплексе с рациональным выбором параметров термомеханической прокатки и смотки полос в рулон обеспечивает формирование дисперсной бейнитной, ферритобейнитной и ферритобейнитно-аустенитной структуры [3].

Проанализировав сортамент выпускаемой продукции и технические возможности широкополосного стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК», сделали вывод о том, что наиболее подходящим на данном этапе и наиболее перспективным для дальнейшей разработки является химический состав с низким содержанием углерода (0,08–0,11%). В стали этого типа обеспечиваются высокие пластические свойства готового металлопроката благодаря присутствию достаточного мягкой ферритной матрицы. Также помимо пластических свойств низкое содержание углерода способствует увеличению ударной вязкости в области

вязкохрупкого и вязкого разрушения, повышающему надёжность металлоконструкций. Помимо этого уменьшение содержания углерода улучшает технологические свойства, такие как формуемость в холодном состоянии и свариваемость. Снижение содержания углерода до значений менее 0,09% уменьшает коэффициент ликвации одного из основных легирующих элементов – марганца, потому что в стали не происходит перитектической реакции, что само по себе способствует снижению сегрегаций. Роль марганца велика благодаря значительному положительному влиянию на повышение прочности – для низколегированных сталей легирование марганцем позволяет повысить прочность до 600 МПа.

Как показывают исследования, ванадий образует стойкие карбонитриды, имеющие высокую температуру растворения в аустените, поэтому и способствует измельчению зерна. С повышением содержания карбонитридов ванадия в стали увеличивается прочность и вязкость.

Преимущество применения ниобия для микролегирования заключается в том, что влияние ниобия сказывается сильнее в горячекатаном состоянии, в то время как влияние карбонитридов ванадия – лишь после повторного нагрева (нормализации).

При увеличении содержания ниобия повышаются и прочностные характеристики стали; при этом ниобий по сравнению с ванадием оказывает более существенное влияние на повышение предела текучести. Ниобий в количестве 0,02% замедляет рост зерна и обеспечивает получение мелкозернистой стали (балл 9–11). Для получения такого же эффекта упрочнения содержание ванадия должно быть в 2–3 раза выше массовой доли ниобия.

По нашему мнению, наиболее близко к вышеперечисленным критериям подходят три марки стали: St 44-2, 08ГСЮТ и 07ГБЮА. Химический состав перечисленных марок стали представлен в табл. 1.

С помощью комбинированной математической модели [5] проведено моделирование процесса контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением полос из стали марок, представленных в табл. 1, с целью получения механических свойств в готовом прокате, удовлетворяющих требованиям потребителей (предел текучести не

Таблица 1

Химический состав стали марок 09Г2С, 08ГСЮТ и 07ГБЮ

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %									
	C	Mn	Si	Al	Nb	Ti	V	S	P	N <sub>2</sub>
								не более		
St 44-2	≤0,12	1,3–1,6	0,15–0,25	0,02–0,07	–	0,010–0,035	–	0,015	0,020	0,009
08ГСЮТ	≤0,09	0,7–1,1	0,15–0,25	0,02–0,07	–	0,01–0,04	–	0,025	0,030	0,012
07ГБЮА	≤0,11	0,5–0,8	0,15–0,25	0,02–0,05	≤0,03	≤0,025	–	0,015	0,020	0,010

менее 400 Н/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение не менее 25%). Результаты моделирования процесса контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением полос представлены в табл. 2.

Анализируя результаты проведенного математического моделирования процесса контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением полос из стали марок St 44-2, 08ГСЮТ и 07ГБЮА, можно сделать следующий вывод: подкат для производства высокопрочного оцинкованного проката возможно производить только из стали марки 07ГБЮА.

В итоге материалом для производства высокопрочного оцинкованного проката был выбран как лучший прокат из стали марки 07ГБЮА. Ее химический состав представлен в табл. 3.

С помощью комбинированной математической модели [5] были найдены следующие основные температурно-деформационные параметры прокатки полос на ШСГП:

температура нагрева слэбов 1180–1220°С;  
 температура конца прокатки 855–885°С;  
 температура смотки полос 620–650°С;  
 скорость охлаждения полос на отводящем рольганге 4,8–6,3°С/с.

Полученные механические свойства готового проката представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, механические свойства проката соответствовали требованиям потребителя.

Полученные результаты полностью удовлетворили потребителя и после переработки от фирмы Borcelik (Турция) уже в сентябре был получен заказ на аналогичный сортамент. Результаты механических испытаний готового оцинкованного проката представлены в табл. 5.

### Заключение

В работе был проведен анализ мировых тенденций в области автомобилестроения, который показал, что мировым автопроизводителям по-прежнему необходим стальной лист,

Таблица 2

Результаты моделирования процесса контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением полос

Марка стали	Сэ	Температура нагрева слэбов, °С	Ткп, °С	Тсм, °С	σ <sub>т</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ <sub>5</sub> , %
St 44-2	0,35–0,40	1180–1220	855–885	600–630	360–410	460–490	23–25
08ГСЮТ	0,22–0,30	1180–1220	855–885	600–630	320–360	400–450	28–30
07ГБЮА	0,17–0,25	1180–1220	855–885	600–630	450–500	510–540	26–29

Примечание. Сэ – углеродный эквивалент (Сэ=(С+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15+15\*В)), Ткп – температура конца прокатки, Тсм – температура смотки полос.

Таблица 3

Химический состав стали марки 07ГБЮА

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %											
	C	Mn	Si	Al	Ti	Nb	S	P	Ni	Cr	Cu	N <sub>2</sub>
07ГБЮА	≤0,11	0,5–0,8	0,15–0,25	0,02–0,05	≤0,03	≤0,025	0,015	0,020	0,3	0,3	0,3	0,01

Таблица 4

Механические свойства проката из стали марки 07ГБЮА

Толщина полос, мм	σ <sub>т</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ <sub>5</sub> , %	Твердость, HRB
3,0–4,0	440–490	500–540	26–32	79–86

Таблица 5

Результаты механических испытаний опытных партий оцинкованного проката из стали марки 07ГБЮА

Толщина, мм	Н/мм <sup>2</sup>		δ <sub>5</sub> , %	r	n
	σ <sub>т</sub>	σ <sub>в</sub>			
0,75	415	516	24	0,89	0,15

со сложным комплексом свойств: высокой прочностью одновременно с хорошей штампуемостью.

Решением данной задачи является производство проката из новой стали марки 07ГБЮА. Механические свойства готового металлопроката и результаты переработки превосходили запросы потребителя. Поэтому фирма Borcelik (Турция) продолжила сотрудничество в этом направлении с ОАО «ММК».

Наличие в ОАО «ММК» стана 2000 горячей прокатки, обладающего широкими технологическими возможностями позволяет производить высококачественный подкат для оцинкованного высокопрочного автолиста.

### Библиографический список

1. Резник Г. По материалам Metal Bulletin, Metal Bulletin Monthly, American Iron and Steel Institute // Металлы мира. 2003. № 3. С. 34–40.
2. Титов В. Стальной прокат для автомобильной промышленности за рубежом // Национальная металлургия. 2004. № 10. С. 84–89.
3. Каур К., Naumann W., Engl B et al. // Stahl und Eisen. 1984. Bd 104. S. 1017–1024.
4. Майер Л. Тенденции производства и развития в области выпуска горячекатаной полосовой стали для изготовления

грузовых и пассажирских автомобилей // Материалы семинара по разработке и применению микролегированной горячекатаной листовой и полосовой стали. Обзор уровня техники. М., 1996.

5. Денисов С.В., Карагодин Н.Н., Кутуева Р.Я. Методика определения основных технологических параметров контролируемой прокатки, обеспечивающих получение требуемых потребительских свойств // Прогрессивные толстолистовые стали для газонепроводных труб большого диаметра и металлоконструкций ответственного назначения: Сб. докл. М.: Металлургиздат, 2004. С. 111–115.

УДК 519.8:621.777

А. Е. Экк, М. Ю. Семашко, В. Г. Шеркунов

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ КОНФОРМ

Впервые способ непрерывного прессования за счет активных сил трения был опробован Р.Грином в 1971 году. Устройство непрерывного прессования Конформ (рис. 1) состоит из движущегося контейнера (колеса) и неподвижного инструмента (называемого башмаком), который вместе с колесом создает закрытый калибр. Заготовка задается в зазор между башмаком и колесом, силами трения втягивается в зону перед матрицей, где подвергается интенсивному пластическому деформированию. По мере поворота колеса давление перед матрицей увеличивается и за счет этого заготовка прессуется через матрицу [1].

Большинство работ, посвященных методу Конформ, описывают технологию непрерывного прессования, а вопросы, связанные с проектированием новых устройств для получения изделий с мелкодисперсной структурой без изменения поперечного сечения, не рассматривались. Мало уделено внимания влиянию геометрии инструмента на силовые параметры процесса.

Для математического моделирования процесса, а в частности для определения влияния геометрии инструмента на силовой параметр процесса (момент приложенный к колесу  $M$ , Н/мм), из всего разнообразия факторов были выделены основные, что позволило упростить математическую модель и анализ результатов.

В качестве геометрических факторов были выбраны: радиус колеса  $R$  угол обхвата колеса заготовкой  $\varphi_k$  (град); угол обхвата колеса башмаком  $\varphi_b$  (град); угол пересечения канала прессования и выходного канала  $\Phi$  (град). Размеры поперечного сечения канала, образованного колесом и башмаком, приняли неизменными и равными 12×12 (мм). Размеры сечения заготовки такие же, как и у калибра. Такой выбор обеспечивает наиболее благоприятные условия для протекания процесса, так как обеспечиваются условия полного контакта заготовки со стенками канавки колеса.

На силовые параметры процесса большое влияние оказывают механические свойства де-

формируемого материала (напряжение сдвига  $\sigma_s$ , МПа), а также скоростная характеристика (угловая скорость колеса  $V_k$  рад/с). Так как процесс протекает только за счет сил трения, значимым фактором является коэффициент трения  $f$ .

Для проведения численного эксперимента был составлен план полного факторного эксперимента и взята дробная реплика от него, представленная в таблице, там же приведены величины верхнего, нижнего и основного уровней варьируемых параметров.

После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии для определения момента на приводном колесе, которые представлены ниже.

Относительная ошибка определения момента на приводном колесе при моделировании процесса в программе Deform 3D и при помощи полученных зависимостей не превышает 15%.

На графике рис. 2 приведены зависимости момента на рабочем колесе от радиуса колеса установки. Сплошная линия – зависимость для угла пересечения канала 135°, точки – для 90°. Для построения графика были использованы

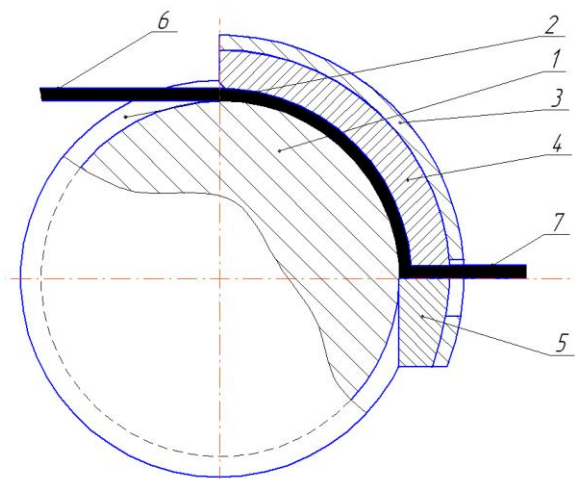


Рис. 1. Схема процесса непрерывного прессования Конформ:

1 – рабочее колесо; 2 – П-образная канавка; 3 – башмак; 4 – кольцевая вставка; 5 – упор; 6 – заготовка; 7 – изделие

1/4 реплика от ПФЭ типа 2<sup>6-2</sup>

Факторы		V <sub>k</sub> (рад/с)	φ <sub>b</sub> (град)	φ <sub>k</sub> (град)	R (мм)	f	σ <sub>s</sub> (МПа)
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Основной уровень		0,325	60	100	300	0,15	600
Интервал варьирования		0,175	15	25	100	0,05	200
Верхний уровень		0,5	75	125	400	0,2	800
Нижний уровень		0,15	45	75	200	0,1	400
1	+	-	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	+	+	+	+	+	-	-
4	+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	-	-	-	-
6	+	-	-	+	+	-	-
7	+	+	+	-	-	+	+
8	+	-	-	+	+	+	+
9	+	+	-	+	-	-	+
10	+	-	+	-	+	-	+
11	+	+	-	+	-	+	-
12	+	-	+	-	+	+	-
13	+	+	-	-	+	+	-
14	+	-	+	+	-	+	-
15	+	+	-	-	+	-	+
16	+	-	+	+	-	-	+

следующие постоянные данные: напряжение сдвига σ<sub>s</sub>=400 МПа; коэффициент трения f=0,1; угол обхвата колеса заготовкой φ<sub>k</sub>=125°; угол обхвата колеса башмаком φ<sub>b</sub>=75°. Нижняя линия – для скорости вращения колеса V<sub>k</sub>=0,15 рад/с, верхняя для V<sub>k</sub>=0,5 рад/с.

Из графиков следует, что из двух параметров (скорости вращения колеса и радиуса колеса) значимым является радиус, так как при увеличении радиуса значительно увеличивается крутящий момент, особенно при угле пересечения каналов 90°. Скорость вращения колеса, в принятом диапазоне изменения, влияет незначительно, и увеличение скорости вращения приводит к увеличению крутящего момента на постоянную величину независимо от радиуса колеса, что следует из параллельности графиков для разных скоростей.

На рис. 3 также приведены зависимости момента на рабочем колесе от радиуса колеса установки при тех же условиях, только изменяемым фактором выступает коэффициент трения f, а скорость колеса принята постоянной V<sub>k</sub>=0,15. Из графиков видно, что увеличение коэффициента трения ведет к росту момента более интенсивно с увеличением радиуса колеса.

Уравнение момента на приводном колесе для угла пересечения каналов 90°:

$$M = -81627462 + 3222611 \cdot V_k + \frac{1181791}{15} \cdot \phi_b + \frac{3858247}{25} \cdot \phi_k + \frac{20947911}{100} \cdot R_k + 131027900 \cdot f + \frac{1803986}{25} \cdot \sigma_s + (11990331 \cdot V_k - 3896857) \cdot (20 \cdot f - 3) + \left( \frac{699436}{5} \cdot \phi_b - 8393232 \right) + \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + (-2151702 \cdot V_k + 699303) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + \left( \frac{-125516}{5} \cdot \phi_b + 150661192 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \left( \frac{291309}{25} \cdot \phi_k - 1165236 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \left( \frac{291309}{100} \cdot R_k - 873927 \right) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + \left( \frac{1424401}{50} \cdot R_k - 8546406 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \left( \frac{2848802}{25} \cdot \phi_k - 11395208 \right) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right).$$

Уравнение момента на приводном колесе для угла пересечения каналов 135°:

$$M = -40539589 + 7399377 \cdot V_k + \frac{1478228}{15} \cdot \phi_b + \frac{3950086}{25} \cdot \phi_k + \frac{5508551}{100} \cdot R_k + 151153160 \cdot f + \frac{1381291}{25} \cdot \sigma_s$$

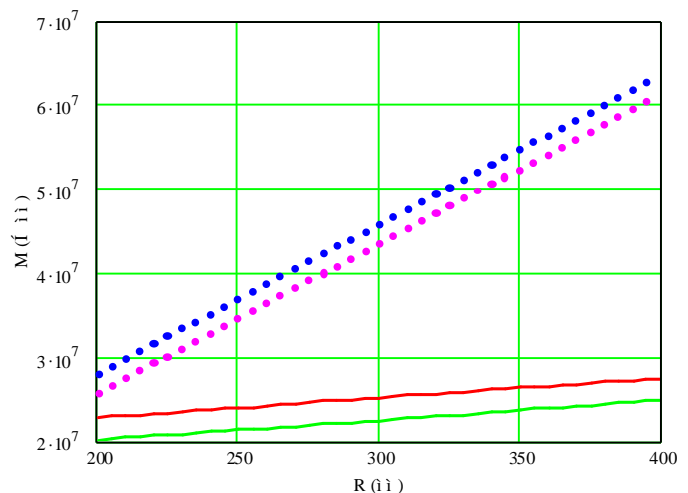


Рис. 2. Графики зависимости момента от радиуса колеса при разных скоростях вращения колеса



$$\begin{aligned}
 & + (3636640 \cdot V_k - 1181908) \cdot (20 \cdot f - 3) + \\
 & + \left( \frac{636412}{15} \cdot \phi_b - 2545648 \right) + \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + \\
 & + (-2812131 \cdot V_k + 913942) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + \\
 & + \left( \frac{-164041}{5} \cdot \phi_b + 1968492 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \\
 & + \left( \frac{327034}{25} \cdot \phi_k - 1308136 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \\
 & + \left( \frac{163517}{50} \cdot R_k - 981102 \right) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right) + \\
 & + \left( \frac{736954}{25} \cdot R_k - 8843448 \right) \cdot (20 \cdot f - 3) + \\
 & + \left( \frac{2947816}{25} \cdot \phi_k - 11791264 \right) \cdot \left( \frac{1}{200} \sigma_s - 3 \right).
 \end{aligned}$$

Данные результаты позволяют сделать вывод, что полученные в результате математического моделирования формулы можно приме-

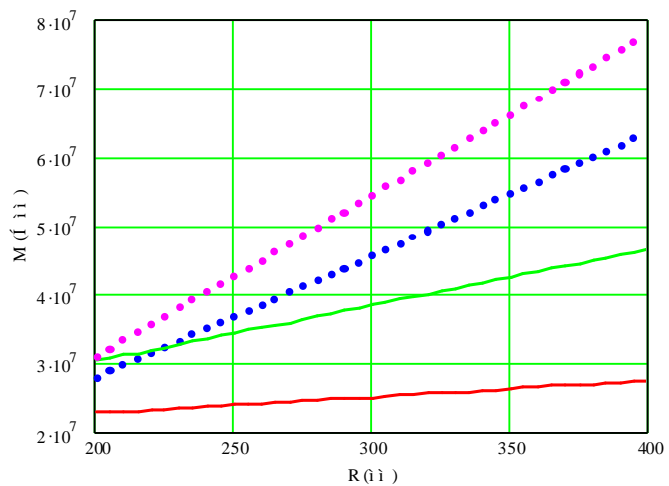


Рис. 3. Графики зависимости момента от радиуса колеса при разных коэффициентах трения ( $\sigma_s=400$  МПа)

нять для оценки момента на приводном колесе при проектировании технологической оснастки непрерывного равноканального прессования способом Конформ, для получения длинномерных изделий поперечного сечения, равного  $12 \times 12$  мм, а также проследить влияние каждого фактора на этот силовой параметр процесса.

#### Библиографический список

1. Корнилов В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: Изд-во пед. ин-та, 1993. 216 с.
2. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб.: Наука, 2004. 644 с.

УДК 519.8:621.7

А. А. Минаев, Е. Н. Смирнов, И. В. Лейрих, В. В. Зуб

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПОР В НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОМ МЕТАЛЛЕ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Одним из условий успешной хозяйственной деятельности и развития металлургической отрасли в Украине является производство конкурентоспособных высококоррентабельных видов продукции. Решение данной проблемы невозможно без постоянного роста объемов проката, произведенного из непрерывно-литых заготовок.

В то же время более широкое использование непрерывно-литой сортовой заготовки требует и дальнейшего проведения исследований, связанных с прогнозированием качества готовой металлопродукции. При этом существенное влияние на уровень служебных свойств оказывают дефекты заготовки, связанные с процессом непрерывной разливки, и в первую очередь поры, размер которых в ряде случаев достигает миллиметра и более. Известно, что большое их количество существен-

ным образом снижает деформируемость стали при последующем волочении [1], а предварительная деформация непрерывно-литого металла не всегда способствует их залечиванию [2–4].

Целью настоящей работы является оценка возможности прогнозирования поведения пор в непрерывно-литом металле при пластической деформации с использованием современных методов математического моделирования.

В качестве объекта исследования была выбрана технология производства сварочной проволоки (сталь 07Г1НМА) из непрерывно-литой заготовки, произведенной в условиях высокой скоростной сортовой МНЛЗ ЗАО «ММЗ «Истил-Украина» [5].

В рамках единой технологической цепочки «сталь–прокатка катанки–волочение» («С–ПК–В»)

исходная непрерывно-литая заготовка сечением 150×150 мм была прокатана на стане 150 ОАО «Макеевский металлургический завод» в катанку диаметром Ø5,5 мм по действующему технологическому регламенту. Полупродукт уровня технологических связей «Прокат» (катанка Ø5,5 мм) передали для последующего волочения в сварочную проволоку Ø4 мм с медным покрытием на ОАО «Силур» (уровень технологических связей «Металлопродукция»). Конечным потребителем продукции являлось ОАО «Харьцызский трубный завод».

Для изучения динамики формирования макро- и микроструктурных изменений в процессе деформации вдоль всей технологической схемы (начиная от непрерывно-литой заготовки и заканчивая сварочной проволокой) отбирали контрольные пробы для последующего изготовления образцов. Кроме того, на уровне технологических связей «Прокат» дополнительно были отобраны пробы от недокатов, которые имели различную степень вытяжки от исходного сечения (см. таблицу).

В ходе исследования сквозной контроль вдоль технологической системы «С-ПК-В» осуществляли на плавках различного химического состава общим весом более 400 т.

В металле исследованных плавков содержание химических элементов (в среднем) составило:

**Суммарный коэффициент вытяжки, форма и размеры раскатов в точках контроля технологии системы «сталь – прокатка катанки – волочение»**

Уровень технологических связей	Форма раската	Размеры, мм		Суммарный коэффициент вытяжки $\mu_{\Sigma}$	Параметр контроля технологии
		В	Н		
Сталь	Квадрат	150,0	150,0	-	Макро- и микроструктура
Прокатка катанки	Овальное сечение	54,0	48,0	10,0	Макро- и микроструктура
	Овальное сечение	31,0	26,0	34,0	Макро- и микроструктура
	Круг	18,0	18,0	88,0	Макро- и микроструктура
	Круг	5,5	5,5	915,0	Макро- и микроструктура, механические свойства
Металлопродукция	Круг	4,0	4,0	1790,0	Макро- и микроструктура, механические свойства

C<0,08%; Mn=1,0...1,5%; Si=0,2...0,45%; Cr<0,3%; Ni=0,5...0,7%; Mo=0,6...0,85%; Cu<0,2%; S<0,01%; P<0,015%; As<0,5%; Al<0,005%; N<0,01%. Такой состав стали соответствует требованиям стандарта на заготовку для сварочной проволоки.

Контроль качества макроструктуры исходной непрерывно-литой заготовки (рис. 1) на поперечных (а) и продольных (б) темплетях показал, что вблизи поверхности исходной заготовки после горячего травления обнаружены относительно мелкие (~1 мм) единичные подкорковые пузыри, расположенные по периметру преимущественно в приповерхностных участках [6, 7]. Центральная пористость была выражена слабее, а ликвационные участки не наблюдались. Загрязненность стали неметаллическими включениями в целом низкая. В частности, количество сульфидов оценено в 0,5 балла по ГОСТ 1778-70. Более высоким было количество строчечных оксидов, особенно в осевой области – ОС2–ОС3.

Контроль параметров макроструктуры в раскатах уровня технологических связей «Прокатка катанки» (рис. 2) показал, что при степени суммарной вытяжки  $\mu_{\Sigma}=10$  еще наблюдаются отдельные поры. По форме они значительны уже по отношению к своим первоначальным размерам и локализируются на расстоянии равном 1/2 радиуса заготовки.

При дальнейшем увеличении вытяжки (более  $\mu_{\Sigma}=88$ ) большинство дефектов, оценка которых предусмотрена стандартами, не выявлены или проявились незначительно. В ходе исследования макроструктуры недокатов и катанки выявлено несколько зон с различным характером загрязненности неметаллическими включениями. Для геометрического центра заготовки характерна незначительная загрязненность и пористость. Более крупные поры и неметаллические включения располагаются ближе к поверхности и имеют вытянутую (по направлению деформации) форму. В районе предполагаемого теплового центра сосредоточено относительно большее количество мелких круглых и больших пластинчатых сульфидов. С ростом вытяжки неметаллические включения дробятся и вытягиваются в соответствии с направлением деформации, а ближе к оси заготовки более крупные включения сохраняют свою форму.

В целом проведенное исследование показало, что поры имеют тенденцию к сохранению на всех звеньях уровня «прокатка катанки», вплоть до готовой продукции (суммарная вытяжка  $\mu_{\Sigma} = 915$ ). При этом они плохо выявляются на поперечных, а хорошо – на продольных шлифах. По мере увеличения степени вытяжки от  $\mu_{\Sigma} = 10$  до 88 размер пор существенно уменьшился: в среднем от 180 до 40 мкм. Однако и после при-

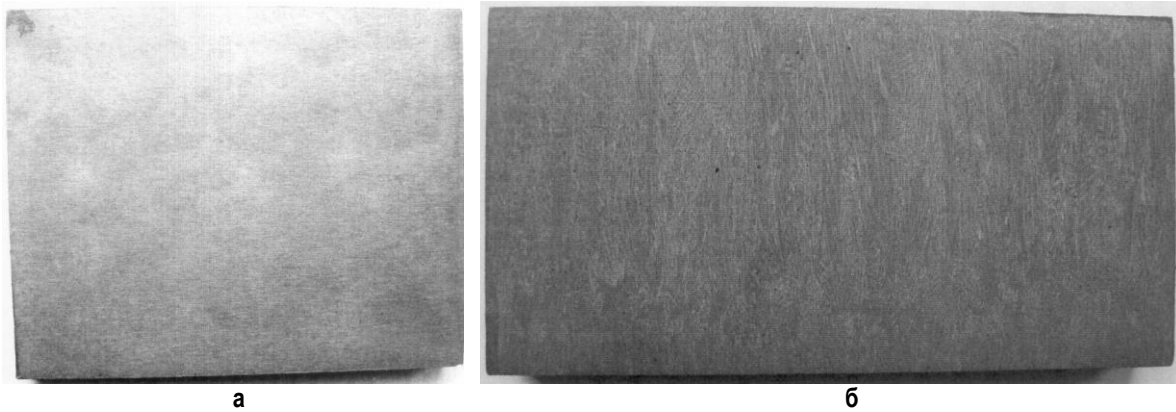


Рис. 1. Макроструктура непрерывно-литой заготовки сечением 150×150 мм:  
а – поперечный шлиф; б – продольный шлиф

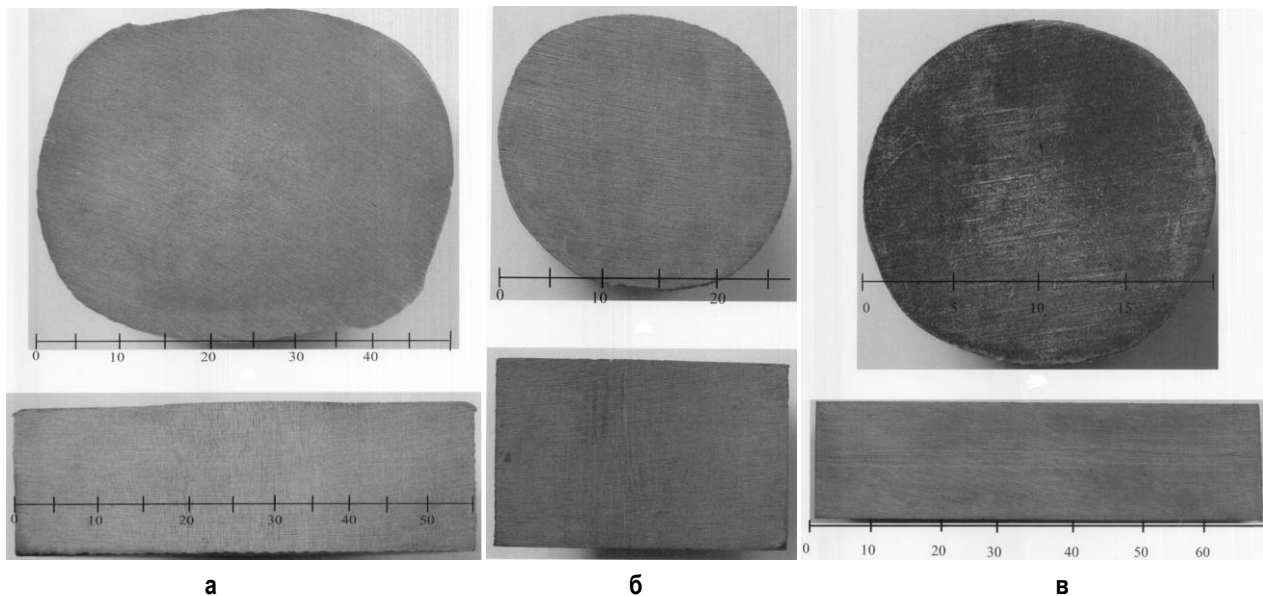


Рис. 2. Макроструктура промежуточных раскатов уровня технологических связей «прокатка катанки»:  
а –  $\mu_{\Sigma} = 10$ ; б –  $\mu_{\Sigma} = 34$ ; в –  $\mu_{\Sigma} = 88$

ложения большей вытяжки сохранялись отдельные поры с размерами порядка 100 мкм, т.е. отсутствовал процесс их заварки в ходе прокатки. Им также свойственна тенденция к вытягиванию по направлению деформации и стремление принять форму, подобную цилиндрической.

Выявленный характер поведения пор в процессе пластической деформации был в дальнейшем использован как при разработке математической модели, так и при последующей проверке ее адекватности. В соответствии с целью данной работы моделирование процесса деформации металла с наличием пор было выполнено с использованием метода конечных элементов (программный пакет ANSYS). С учетом имеющихся литературных данных [8] при создании модели использовали трехмерное объемное тело.

Для получения реального решения необходимо корректно выбрать размеры поры и фрагмента окружающего материала. Согласно рекомендаций работы [9] для получения точного ре-

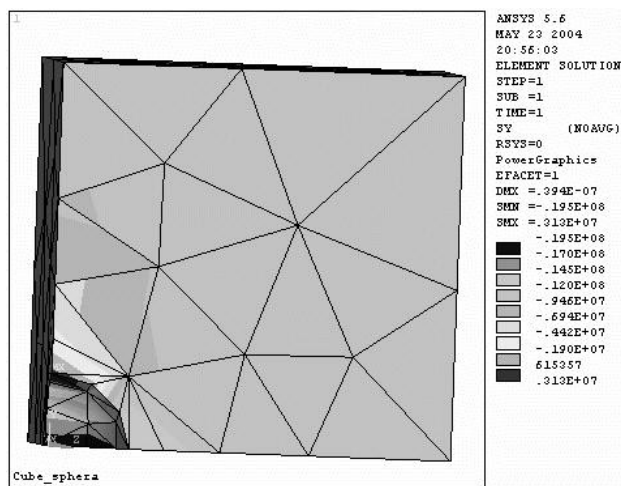
шения желательно, чтобы линейный размер фрагмента тела был в 5–10 раз больше диаметра поры. С учетом результатов металлографического анализа были выбраны следующие размеры и форма пор на различных стадиях процесса:

- а) поры, имеющие изначально сферическую форму с диаметром на уровне 200 мкм (0,0002 м);
- б) поры, характерные для деформированного материала и имеющие условный вид цилиндра диаметром около 200 мкм (0,0002 м) и длиной около 400 мкм (0,0004 м).

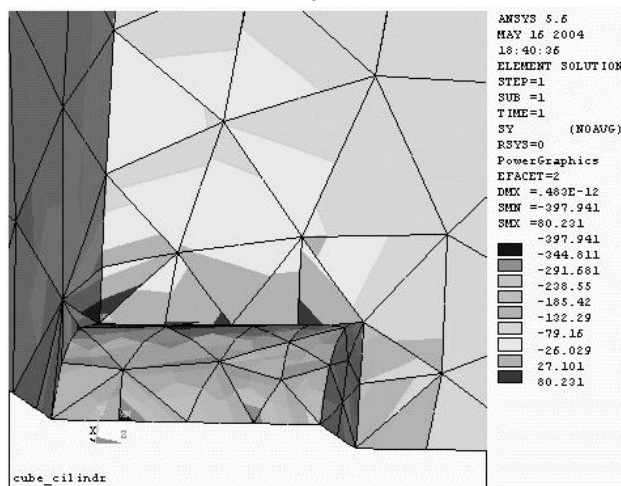
Для вышеуказанных размеров пор соответствующий фрагмент твердого тела имел форму куба со стороной 1000 мкм (0,001 м). Учитывали температурную зависимость диаграммы деформации методом билинейной кинетики.

На рис. 3 представлены результаты расчета напряжений, возникающих при деформации сфероподобной и цилиндрической пор. Данные результаты получены для величины нагружения, изменяющейся в пределах  $P=1 \times 10^6 \div 1 \times 10^8$  Па.





а



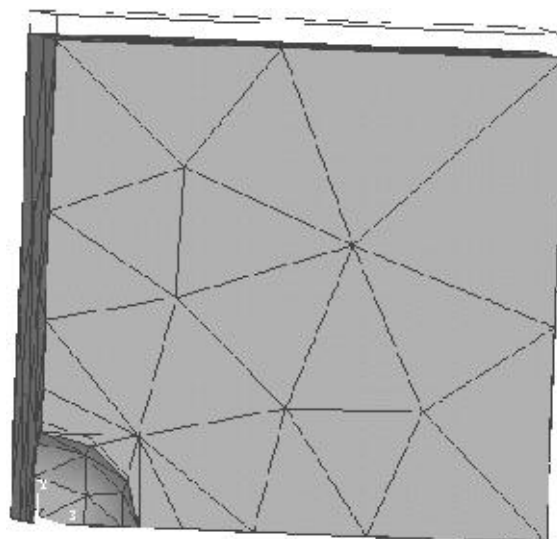
б

Рис. 3. Распределение напряжений в сферической (а) и цилиндрической (б) порах

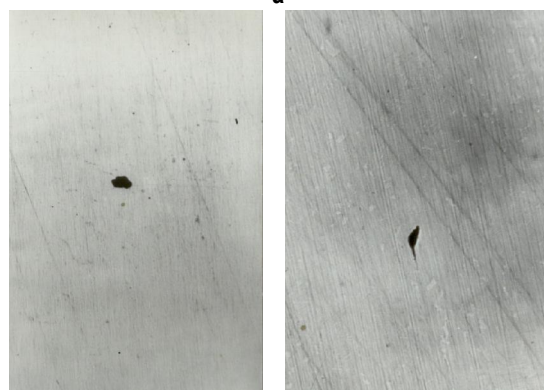
Такой уровень нагружения обеспечивал линейную деформацию  $\delta$  порядка 5–10%.

Анализ приведенных данных показывает, что возникающее вокруг сфероподобной и цилиндрической пор поле напряжений имеет неоднородный характер, а именно присутствуют участки положительных напряжений (растягивающих) в общей массе сжимающих. Применительно к условиям сфероподобной поры зона растягивающих напряжений сконцентрирована в одной из условных вершин (рис. 3, а), расположенной перпендикулярно к действию силы прокатки. В то же время для цилиндрической поры (рис. 3, б), характерно возникновение участков с растягивающими напряжениями вдоль всей длины поры. При этом на узких гранях действуют сжимающие напряжения.

Выявленные различия в распределении напряжений отражаются и на характере деформированного состояния. Сфероподобная пора имеет характер деформации, при котором сжатие происходит преимущественно по одной оси. Форма деформированной поры приближа-



а



б

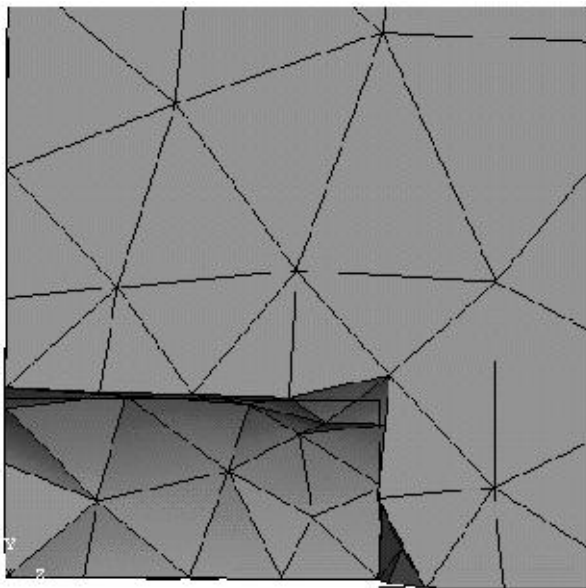
Рис. 4. Распределение деформаций в сферической поре при прокатке (а) и макроструктура деформированной стали (не травлено) (б); б –  $\mu_{\Sigma}=34, \times 100$  – поверхность

ется к вытянутой эллиптической (рис. 4, а).

Что касается поведения цилиндрических пор, которых согласно данным металлографических исследований большее число, то можно сказать, что с ростом силы прокатки возрастает и уровень напряжений вокруг них. Однако характер их распределения принципиально не меняется (рис. 4, б): первоначально происходит деформация средних участков с соответствующим сближением границ (см. рис. 3, б). Данная особенность подтверждается и металлографическими исследованиями (рис. 5, в). В то же время боковые поверхности пор остается в недеформированном или слабodeформированном состоянии. При дальнейшем росте степени деформации начинают искажаться и боковые стороны (рис. 5, б).

Анализ распределения потоков материала при деформации (рис. 6) показывает, что во внутреннюю область поры попадают потоки, которые отличаются один от другого по интенсивности. Применительно к условиям сфероподобной поры металл затекает во внутреннюю часть преимущественно с одной стороны. По-

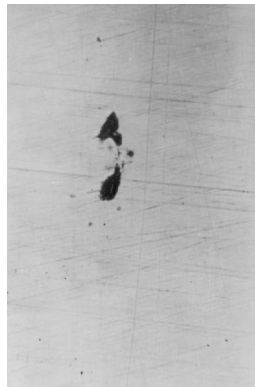




а



б



в

Рис. 5. Распределение деформаций в цилиндрической поре при прокатке (а) и макроструктура деформированной (не травлено) стали 07Г1НМА: б –  $\mu_z=34, \times 100$  – поверхность; в –  $\mu_z=950, \times 500$  – центр

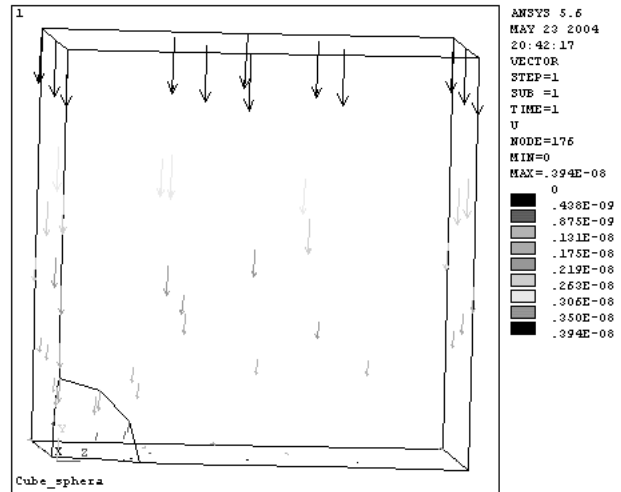
токи с других сторон значительно меньше.

Для цилиндрической поры наиболее характерен интенсивный массоперенос в области средних участков длинной грани. Проведенное моделирование показало, что несмотря на значительный рост нагрузок добиться полного закрытия пор во многих случаях не представляется возможным. При очень больших величинах давления наблюдалась разрывность решения.

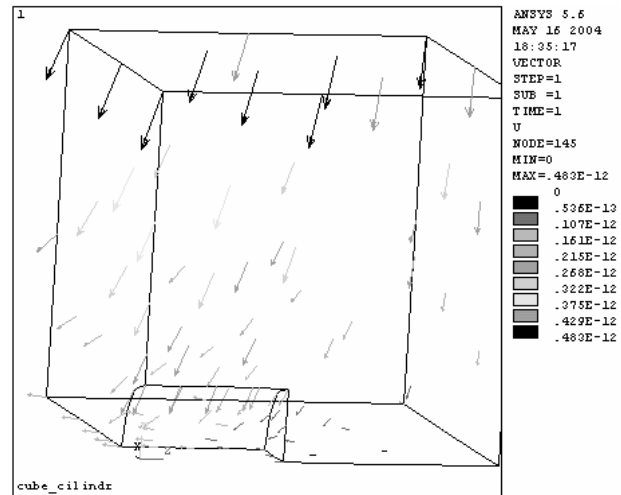
Выполненные в дальнейшем контрольные металлографические исследования подтвердили результаты математического моделирования в части невозможности полной заварки пор. При больших величинах давления в ряде случаев поры приобретают сильно вытянутую форму с острыми краями.

#### Библиографический список

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1986. 688 с.
2. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. М.: Металлургия, 1976. 552 с.
3. Журавлев В.А. О макрокопической теории кристаллизации сплавов // Металлы. 1975. № 5. С. 93–99.



а



б

Рис. 6. Распределение потоков стали при деформации сферической (а) и цилиндрической (б) пор

#### Выводы

На основании проведенных металлографических исследований определены закономерности затекания при пластической деформации металла в поры, образовавшиеся при непрерывной разливке стали. С использованием современного математического аппарата, базирующегося на методе конечных элементов, разработана модель, позволяющая исследовать динамику поведения сфероподобных и пор цилиндрической формы в процессе пластической деформации. Путем сопоставления результатов расчета с данными металлографических исследований показана как хорошая адекватность разработанной модели, так и перспективность использования метода конечных элементов для исследования процесса деформации неоднородного материала.

4. О кинетике порообразования при кристаллизации трехкомпонентных сплавов в двумерной области / В.А. Журавлев, С.С. Савинский, Г.А. Ильин и др. // *Металлы*. 1980. № 1. С. 74–79.
5. Освоение производства непрерывно-литой заготовки на высокоскоростной шестиручьевой МНЛЗ / Хашим Саед Раза, Г.И. Касьян, В.Г. Осипов и др. // *Металл и литье Украины*. 2001. № 5–6. С. 19–21.
6. Атлас дефектов стали: Пер.с нем. М.: Металлургия, 1979. 188 с.
7. Дефекты стали. Справочник / Под ред. С.М. Новокщеновой, М.И. Виноград. М.: Металлургия, 1984. 199 с.
8. Luo Chunhui Evolution of voids close to an inclusion in hot deformation of metals // *Comput. Mater. Sci*. 2001. V. 21. № 3. P. 360–374.
9. Моделирование формоизменения внутренних дефектов при объемной деформации материалов с разными реологическими свойствами / А.А. Миленин, В.Т. Подвисоцкий, Д.С. Светличный и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2001. № 6. С. 37–40.

УДК 621.771

С. Ф. Рашников, Ю. А. Щербо, И. В. Ситников, А. Ю. Сычев, М. В. Чукин

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЕМЕДНОЙ ПРОДУКЦИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТВЕРДОФАЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ БИМЕТАЛЛА

На современном этапе развития науки и техники слоистые металлы находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности на железных дорогах, городском электротранспорте, в электротехнике и электронике, благодаря тому, что слоистая композиция сочетает в себе высокие электропроводные и прочностные свойства. Слоистые проводники имеют, как правило, меньшую массу и более высокую коррозионную стойкость при минимальном расходе дорогостоящих цветных металлов. Так, сталемедная проволока с массовым содержанием меди от 20 до 70% используется в качестве проводниковых и силовых элементов подвески контактной сети электрифицированных железных дорог, телефонных проводов, специальных микрокабелей, авиа- и сейсмографических кабелей, выводов радиодеталей и компо-

нентов электронной техники.

Вместе с тем, к слоистым проводниковым металлам, в частности к широко используемой сталемедной биметаллической проволоке, предъявляются все более жесткие требования по качеству, особенно при применении в изделиях, предназначенных для оборонной промышленности и авиации. Поэтому повышение качества данного вида продукции является весьма важной и актуальной задачей для всей экономики Российской Федерации.

Основными показателями качества, определяющими эксплуатационные свойства сталемедных проводников, являются:

1. Прочное соединение медной оболочки со стальным сердечником, обеспечивающее совместную деформацию компонентов без разрушения медного слоя при действии на проводник знакопеременных изгибающих и растягивающих напряжений в процессе эксплуатации.

2. Минимальная разнотолщинность медной оболочки по периметру и длине проводника, обеспечивающая стабильность электропроводных свойств.

3. Плотная и равномерная структура медной оболочки, обеспечивающая высокую коррозионную стойкость проводника в неблагоприятных условиях эксплуатации.

Обобщая требования стандартов к показателям качества сталемедной проволоки, структуру качества данного вида продукции можно изобразить в виде схемы, приведенной на рис. 1.

Обеспечение высокого уровня приведенных показателей качества сталемедных проводников, особенно тонких размеров (диаметром от 1 мм и ниже), определяется, в



Рис. 1. Структура качества сталемедной проволоки

основном, способом, технологической схемой и конструкцией оборудования для получения сталемедной заготовки (катанки), которая в последующем перерабатывается в проволоку на станах сухого и мокрого волочения.

Наиболее прогрессивные разработки и комплексные линии для производства биметаллической катанки, в том числе сталемедной, базируются на процессах твердофазного соединения при совместной прокатке основы (стального сердечника) и плакирующего слоя (сплошной медной оболочки), причем сталемедная заготовка получается оборачиванием медной ленты вокруг стального сердечника.

На базе научных и опытно-конструкторских разработок, проводившихся в Магнитогорском горно-металлургическом институте им. Г.И. Носова в 1983–1993 годах с участием авторов, в 1999 году на предприятии ЗАО «Профит» (г. Магнитогорск) была разработана и пущена в эксплуатацию линия по производству сталемедной катанки. Технологические возможности этой линии позволяют получать сталемедную катанку с массовым содержанием меди от 20 до 70%, используемую в качестве заготовки при производстве проволоки различных марок и неизолированных проводов марок ПБСМ и ПБСМД.

Технологический процесс производства и новая конструкция линии защищены патентами РФ. Схема новой технологии заключается в особенности реализации следующих операций:

- одновременная подача стальной проволоки и медной ленты, являющейся основой и плакирующим слоем соответственно;
- модификация поверхности стального сердечника электролитно-плазменной обработкой (ЭПО) в режиме импульсного тока после предварительной очистки в режиме постоянного тока, а также обработка поверхности медной ленты стальными щетками;
- заварка продольного шва медной оболочки;
- однокомпонентная деформация медной оболочки сталемедной заготовки на 20...25%;
- высокоскоростной поточный нагрев с промежуточными выдержками в течение 1...2 с в пароводяной среде (ЭПН);
- двухстадийная совместная деформация слоистой заготовки.

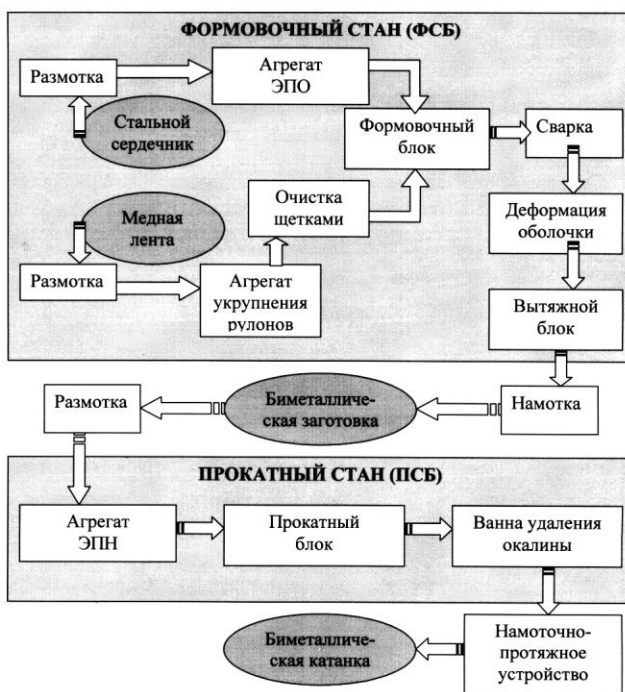


Рис. 2. Общая схема технологического процесса производства сталемедной катанки в условиях ООО «ЗМИ Профит»

Изготовление сталемедной катанки осуществляется на технологической линии, состоящей из формовочного и прокатного станов. Общая схема технологического процесса и состав оборудования комплексной линии представлены на рис. 2.

Реализация данного технологического процесса в условиях Завода металлоизделий (ЗМИ) ЗАО «Профит» позволила обеспечить производство биметаллической катанки с достаточно



Рис. 3. Структурная схема комплекса организационных, технических и технологических мероприятий, обеспечивающих повышение качества соединения компонентов сталемедной катанки



Сравнение показателей сталемедной проволоки марки БСМ-1, производимой ООО «ЗМИ Профит», с требованиями российского и зарубежных стандартов

Наименование показателей качества	Проволока БСМ-1 ЗАО «Профит»	ГОСТ 3822-79, Россия	ASTM B 227-70 (R 80), США	DIN 48202, Германия
Диаметр проволоки, мм	4,00 <sup>-0,05</sup>	4,00 <sup>-0,08</sup>	4,11 <sup>±0,0616</sup>	4,0 <sup>±0,08</sup>
Временное сопротивление разрыву, кгс/мм <sup>2</sup> , не менее	80	75	91	62
Число скручиваний, не менее	52	20	20	20
Число перегибов, не менее	12	8	–	–
Испытание на навивание	Медная оболочка не отслаивается от сердечника при спиральной навивке на свой диаметр	Медная оболочка не должна отслаиваться от сердечника при спиральной навивке на свой диаметр	–	На проволоке не должно быть разрывов и отслаивания меди при навивке шестью витками
Электрическое сопротивление, Ом/км, не более	3,8	4,0	4,41	4,57
Толщина медной оболочки, мм, не менее	0,24	0,22	0,203	0,22
Содержание меди, %	33	43*	30	30
Разнотолщинность медной оболочки, %	Не более 5	Свыше 50*	–	–

высокими показателями качества.

Однако при всех преимуществах технологической схемы твердофазного соединения элементов сталемедной композиции имеется ряд недостатков, связанных с непредсказуемым и регулярно повторяющимся отсутствием адгезионной связи между элементами композиции, выявляющимся на всех стадиях производства сталемедной продукции. В связи с этим на основании проведенных исследований был разработан и внедрен в производство комплекс мероприятий, структурная схема которых представлена на рис. 3.

Внедрение всех представленных технических и технологических решений в условиях производства биметалла ООО «ЗМИ Профит» позволило:

1. Снизить количество технологических отходов сталемедной катанки и биметаллической продукции с 7,6 до 3,2%. Данное положение иллюстрирует гистограмма, приведенная на рис. 4.

2. Повысить экономическую эффективность производства биметаллической продукции за счет применения медной ленты марки М2 взамен марки М1. Это позволило на 8,2% снизить затраты на производство биметаллической продукции.

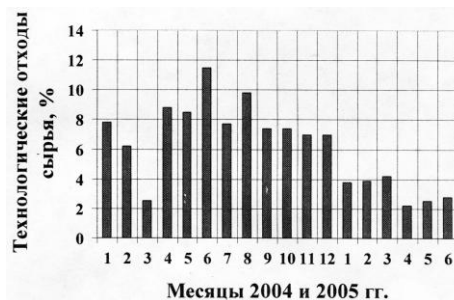


Рис. 4. Гистограмма ежемесячного количества технологических отходов сырья

3. Повышение качества соединения компонентов сталемедной катанки позволило расширить сортамент производимой биметаллической продукции за счет освоения производства провода ПБСМЭ с повышенной электропроводностью и эластичностью.

4. Выйти на уровень качества мировых стандартов ASTM и DIN при производстве сталемедной продукции. Качественные показатели проволоки БСМ-1 диаметром 4,0 мм производства ООО «ЗМИ Профит» в сравнении с требованиями стандартов России, США и ФРГ приведены в таблице.

УДК 621.777

Н. Н. Довженко, И. Н. Довженко, С. Б. Сидельников

## ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ ПРОКАТКИ-ПРЕССОВАНИЯ

В настоящее время актуальной для металлургических производств является проблема создания модульных технологий производства длинномерной продукции в виде проволоки и профилей из цветных металлов и сплавов. Одним из базовых элементов таких технологий непрерывного производства может стать разработанный на кафедре «Обработка металлов давлением» ГОУ ВПО «Государственный уни-



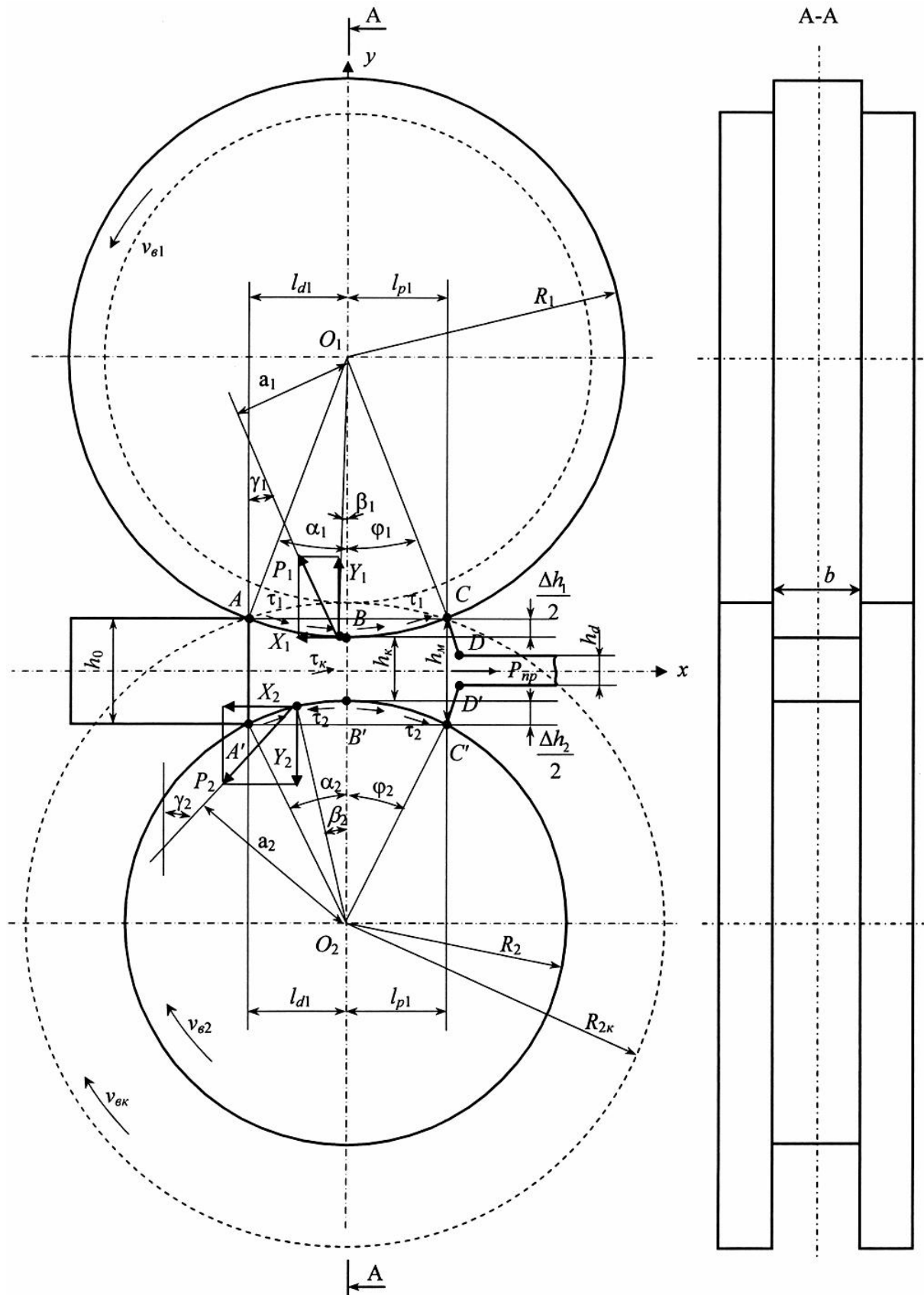


Рис. 1. Схема процесса совмещенной прокатки-прессования

верситет цветных металлов и золота» новый процесс совмещенной прокатки-прессования [1]. Для данного процесса выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований, созданы лабораторная и две опытно-промышленные установки на базе прокатных станов. Накопленный опыт, выявленные достоинства и несовершенства конструкций этих установок позволили приступить

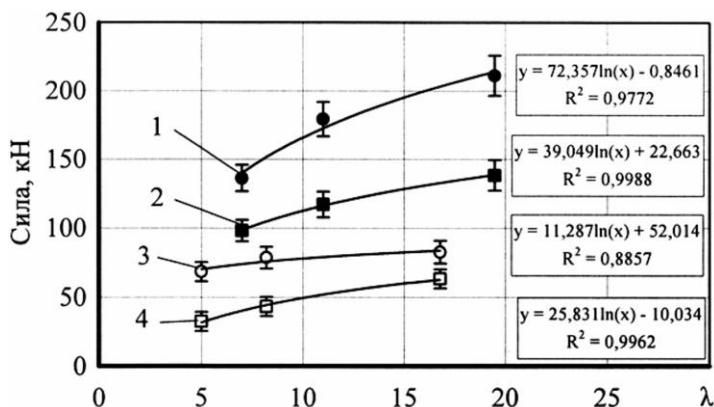


Рис. 2. Зависимость сил на матрице  $P_m$  и валках  $P_v$  от вытяжки  $\lambda$  при деформировании сплава АД31:

1 –  $P_v$ , калибр 14×22 мм; 2 –  $P_m$ , калибр 14×22 мм;  
3 –  $P_v$ , калибр 11×15 мм; 4 –  $P_m$ , калибр 11×15 мм

силовому каркасу промышленного агрегата, жесткости и прочности конструктивных элементов.

Объектом исследования является процесс совмещенной прокатки-прессования, схема которого приведена на рис. 1. Процесс осуществляется в закрытом калибре, образованном двумя валками разного катающего диаметра ( $R_1 > R_2$ ), перекрытого матрицей в сечении  $CC'$ . Валки вращаются с одинаковой частотой, но катающие поверхности калибра имеют разные окружные скорости, в частности  $v_{e1} > v_{e2}$ , а скорость боковых стенок калибра  $v_{вк}$  изменяется пропорционально изменению радиуса от  $R_2$  до  $R_{2к}$ . В качестве исходной заготовки используется непрерывно-литой брус с поперечным сечением  $h_0 \times b_0$ , который задается в калибр (сечение  $AA'$ ) и подвергается деформации в зоне прокатки до сечения  $BB'$ , затем подвергается распрессовке в зоне до сечения  $CC'$  и выдавливанию (прессованию) через матрицу до размера изделия  $h_d$  с вытяжкой  $\lambda = (h_m \times b) / F_{исд}$  ( $F_{исд}$  – площадь поперечного сечения изделия). В процессе деформации при различных окружных скоростях валков действует приведенная на рис. 1 схема контактных напряжений трения  $\tau_i$ , причем  $\tau_1 \neq \tau_2$  в силу различных скоростей скольжения поверхностей валков по заготовке. Точки приложения равнодействующих сил  $P_1$  и  $P_2$  в условиях асимметричности процесса деформации располагаются в различных плоскостях, а моменты на валках будут определяться плечом  $a_i$  каждой силы по отношению к осям валков  $O_1$  и  $O_2$ . Сила, необходимая для выдавливания  $P_{пр}$ , создает подпорное давление в остальном очаге деформации. Такой характер действия сил обуславливает особенности построения моделей процесса в зависимости от частоты вращения валков.

Одним из основных факторов, определяющих энергосиловые параметры процесса совмещенной прокатки-прессования, является вытяжка при выдавливании, в связи с чем были выполнены экспериментальные исследования на установке СПП-200 для различных сплавов. На рис. 2 и 3 представлены зависимости сил на матрице и валках, а также моментов при деформировании в горячем состоянии при температуре 480°C сплава АД31 в различных калибрах.

Анализ экспериментальных данных показал следующее. Общая закономерность заключена в том, что увеличение вытяжки приводит к росту сил на матрице (это свойственно процессу выдавливания) и на валках в связи с ростом давления подпора в очаге деформации от действия силы выдавливания. Установлено, что сила на валках всегда больше силы на матрице: это обусловлено большей контактной поверхностью заготовки со стенками калибра, чем с поверхностью матрицы. Уменьшение площади калибра почти в два раза при одной и той же вытяжке приводит к практически такому же снижению сил на матрице и валках при малых вытяжках, а с увеличением вытяжки

к проектированию промышленного агрегата, для чего выполнено его структурно-параметрическое описание с помощью набора проектных параметров и сформулированы задачи разработки моделей функционирования. Весь комплекс теоретических исследований, обобщенный в работе [1], был ориентирован, в основном, на моделирование процесса прокатки-прессования с симметричным очагом деформации и не учитывал в полной мере кинематические особенности процесса деформации. В данной статье рассмотрены модели для расчета таких проектных параметров, как силы на валках и матрице, моменты на валках, которые определяют мощность привода в зависимости от скорости вращения валков, требований к

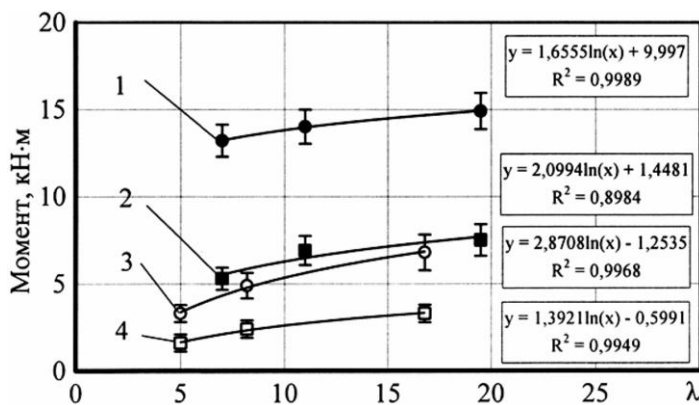


Рис. 3. Зависимость моментов на валках  $M_1$  и  $M_2$  от вытяжки  $\lambda$  при деформировании сплава АД31:

1 –  $M_2$ , калибр 14×22 мм; 2 –  $M_1$ , калибр 14×22 мм;  
3 –  $M_2$ , калибр 11×15 мм; 4 –  $M_1$ , калибр 11×15 мм

разность сил в различных калибрах возрастает. Последнее обусловлено нелинейным характером прироста контактной площади калибра при увеличении его размеров.

Анализ чувствительности энергосиловых параметров процесса, приведённых на рис. 4, позволит выявить следующие общие закономерности:

- изменение силы на валках очень чувствительно к изменению силы прессования;
- момент на валке с врезом выше момента на валке с выступом практически в 2 раза, что связано с разностью площадей контакта стенок калибра с заготовкой при деформации, а скорость изменения моментов на валках значительно ниже, чем скорость роста силы на валках от силы прессования, что характеризуют значения коэффициентов чувствительности для обрабатываемых металлов, причем более чувствительно изменение моментов к силе выдавливания;
- существует корреляционная взаимосвязь между моментами на валке с выступом и валке с врезом.

Процесс совмещенной прокатки-прессования (см. рис. 1) осуществляется в закрытом калибре, образованном двумя валками разного катающего диаметра ( $R_1 > R_2$ ), перекрытого матрицей в сечении  $CC'$ . Валки вращаются с одинаковой частотой, но катающие поверхности калибра имеют разные окружные скорости, в частности  $v_{61} > v_{62}$ , а скорость боковых стенок калибра  $v_{6к}$  изменяется пропорционально изменению радиуса от  $R_2$  до  $R_{2к}$ . В качестве исходной заготовки используется непрерывно-литой брус с поперечным сечением  $h_0 \times b_0$ , который задается в калибр (сечение  $AA'$ ) и подвергается деформации в зоне прокатки до сечения  $BB'$ , распрессовывке до сечения  $CC'$  и выдавливанию (прессованию) через матрицу до размера изделия  $h_d$  с вытяжкой  $\lambda = (h_m \times b) / F_{изд}$  ( $F_{изд}$  – площадь поперечного сечения изделия). В процессе деформации при различных окружных скоростях валков действует приведенная на рис. 1 схема контактных напряжений трения  $\tau_i$ , причем  $\tau_1 \neq \tau_2$  в силу различных скоростей скольжения поверхностей валков по заготовке. Точки приложения равнодействующих сил  $P_1$  и  $P_2$  в условиях асимметричности процесса деформации располагаются в различных плоскостях, а моменты на валках будут определяться плечом  $a_i$  каждой силы по отношению к осям валков  $O_1$  и  $O_2$ . Сила, необходимая для выдавливания  $P_{пр}$ , создает подпорное давление в остальном очаге деформации. Такой характер действия сил обуславливает особенности построения моделей процесса в зависимости от частоты вращения валков.

На первом этапе рассмотрим зону продольной прокатки, поскольку в зоне распрессовки длина

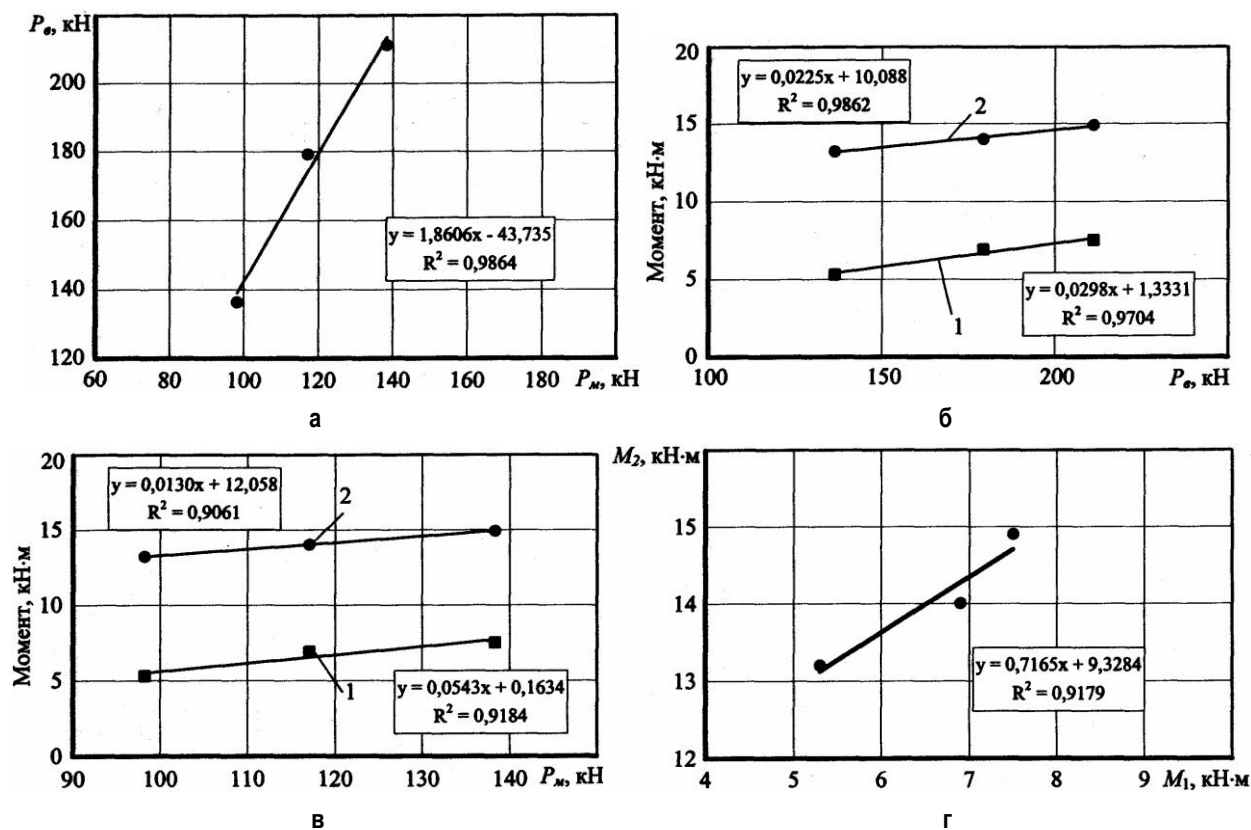


Рис. 4. Взаимосвязь энергосиловых параметров при прокатке-прессовании изделий из сплава АД31 при температуре 480 °С:

а – силы на валках  $P_v$  от силы на матрице  $P_m$ ; б – крутящих моментов на валках от силы на валках  $P_v$ ; в – крутящих моментов на валках от силы на матрице  $P_m$ ; г – крутящих моментов  $M_2$  от  $M_1$ ; 1 –  $M_1$ ; 2 –  $M_2$

дуг контакта на валках  $l_{p1}$  и  $l_{p2}$  определена удалением матрицы от плоскости  $O_1O_2$ , проходящей через ось валков.

Из условия равновесия заготовки в зоне продольной прокатки  $ABB'A'$  силы  $Y_2=Y_1$ , тогда, основываясь на подходе А.П. Грудева [2] к анализу прокатки на валках разного диаметра, можно записать

$$p_{cp1} b \sqrt{R_1 \Delta h_1} = p_{cp2} b \sqrt{R_2 \Delta h_2}, \quad (1)$$

где  $p_{cp}$  – среднее давление;  $b$  – ширина калибра;  $\Delta h_1/2$  и  $\Delta h_2/2$  – частные обжатия соответственно со стороны валка с выступом и валка с врезом, причём  $\Delta h = \Delta h_1/2 + \Delta h_2/2$ .

Из условия (1) можно записать следующее соотношение:

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{R_2}{R_1} \left( \frac{p_{cp2}}{p_{cp1}} \right)^2 = \frac{1}{m^2} \frac{R_1}{R_2}, \quad (2)$$

где, учитывая различие контактных давлений на валках 1 и 2,  $m = p_{cp1}/p_{cp2}$ .

Однако в подходе А.П. Грудева нет методики определения  $m$  и не учитывается влияние разности скоростей вращения валков на геометрию очага деформации. Для определения  $m$  предложено следующее уравнение:

$$m = \frac{\left[ 1 + \left( 2C_1 \mu_1 \sqrt{\frac{2R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}} \right) / h_0 - \frac{R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2} \right] \sqrt[n]{v_{e1}}}{\left[ 1 + \left( 2C_2 \mu_2 \sqrt{\frac{2m^2 R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}} \right) / \left( h_0 - \frac{m^2 R_1 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2} \right) \right] \sqrt[n]{v_{e2}}}, \quad (3)$$

где согласно Гелеи  $C = 0,8(l_d/h_{cp})^2 - 4,9(l_d/h_{cp}) + 9,6$ ,  $\mu$  – коэффициент трения по Зибелю.

Длина зон очага деформации с учетом различных окружных скоростей валков будет равна

$$l_{d1} = R_1 \sqrt[4]{\frac{v_{e1}}{v_{e2}}} \sqrt{2 \frac{R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}}, \quad l_{d2} = R_2 \sqrt[4]{\frac{v_{e1}}{v_{e2}}} \sqrt{2 \frac{m^2 R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}}. \quad (4)$$

Для расчета скоростей деформации, необходимых для определения сопротивления деформации металла при горячей обработке, получены следующие зависимости:

$$\bar{\xi}_1 = \frac{2\omega_1}{h_0} \sqrt{\frac{R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}}; \quad \bar{\xi}_2 = \frac{2\omega_2}{h_0} \sqrt{\frac{m^2 R_1 R_2 \Delta h}{m^2 R_1 + R_2}}. \quad (5)$$

При расчёте сил на матрице и валках необходимо учитывать температурные условия в очаге пластической деформации. На основании решения уравнения теплопроводности при деформации заготовки в виде бруса и подстановки теплофизических характеристик для алюминиевого сплава АД31 нами получено следующее уравнение:

$$T_{\text{вод}} = T_0 + 0,315(\gamma p_{np} + \Delta T_{\text{прок}} + \Delta T_{\text{рас}}) + \Delta T_{\text{мп}} - \\ - 2 \left[ T_0 + 0,315(\Delta T_{\text{прок}} + \Delta T_{\text{рас}}) + \Delta T_{\text{мп}} - T_{\kappa} \right] \cdot \left[ 1 - \exp(-1,5\sqrt{\eta/Pe}) \right]^2, \quad (6)$$

где  $T_0$  – температура заготовки;  $p_{np}$  – давление прессования;  $\gamma$  – функция критериев Пекле  $Pe$  и Нуссельта  $\eta$ , определяемых по следующим зависимостям:  $Pe = \bar{v}h_0/a$ ,  $\eta = l_{d1}/h_0$  и  $\gamma = \eta \cdot Pe / (1 + \eta \cdot Pe)$ , причём  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\bar{v}$  – средняя скорость перемещения сечений в очаге деформации,  $\bar{v} = 2R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ .

Повышение температуры за счет тепловыделения от деформации и трения определяется следующими зависимостями:

$$\Delta T_{\text{прок}} = \frac{J}{c\rho} 1,15\sigma_s \ln \frac{h_0}{h_{\kappa}}; \quad \Delta T_{\text{рас}} = \frac{J}{c\rho} 1,15\sigma_s \ln \frac{h_m}{h_{\kappa}}; \quad \Delta T_{\text{мп}} = \tau_s \frac{2(l_{d1} + l_{p1})(h_0 + b)}{h_0 b}.$$



Для условий:  $R_1=210$  мм,  $R_2=180$  мм,  $\lambda=15,1$ ,  $T_0=480^\circ\text{C}$  (сплав АД31) результаты расчёта по зависимости (6) представлены на рис. 5. Анализ полученных зависимостей показал:

- с увеличением скорости вращения валков сокращается время теплопередачи между металлом и валками, соответственно уменьшается падение температуры заготовки в зоне прокатки и распрессовки, что приводит к повышению температуры изделия на выходе из матрицы;
- увеличение скорости вращения валков снижает влияние разности начальной температуры между валками и металлом на температуру изделия на выходе из матрицы.

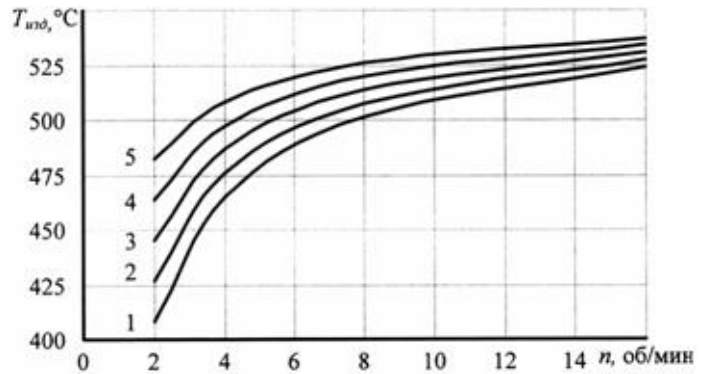


Рис. 5. Расчетная зависимость температуры изделия  $T_{изд}$  на выходе из матрицы от частоты вращения валков  $n$ : 1 –  $T_0=150^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T_0=200^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T_0=250^\circ\text{C}$ ; 4 –  $T_0=300^\circ\text{C}$ ; 5 –  $T_0=350^\circ\text{C}$

Общий подход к построению модели расчета средних контактных напряжений на валках и матрице состоял в следующем:

- определение среднего давления в зоне прокатки в калибре с учетом давлений подпора, возникающих при осадке заготовки в зоне распрессовки и выдавливании в канал матрицы;
- определение среднего контактного давления в зоне распрессовки с учетом давления подпора при выдавливании заготовки;
- вычисление общего среднего контактного давления от контактных давлений в зоне прокатки и распрессовки;
- корректировка общего среднего контактного давления с учетом его снижения от разности окружных скоростей валков при соответствующей степени деформации.

На основании такого подхода получили формулу для определения средних контактных напряжений на валках

$$P_{вал} = \bar{\sigma}_s(\bar{\xi}, T) \left( 1,15 + \frac{3}{4} \cdot 1,15 \ln(\eta) + \frac{3}{4} \frac{P_{np}}{\bar{\sigma}_s(\bar{\xi}, T)} - 1,15 \frac{l_{p1}}{\sqrt{3} \cdot b} \right), \quad (7)$$

где  $\bar{\sigma}_s$  – среднее сопротивление деформации в функции от средней скорости деформации и температуры;  $b$  – ширина калибра;  $\eta = h_m/h_k$ ;  $p_{np}$  – давление выдавливания,  $p_{np} = \bar{\sigma}_s(\bar{\xi}_{np}, T_{np})(1 + 1,4 \ln \lambda)$ .

Рассогласование окружных скоростей валков приводит к снижению средних контактных напряжений на валках, поэтому предлагается учитывать снижение среднего контактного давления в зависимости от разности окружных скоростей валков при соответствующей степени деформации следующей зависимостью:

$$\Delta p = P_{вал} \cdot \left( \sqrt[4]{\frac{v_1}{v_2}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^2, \quad (8)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – окружные скорости валков,  $\varepsilon$  – степень деформации при прокатке,  $\varepsilon = \Delta h/h_0$ .

С учетом (8) среднее контактное напряжение на валках будет равно  $\bar{p}_{вал} = P_{вал} - \Delta p$ , а сила на валках  $P = (P_{вал} - \Delta p)(l_{d1} + l_{p1})b$ .

Сравнение экспериментальных и расчетных данных (рис. 6) показало достаточно высокую схожимость расчетных и экспериментальных значений сил на матрице и валках, кроме того, работоспособность и достоверность разработанных моделей подтверждается сохранением закономерностей изменения расчетных данных при изменении экспериментальных параметров вытяжки при выдавливании.

Из рис. 1 видно, что равнодействующие  $P_1$  и  $P_2$  образуют с центрами валков разные по величине плечи  $a_1$  и  $a_2$ , поэтому моменты, которые необходимо приложить от привода к каждому валку, будут различны:

- для валка с врезом (валок с  $R_2$  по дну калибра)

$$M_2 = P_2 \cdot a_2 = P_2 R_2 \sin(\gamma_2 \pm \beta_2); \quad (9)$$

- для валка с выступом (валок с  $R_1$  по выступу)

$$M_1 = P_1 \cdot a_1 = P_1 R_1 \sin(\gamma_1 \pm \beta_1), \quad (10)$$

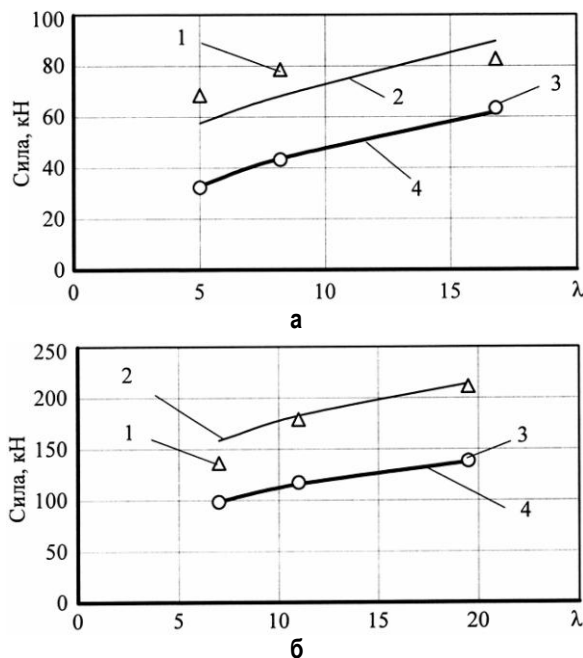


Рис. 6. Зависимость силы на матрице  $P_m$  и валках  $P_p$  от вытяжки  $\lambda$  при прессовании на установке СИИ-200 сплава АД31 при температуре заготовки  $480^\circ\text{C}$ :

а – калибр  $11 \times 15$  мм; б – АД31, калибр  $14 \times 22$  мм;  
 1 – сила на валках  $P_p$  экспериментальная; 2 – сила на валках  $P_p$  расчетная; 3 – сила на матрице  $P_m$  экспериментальная; 4 – сила на матрице  $P_m$  расчетная

Моменты от вертикальной силы:

$$M_{1Y} = Y_1 \psi_1 l_{d1}; \tag{16}$$

$$M_{2Y} = Y_2 \psi_2 l_{d2}, \tag{17}$$

где  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , – эмпирические коэффициенты плеча.

На основании анализа экспериментальных данных предлагается для расчёта использовать:  $\psi_1$  для алюминия и меди  $0,05 \dots 0,1$ , для свинца  $0$ ;  $\psi_2$  для алюминия и меди  $0,5 \dots 0,6$ , для свинца  $0 \dots 0,1$ .

Сравнение экспериментальных и расчетных энергосиловых параметров при прокатке–прессовании на установке СПП200

Размеры изделия, мм	Материал	Поперечное сечение заготовки $h_0 \times b_0$ , мм <sup>2</sup>	Сечение калибра $h \times b$ , мм <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки при прессовании $\lambda$	$T_{заг}$ , °C	Моменты, кН·м					
						$M_1$ (эксп)	$M_1$ (расч)	$\Delta M_1$ , %	$M_2$ (эксп)	$M_2$ (расч)	$\Delta M_2$ , %
Ø4	Pb+2%Sb	22×22	14×22	43,8	20	2,80	2,89	-3,11	5,90	5,46	7,48
Ø6	Pb+2%Sb	22×22	14×22	19,5	20	3,50	3,31	5,54	6,10	6,02	1,23
Ø8	Pb+2%Sb	22×22	14×22	11,0	20	4,00	3,82	4,63	6,40	6,19	3,25
Ø6	АД31	20×20	14×22	19,5	480	5,30	6,24	-17,72	13,20	12,53	5,07
Ø8	АД31	20×20	14×22	11,0	480	6,90	6,82	1,12	14,00	13,46	3,85
Ø10	АД31	20×20	14×22	7,0	480	7,50	7,60	-1,32	14,90	14,80	0,70
Ø5	АД31	14×14	11×15	16,8	480	1,60	1,65	-2,87	3,30	3,29	0,38
Ø7	АД31	14×14	11×15	8,2	480	2,40	2,43	-1,13	4,90	4,58	6,55
Ø9	АД31	14×14	11×15	5,0	480	3,30	3,26	1,12	6,80	6,32	7,04
Ø8	А7	20×20	13×22	11,0	470	4,90	4,89	0,14	6,50	6,50	-0,06
Ø9,5	А7	20×20	13×22	7,8	470	5,30	5,22	1,53	7,20	7,16	0,59
Ø11	А7	20×20	13×22	5,8	470	5,80	5,54	4,48	8,00	7,82	2,28
Ø5	А7	14×14	11×15	16,8	470	1,30	1,40	-7,92	3,00	2,85	5,07
Ø7	А7	14×14	11×15	8,2	470	1,60	1,56	2,63	3,40	3,30	2,96
Ø9	А7	14×14	11×15	5,0	470	2,20	2,19	0,45	4,60	4,52	1,82

причем знак минус берется тогда, когда точка приложения равнодействующей находится правее линии  $BB'$ .

Поскольку  $(\gamma_2 + \beta_2) > (\gamma_1 + \beta_1)$  и  $P_2 > P_1$ , то из формул (9) и (10) следует, что  $M_2$  больше  $M_1$ , т.е. даже при условии  $P_2 \cong P_1$  для привода нижнего валка требуется больший крутящий момент, чем для привода нижнего. Этот вывод хорошо подтверждается приведенными ранее экспериментальными данными на рис. 2.

Силы  $P_1$  и  $P_2$  зависят от  $P_{np}(\lambda)$ , следовательно,  $M_1[P_1(P_{np}(\lambda))]$  и  $M_2[P_2(P_{np}(\lambda))]$  будут возрастать при увеличении вытяжки  $\lambda$  при выдавливании, что соответствует экспериментальным данным, приведенным на рис. 2.

Исходя из условия равновесия горизонтальных сил можно записать

$$P_{np} - X_1 - X_2 = 0, \tag{11}$$

откуда следует:

$$X_1 = P_{np} - X_2; \tag{12}$$

$$X_2 = P_{np} - X_1. \tag{13}$$

Тогда с учетом (12) и (13) моменты на валках от горизонтальных сил будут равны:

$$M_{1X} = (P_{np} - X_2)R_1; \tag{14}$$

$$M_{2X} = (P_{np} - X_1)R_2. \tag{15}$$

Сравнение экспериментальных и расчетных данных представлено в **таблице**. Анализ их сравнения показывает достаточно высокую сходимость расчетных значений с экспериментальными, выполняются закономерности, присущие практическим данным. Следовательно, предложенная модель расчета моментов может быть рекомендована для практического использования в технологических и проектных расчетах.

### Выводы

На основании экспериментальных и теоретических исследований для процесса совмещенной прокатки-прессования разработан комплекс моделей:

- геометрии асимметричного очага деформации при прокатке-прессовании для определения следующих параметров: углов захвата и длины контактных дуг на валках в зависимости от радиусов валков и окружных скоростей их вращения; длины очага деформации; распределения обжатий под валками; коэффициента формы очага деформации под каждым валком и среднего для очага деформации; площадей контактных поверхностей;
- расчета средних давлений на валки при прокатке-прессовании с учетом подпора от давления прессования и снижения давлений на валках при сочетании разности их окружных скоростей вращения со степенью деформации. Показано, что в условиях совмещенной прокатки-прессования правомерно применение расчета средних давлений по средним геометрическим размерам асимметричного очага деформации;
- оценки температурных условий процесса совмещенной прокатки-прессования с учётом двустороннего теплового потока в калибре;
- расчета моментов на валках.

### Библиографический список

1. Сидельников С.Б. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов / С.Б. Сидельников, Н.Н. Довженко, Н.Н. Загиров. М.: МАКС Пресс, 2005. 344 с.
2. Грудев А.П. Теория прокатки: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1988. 240 с.

УДК 621.771.24

Ю. А. Бодяев, Б. А. Басов, Г. А. Куницын, Р. В. Файзулина, О. Н. Молева, Д. В. Соханчук

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКИХ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС ПОД ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ

При введении в эксплуатацию агрегата полимерных покрытий австрийской фирмы «Voest-Alpine» в 2004 году в ОАО «ММК» окрашивание производили на оцинкованной полосе. Но в современных условиях появились потребители, как на внутреннем, так и на внешнем рынке, которым потребовался окрашенный черный прокат размерами 0,22...0,40×820...850 мм. В связи с этим возникла необходимость в разработке технологии производства тонких холоднокатаных полос под полимерные покрытия.

Основными требованиями к металлопрокату для окрашивания являются: микрорельеф и чистота поверхности, а также плоскостность полос.

Поскольку вышеуказанный сортамент соответствует сортаменту цеха жести, холоднокатаный прокат под окрашивание производили по технологии производства жести с очисткой металла в агрегатах электролитического обезжиривания. Степень очистки полос после обезжиривания составила в среднем 97–98%.

Плоскостность холоднокатаных полос под полимерное покрытие обеспечивается профилем поперечного сечения горячекатаного трав-

ленного подката с выпуклостью от 0,02 до 0,04 мм. Холодная прокатка горячекатаных полос с клиновидным профилем от 0,05 мм и выше приводила к односторонней волнистости полос, прохождение которых по агрегату полимерных покрытий сопровождалось дефектами, в частности «непрокрасами».

Так как микрорельеф поверхности полосы определяется процессом дрессировки, то можно влиять на этот показатель, используя рабочие валки с различной шероховатостью. Оценку поверхности производили по двум показателям:  $Ra$  – среднее арифметическое отклонение микропрофиля и  $n$  – количество пиков на единицу поверхности.

Измерения микрорельефа поверхности полосы производили прибором «Профилограф-профилометр 252», валков – профилометром типа «Pocket Surf».

Комплектовку валков дрессировочных станков производили по двум вариантам:

- первая клеть – насеченные валки; вторая – шлифованные;
- обе клетки – насеченные валки.

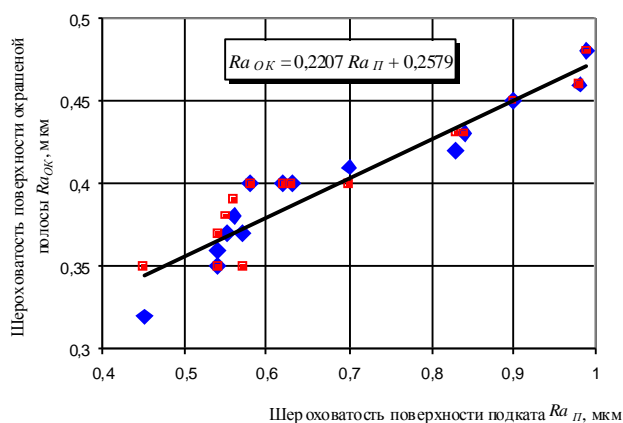


Рис. 1. Зависимость показателя шероховатости  $Ra_{OK}$  окрашенной полосы от показателя  $Ra_{П}$  стальной основы

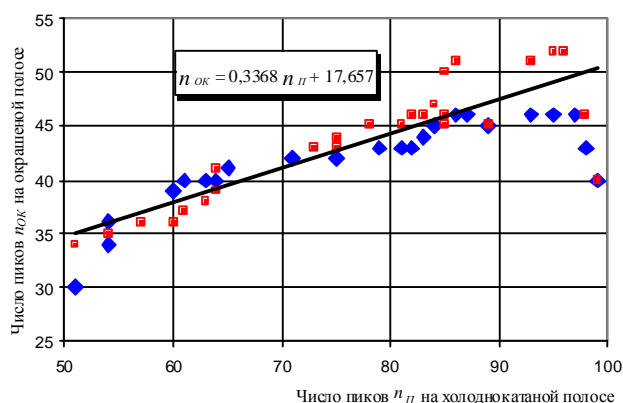


Рис. 2. Зависимость показателя шероховатости  $n_{OK}$  окрашенной полосы от показателя  $n_{П}$  стальной основы

При повышенных требованиях к качеству поверхности полосы в технологию подготовки валков дрессировочных станов вошли следующие операции по первому варианту:

- черновое шлифование на вальцешлифовальном станке;
- чистовое шлифование на вальцешлифовальном станке.

В результате чистового шлифования оценка шероховатости поверхности валков по показателю  $Ra$  составила 0,45...0,65 мкм.

По второму варианту после чистовой обработки валки насекали в дробеметной установке «Вибратор».

Насечку валков проводили за 5 циклов со скоростью вращения ротора в первых двух 1100–1200 об/мин, в последующих трех – 1000 об/мин стальной дробью WGH-12 (Франция) без добавления новой порции дроби в процессе обработки. При этом показатель шероховатости валков  $Ra$  получили на уровне 1,1...1,3 мкм.

По двум вариантам комплектовок продрессировали две опытные партии холоднокатаного проката для последующего нанесения полимер-

ного покрытия. Дрессировку полос производили со степенью обжатия 0,8–1,4% с профилировкой валков первой и второй клеток 0,00–(–0,05) мм.

На агрегате полимерных покрытий прокат окрасили полиэфирной эмалью CD 21-0649, RAL 9003 (сигнально-белый) ф. «BASF» с использованием бесхроматного полиэфирного грунта CP 21-0937 ф. «BASF» и обратной эмали E203/GREY F ф. «AKSO NOBEL».

Образцы для измерения параметров шероховатости отбирали от холоднокатаных дрессированных полос до и после окрашивания от обеих опытных партий.

Для оценки влияния исходных параметров шероховатости холоднокатаной полосы на параметры окрашенной использовали регрессионно-корреляционный анализ. Полученные зависимости приведены на рис. 1 и 2.

Зависимости показателей шероховатости  $Ra_{OK}$  и  $n_{OK}$  окрашенной полосы от показателей шероховатости поверхности  $Ra_{П}$  и  $n_{П}$  стальной основы имеют вид:

$$Ra_{OK} = 0,2207 Ra_{П} + 0,2579;$$

$$F_{расч} = 287,37; R = 0,95; R^2 = 0,91; \quad (1)$$

$$n_{OK} = 0,3368 n_{П} + 17,6570;$$

$$F_{расч} = 185,48; R = 0,93; R^2 = 0,87, \quad (2)$$

где  $Ra_{OK}$  – среднеарифметическое отклонение микрогеометрии окрашенной полосы;  $Ra_{П}$  – среднеарифметическое отклонение микрогеометрии стальной основы;  $n_{OK}$  – количество пиков на единицу поверхности окрашенной полосы;  $n_{П}$  – количество пиков на единицу поверхности стальной основы;  $F_{расч}$  – расчетное значение коэффициента Фишера;  $R$  – коэффициент множественной корреляции;  $R^2$  – коэффициент детерминации.

Надежность  $\alpha=0,95$  вышеизложенных зависимостей показывает, что данные модели адекватно описывают исследуемый процесс.

Из значений коэффициентов детерминации первой модели  $R^2=0,91$  и второй  $R^2=0,87$  следует, что в основном на оценку качества микро рельефа поверхности окрашенной полосы влияет исходная шероховатость стальной основы ( $Ra$ ) – 91% и количество пиков на единицу поверхности ( $n$ ) – 87%. Остальные 9 и 13% приходятся на долю других показателей, не присутствующих в модели.

После визуального осмотра и испытаний окрашенных образцов установили, что разная подготовка рабочих валков дрессировочных станов не повлияла на качество поверхности и физико-механические свойства полимерного покрытия. При переработке опытных партий выход годного окрашенного проката составил 99,9%.



УДК 621.778

А. Б. Сычков

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА КАЧЕСТВЕННОЙ КАТАНКИ

Металлургический комплекс ММЗ включает в себя современное оборудование: 120-тонную дуговую сталеплавильную печь (ДСП), оснащенную альтернативными источниками энергии (газокислородными горелками по периметру и донными продувочными фурмами, аналогичными системе "Danarc"); установку ковш-печь (УКП) для внепечной обработки стали; вакууматор типа VD/VOD; шестиручьевую МНЛЗ с обеспечением полной защиты разливаемых струй металла от вторичного окисления атмосферным воздухом и электромагнитного перемешивания стали. Прокатный передел представляет современный двуниточный стан (модернизация комбинированного непрерывного мелко-сортнопроволочного стана 320/150) в составе двух нагревательных печей с шагающим подом (ПШП), термостата, черновой 10-клетевой, промежуточной 6-клетевой, чистовой сортовой 5-клетевой групп, а также дополнительной подгруппы клеток С и D и проволочного блока. Максимальные рабочие скорости сортовой группы составляют 19 м/с, проволочного блока – 110 м/с. В конце сортовой и проволочной линий находятся установки для упрочняющей или разупрочняющей поточной термомеханической обработки проката в мерных длинах и бунтовой продукции катанки и арматуры в бунтах, в частности на проволочной линии расположена современная линия длинного Stelmor. Обе технологические линии заканчиваются адьюстажными участками. На таком современном оборудовании освоено производство высококачественного арматурного проката широкого назначения различных классов прочности, а также катанки для последующего волочения из низкоуглеродистой, высокоуглеродистой, легированной кремнемарганцевой и хромомарганцево-молибденованадиевой сталей. Краткая характеристика такой катанки приводится ниже.

### 1. Прокат для холодной объемной штамповки

Внедрение новых прогрессивных методов холодной объемной штамповки (ХОШ) при производстве высокопрочных крепежных изделий из углеродистых и низколегированных сталей стало возможным благодаря разработке и внедрению новых технологических процессов производства проката для ХОШ, сматываемого в бунты. Как правило, для производства такого

качественного металлопроката в мировой практике применяют непрерывно-литую заготовку (НЛЗ) крупного сечения со стороной 200...400 мм с последующей деформацией с достаточной большой степенью для полной выработки литой структуры. Поэтому, например, для получения высококачественного проката на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) и Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК, Россия) НЛЗ сечением 250×300 мм и 300×400 мм прокатывают на обжимном стане на заготовки более мелкого сечения – 125×125 мм и 130×130 мм. Затем контролируют качество катаных заготовок в линии дефектоскопии, после чего удаляют обнаруженные и отмеченные дефекты на обдирочно-шлифовальных станках или огневым способом.

В 2003г. начато освоение производства проката для ХОШ на ММЗ.

Особенностью технологии производства проката на ММЗ является разливка стали в НЛЗ малого сечения (125×125 мм). Опыт производства и переработка проката для ХОШ из такого металла показал [1], что благодаря меньшему размеру сечения НЛЗ по сравнению с обычно применяемыми улучшаются условия кристаллизации стали, устраняется сегрегация химических элементов по длине заготовки, устраняются усадочные явления. Однако прокатка сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры [2]. Следует отметить, что в мировой практике нет опыта производства проката для холодной высадки из НЛЗ малого сечения при отсутствии в составе оборудования средств контроля поверхностных дефектов заготовки и абразивной зачистки этих дефектов. Основным требованием к горячекатаному прокату для ХОШ является способность выдерживать осадку в холодном состоянии на величину деформации 66 или 75%. Согласно ГОСТ 10702-78 на осажённых образцах не должно быть надрывов и трещин, но по согласованию изготовителя с потребителем допускается наличие трещин глубиной не более 0,1 мм для проката диаметром до 20 мм и не более 0,2 мм для проката диаметром 20 мм и выше.

В международной практике качество поверхности осажённых образцов оценивается по специальной шкале [3], которой предусмотрено

пять классов дефектов: 0; 1; 2; 3 и 4, причем для ХОШ допускается класс дефекта не более 1, а средневзвешенное значение этого показателя (так называемого коэффициента осаживания  $F$ ) должно быть в пределах 0,3–0,7 в зависимости от того, будет ли применяться при последующем переделе холодная или горячая высадка. Таким образом, без указанных выше согласований к качеству поверхности проката требования отечественных НД соответствуют 0-му классу дефектов по эталонной шкале.

Статистическими исследованиями, проведенными в 2001–2002 гг., показано, что в 86% случаев катанка диаметром 5,5–14,0 мм из низкоуглеродистой стали типа 1005–1022, произведенная на ММЗ по текущим заказам, соответствует требованиям осадки для группы бб – основному требованию к прокату для ХОШ.

Учитывая перечисленные выше аспекты, в условиях ММЗ разработана и внедрена технология производства бунтового проката для ХОШ из стали 20Г2Р диаметром 5,5–14 мм из незачищенной НЛЗ малого сечения (125×125 мм), что не имеет аналогов в мировой практике. Например, в условиях ОАО "Криворожсталь", где из слитка весом 9...12 т изготавливают катаную заготовку сечением 150×150 мм, которую затем зачищают от поверхностных дефектов и прокатывают в катанку, выход качественной заготовки из спокойной стали составляет только 77...85%.

Нами разработана пионерская сквозная технология [4, 5] производства катанки под ХОШ, заключающаяся в следующем. Сталь марки 20Г2Р изготавливают без микродобавок алюминия, который в традиционной технологии связывает азот в нитрид  $AlN$ , а добавляемый бор в количестве 0,001...0,005% в глубокоокисленную сталь остается в свободном – эффективном состоянии и тем самым увеличивает прокаливаемость проката для ХОШ [6]. Для этой цели (повышения прокаливаемости) применяют отдачу бора с повышенным содержанием – 0,006...0,012% при выполнении условия  $V=N_{общ}+0,003$  ( $N_{общ}$  – общий азот). При этом бор выполняет одновременно две функции: первая – связывает азот в нитрид бора  $BN$ , вторая – остаток несвязанного бора обуславливает высокую прокаливаемость стали. С другой стороны, связанный в нитрид бора азот выводится из твердого раствора внедрения, тем самым понижает деформацию кристаллической решетки феррита, повышает пластичность металла и делает сталь нестареющей [7]. Высокая пластичность катанки из стали 20Г2Р обусловлена и разупрочняющей термомеханической обработкой на линии Stelmor [8], заключающейся в высоко-температурном виткообразовании при 940...960°C, затем длительной квазиизотермиче-

ской выдержке под теплоизолирующими крышками без применения вентиляторного воздуха со скоростью охлаждения 0,25...0,15°C/с (скорость транспортера витков катанки по роликовому транспортеру 0,09...0,12 м/с). При этом обеспечиваются следующие механические свойства катанки:  $\sigma_b \leq 580 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\Psi \geq 60\%$ . Переработка катанки диаметром 6,5...14 мм из стали 20Г2Р, произведенной по вышеописанной технологии, в количестве 2000 т на ОАО "Завод Красная Этна" дала положительные результаты при изготовлении деталей высокопрочного крепежа класса 8,8 с группой осадки бб (предпочтительно) и даже 75.

## **2. Катанка прямого волочения из низкоуглеродистой стали**

Для получения катанки повышенной деформируемости (прямого волочения до диаметра – 0,5–0,6 мм без умягчающей термической обработки) и с окалиной, легкоудаляемой и механическим, и химическим способами использовали пластифицирующее влияние микродобавок бора и разупрочняющую технологию на линии Stelmor с регулируемым воздушным охлаждением [7–9].

Технология производства низкоуглеродистой катанки прямого волочения из НЛЗ сечением 125×125 мм разработана в условиях ММЗ и предусматривает следующее: модифицирование электростали кальцием (до 0,0025%) и микролегированием бором (до 0,010%) с обеспечением отношения  $B/N \approx 0,8$ ; применение основных футеровок стальной и промковша; полную или частичную защиту разливаемой струи металла от вторичного окисления; температуру раскатов перед проволочным блоком после водяного охлаждения в нулевой секции не более 950–970°C; температуру виткообразования 940–970°C; скорость движения витков катанки на роликовом транспортере не более 0,3–0,4 м/с (преимущественно 0,2...0,3 м/с); регулируемое воздушное охлаждение блоками струйного охлаждения (БСО): 3...4 БСО со скоростью вращения двигателей 600...800 мин<sup>-1</sup> в зависимости от диаметра катанки и скоростью охлаждения не более 5°C/с.

Установлено, что при наличии в твердом растворе только "химически нерастворимого" бора в виде  $BN$  достигается высокая степень пластификации стали исследованных марок по сравнению с аналогичными сталями без добавок бора: предел прочности снижается на 30–55 Н/мм<sup>2</sup>; размер действительного зерна увеличивается на 1,5–2 номера; снижаются количество и размеры структурно-свободного цементита. Такой эффект достигается при условии, что низкоуглеродистая катанка подвергается разупрочняющей термомеханической обработке [7, 8] на линии Stelmor.

Таким образом, показано, что катанка из спокойной стали марок типа 1005, С4D и С9D (ASTM A 510M; EN 10016) успешно конкурирует с катанкой из кипящих сталей аналогичного состава по уровню пластичности. Такой металл способен к прямому волочению с диаметра 5,5 в проволоку диаметром 0,5 мм ( $\epsilon_{\Sigma}=99,2\%$ ).

Для прогнозирования механических свойств и управления технологическим процессом производства катанки из низкоуглеродистой стали была разработана математическая модель, которая имеет высокие статистические показатели ( $R$ ,  $S_{\text{ост}}$ ,  $F$ ) адекватности реальному процессу. Наиболее значимо влияют на механические свойства низкоуглеродистой катанки химический состав стали (C, Mn, Si, Cr, Ni и Cu, выражаемые через углеродный эквивалент –  $C_3=C+\text{Mn}/5+\text{Si}/7+(\text{Cr}+\text{Ni}+\text{Cu})/12$  и бор), температура виткообразования и диаметр катанки. Менее значимо влияние времени охлаждения и содержания бора, что объясняется незначительным колебанием этих параметров при принятой технологии производства низкоуглеродистой катанки прямого волочения. Разработанная модель используется для расчета механических свойств низкоуглеродистой катанки в тех случаях, когда на линии Stelmog отключена система обдува воздухом витков катанки. При вводе в работу БСО принимается коррекция расчетного значения; например, при работе 4-х БСО со скоростью вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$  к рассчитанному значению предела прочности прибавляют  $10 \text{ Н/мм}^2$ .

Низкоуглеродистая катанка прямого волочения, подвергнутая охлаждению на линии Stelmog по разработанному режиму, имеет удельную массу окалины на поверхность в пределах  $8...12 \text{ кг/т}$ . При применении ускоренного прохождения температурного интервала ( $570...400^\circ\text{C}$ ), когда на границе металлооснова – окалины вместе с вюститом имеются участки магнетита, у которого за счет высокой адгезии к металлу ухудшается окалиноудаление, окалина удаляется полностью и при механическом, и химическом её способами перед волочением. Однако для химического удаления окалина должна быть плотной, без бластеров (вздутый окалины кислородом воздуха), формируемая при пониженных температурах виткообразования ( $\sim 900^\circ\text{C}$ ), а для механического, наоборот, требуется более толстый слой вюститной окалины, формируемой при  $950^\circ\text{C}$  и выше [9].

### 3. Катанка из низкоуглеродистой кремнемарганцевой стали для сварочной проволоки

Основные особенности микролегирования стали и производства катанки сварочного назначения остаются такими же, как для низкоуг-

леродистой стали и произведенной из неё катанки прямого волочения. Отличительные признаки имеет лишь технология воздушного охлаждения витков катанки на линии Stelmog: скорость транспортирования витков уменьшена до  $0,09-0,12 \text{ м/с}$ , что увеличило время выдержки катанки под теплоизолирующими крышками до  $1000-1380 \text{ с}$  и обеспечило скорость охлаждения металла на уровне  $0,25...0,15^\circ\text{C/с}$ . Последнее обусловлено необходимостью сведения к минимуму образования бейнито-мартенситных структур в катанке сварочного назначения.

При производстве катанки диаметром 5,5 мм сварочного назначения из НЛЗ сечением  $125 \times 125 \text{ мм}$  необходимо учитывать влияние микродезитной ликвации в стали [10]. В связи с этим для формирования качественной макроструктуры и минимизации ликвационных явлений в НЛЗ и катанке наиболее эффективны методы разлива стали с обеспечением максимального развития зоны равноосных кристаллов и подавления образования столбчатых кристаллов. К ним относятся электромагнитное перемешивание (ЭМП) разливаемой стали; виброимпульсное воздействие на кристаллизующийся слиток; методы механического и термического обжата НЛЗ с целью снижения развития ликвационных процессов; введение в кристаллизатор центральной затравки – проволоки из стали того же состава, что и разливаемый металл, с целью формирования второго направления кристаллизации и получения более равноосной структуры без ликвационного пятна в центре заготовки.

В условиях ММЗ исследована ликвация химических элементов в НЛЗ, раскатах и катанке. Изучена эффективность системы ЭМП конструкции ВНИИМЕТМАШ, в которой силовая катушка максимально приближена к разливаемому металлу (расположена непосредственно вокруг медной гильзы), что увеличивает ее эффективность по сравнению с системой ЭМП, у которой катушка располагается вокруг кристаллизатора. Результаты исследований показывают, что в НЛЗ и катанке имеются соответственно участки и остатки дендритного строения, что обуславливает наличие ликвационных полосок «шнуров» и структурной полосчатости, которые выявляются и в проволоке; основными ликвирующими элементами являются C, Mn и Si [10]; эффективность действия ЭМП снижается при увеличении степени перегрева металла над температурой ликвидус.

До настоящего времени технологическая пластичность катанки-проволоки из стали Св-08Г2С не обеспечивала прямое волочение в проволоку диаметром 1 мм и менее из-за наличия в структуре бейнито-мартенситных участков, микротвердость которых достигает  $\text{HV } 250...350$



при микротвердости матричной структуры в пределах HV 170...180. Возле бейнитно-мартенситных участков (БМУ) в проволоке из стали Св-08Г2С происходит образование трещин, вследствие чего резко снижается технологическая пластичность, и волочение проволоки на диаметры менее 2,2 мм сопровождается повышенной обрывностью. Полное исключение БМУ в сварочной легированной кремнемарганцевой стали возможно на базе анализа термокинетической диаграммы (ТКД), построенной нами [11], и результатов лабораторных и промышленных экспериментов. При полной изотермической выдержке при температуре 550...600°C в течение 1200...1380 с в металле катанки из стали Св-08Г2С формируется однородная ферритно-перлитная структура минимальной твердости (148...160 ед. HV). Обеспечение такой термообработки в потоке линии Stelmog возможно при проведении небольшой модернизации линии воздушного охлаждения (установка электронагревателей с циркуляционными вентиляторами). В настоящее время в условиях СЗАО ММЗ путем длительной квазиизотермической выдержки ( $V_{\text{охл}}=0,25...0,15^\circ\text{C}/\text{с}$ ) витков катанки на роликовом транспортере под теплоизолирующими крышками обеспечивается в основном ферритно-перлитная структура с небольшим количеством БМУ, не превышающем 5%. При этом сталь должна иметь в рамках марочного состава минимальное содержание упрочняющих и прокаливающих элементов, таких как С, Мн, Si, Р, Cr, Ni, Cu [12, 13]. Это обеспечивает уникальный уровень механических свойств катанки из легированной стали Св-08Г2С:  $\sigma_b \leq 500 \text{ Н/мм}^2$ ;  $\delta_5 \geq 35\%$ ;  $\delta_{10} \geq 28\%$ ;  $\Psi \geq 75\%$ . Деформируемость катанки из стали Св-08Г2С наблюдается высокая: в условиях ОАО "Межгосметиз-Мценск" при сухом волочении проволоки диаметром 2,2...1,8 мм обрывность не превышает  $0,5 \text{ т}^{-1}$ , мокром (проволока диаметром 1,6...0,8 мм) – в среднем не более  $1,7 \text{ т}^{-1}$  ( $0,8...3,5 \text{ т}^{-1}$ ).

Таким образом, производство катанки повышенной деформируемости сварочного назначения для прямого волочения освоено в условиях ММЗ.

#### 4. Катанка из легированной хромомолибденованадиевой стали типа СВ-08ХГСМФА сварочного назначения

На ММЗ в последние годы разработана Программа освоения эффективных видов качественной металлопродукции, обладающих высокой добавочной стоимостью и уникальным комплексом свойств. К такой продукции относятся и сварочная катанка из стали, легированной хромом, марганцем, кремнием, молибденом, ванадием, типа СВ-08ХГСМФА.

Анализ показывает, что по основным легирующим элементам (С, Мн, Si, Ni, Cr, Cu, Мо, V) обеспечены целевые значения; уровень примесных элементов (Р, S, Sn, Pb, Zn, Со, Nb, Al, Са, Ti) минимален и может характеризоваться как "следы". Содержание бора (0,0053%) соответствует требованиям технологической карты, но находится ближе к минимальному значению. Отношение В/Н=0,48 не оптимально, это отношение должно быть ближе к 0,80. Поэтому в будущем необходимо координировать содержание бора и азота с целью увеличения пластичности металла [7, 12]. Требования к значениям химических эквивалентов ( $C_3=0,340$ ,  $C_3'=0,462$  и  $Mn_3=1,172\%$ )\* следует ещё уточнить для анализируемой легированной марки стали сварочного назначения. Предстоит также смоделировать математические зависимости для расчетов статистически значимых химических эквивалентов с вводом в уравнение молибдена и ванадия с целью более точного, адекватного описания влияния химических элементов на свойства стальной катанки и её деформируемость при волочении. Однако это будет возможным только после набора статистически значимого объема расчетной выборки (не менее 50 плавов). Использование углеродного эквивалента  $C_3'$  не в полной мере правомерно, так как эта известная зависимость Международного института сварки действует относительно сварочных характеристик металла. Тем не менее, оценка качества металла по химическим эквивалентам, которые справедливы к легированной стали марки типа Св-08Г2С, очень оптимистична и дает предварительное заключение о достаточно высокой пластичности металла, что и подтверждается ниже.

Режимы охлаждения опытной катанки из стали марки СВ-08ХГСМФА аналогичны марке Св-08Г2С. Выбор высокой температуры виткообразования (~ 960°C) обусловлен необходимостью обеспечения улучшенного удаления окисной пленки с поверхности легированной катанки механическим способом перед волочением [11]. Прокатка металла на стане 320/150 характеризовалась устойчивостью и высокой стабильностью.

Механические испытания опытной плавки показывают следующее.

Требуемый заказом уровень механических свойств ( $\sigma_b \leq 70 \text{ кгс/мм}^2 = 686 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\psi \geq 48\%$ ) был впоследствии согласован на их факультативные значения. Однако прогнозировалось  $\sigma_b \approx 700...750 \text{ Н/мм}^2$ , но уже при настройке был получен весьма обнадеживающий результат:  $\sigma_b = 523 \text{ Н/мм}^2$ ;  $\sigma_T = 308 \text{ Н/мм}^2$ ;  $\delta_5 = 35,3\%$ ;  $\delta_{10} = 25,8\%$ ;  $\psi = 73,5\%$ .

\*  $C_3 = C + Mn/5 + Si/7 + (Cr + Ni + Cu)/12$ ;  
 $C_3' = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ ;  
 $Mn_3 = Mn + (C + Si)/3 + Cr/5 + Cu/9$ .



Последующие испытания на трех бунтах, проведенные на передних и задних концах бунтов в четырех точках по длине витков (по окружности витка), показали, что имеется достаточно большой разброс. Так, разница составила:  $\Delta\sigma_{\text{в}}=215 \text{ Н/мм}^2$ : 455...670 при среднем значении  $523 \text{ Н/мм}^2$ , а по боковым участкам бунта (по роликовому транспортеру линии Stelmor), где витки накладываются друг на друга толстым слоем:  $\Delta\sigma_{\text{в}}^{\text{бок}}=192 \text{ Н/мм}^2$ : 478...670 и  $530 \text{ Н/мм}^2$ ; по центральным участкам бунтов, где витки располагаются без наложения, в один слой:  $\Delta\sigma_{\text{в}}^{\text{центр}}=185 \text{ Н/мм}^2$ : 455...640 и  $516 \text{ Н/мм}^2$ .

Проведенные через 8 дней повторные испытания (передние и задние участки бунтов, по 8 испытаний по длине витка) показали, что разбег значений уменьшился. Внутрибунтовой разбег по  $\sigma_{\text{в}}$  составил  $\Delta\sigma_{\text{в}}^{\circ}=38...113/55 \text{ Н/мм}^2$ , в основном  $38...66 \text{ Н/мм}^2$ ;  $113 \text{ Н/мм}^2$  – артефакт.

Металлографические исследования показывают следующее.

Макроструктура НЛЗ имеет достаточно плотную поверхностную корочку, фактически без поверхностных дефектов (балл ПП – 0...0,5 при среднем значении 0,2). Остальные показатели макроструктуры по ОСТ 14-1-235-91 удовлетворительные за исключением осевых трещин (балл: 3...3,5 и 3,2), которые, впрочем, в готовой катанке не наблюдаются по причине того, что были не окислены и в процессе деформации заваривались. Геометрические параметры НЛЗ соответствуют внутривзаводским требованиям. Кристаллическая структура поперечного сечения исследованных НЛЗ имеет прикорковую и центральные зоны равноосных кристаллов и достаточно развитую ЗСК, которая обуславливает микродендритную ликвацию и наличие в готовой катанке бейнитомаргенсиных участков (БМУ).

Качество поверхности и макроструктура недокатов после черновой, промежуточной и двух предчистовых проходов перед блоком характеризуется наличием дефектов, унаследованных от литой структуры НЛЗ. Макроструктура – остатки ликвационных полосок, трещин, краевых точечных загрязнений; поверхность – разные дефекты различных размеров – 1,2; 0,8 и 0,6 мм соответственно по линии стана.

Макроструктура катанки на исследованных образцах удовлетворительна: нет нарушений сплошности металла, расслоений, инородных и шлаковых включений, подусадочная ликвация оценена 0-м баллом. Только в одном образце обнаружена разная травимость по перечному сечению: как бы закалочное поверхностное кольцо, а также ликвационный квадрат (то есть белый прямоугольник неправильной формы). Дефекты поверхности катанки минимальны, не превышают 0,15 мм. Таким образом, деформационная проработка структуры и поверхности НЛЗ при прокатке позволила обеспечить хорошие характеристики катанке.

ционная проработка структуры и поверхности НЛЗ при прокатке позволила обеспечить хорошие характеристики катанке.

Наблюдается тенденция к увеличению процентного содержания феррита на заднем конце бунта в центральной части витка по ширине роликового транспортера. При этом также в ряде случаев снижается количество и БМУ, и перлита. Эта тенденция выражена не значительно и возможно имеет случайный характер. Размер зерна феррита не имеет определенной зависимости от местонахождения по длине витка. Следует только отметить, что зерно весьма мелкое (№ 9...12). Наблюдается существенное уменьшение доли перлита за счет БМУ. Увеличение степени легирования металла, особенно Cr и V, обусловило дисперсионное твердение структуры. Для легированной катанки сварочного назначения актуальна задача повышения размера действительного зерна феррита до N=8, 9 с целью увеличения деформационной пластичности. Для этого, а также уменьшения количества БМУ (для Св-08ХГСМФА –  $X_{\text{ср}}\approx 22\%$ , для Св-08Г2С –  $\sim 5\%$ ), необходима длительная изотермическая выдержка витков катанки под теплоизолирующими крышками линии Stelmor при температуре в диапазоне  $\sim 550...600^{\circ}\text{C}$  (этот диапазон подлежит уточнению). Для этого необходима модернизация линии Stelmor – установка электронагревателей с циркуляционными вентиляторами.

Ликвационные процессы в катанке исследованы и на поперечных, и на продольных шлифах на образцах, отобранных от заднего участка витка с центральной её части (по движению витков на роликовом транспортере). Принципиально ликвационная картина близка к катанке из стали марки Св-08Г2С и соответствует степени легирования этих двух сравниваемых марок стали. Однако для марки Св-08ХГСМФА она несколько лучше: ПЛ – 0 против 0...0,5 балла у Св-08Г2С. Кроме того, в ряде образцов в продольном сечении структурная ликвационная полосчатость вообще отсутствует, а в других образцах аналогична катанке из стали марки Св-08Г2С. В ликвационных полосках распределены БМУ, что подтверждается их микротвердостью 200...420 НV, микротвердость основного металла значительно ниже – 143...188 НV (первая цифра относится к ферриту, вторая – к перлиту). Ликвация в стали Св-08ХГСМФА выражена в гораздо меньшей степени, чем в Св-08Г2С, что доказывается и суммарным коэффициентом ликвации основных химических элементов (Mn, Si, Cr, Mo, V)  $k_{\Sigma}=1,26$  и 1,62 соответственно. Распределение ликватов в первой стали в матрице более однородно и этим катанка из этой стали (Св-08ХГСМФА) в большей степени способна к деформированию при волочении. Это, видимо, обусловлено

взаимодействием легирующих элементов (Mo, Si, V, Cr, Mn) в комплексе.

Катанка из стали Св-08ХГСМФА незначительно загрязнена НВ: максимальная толщина – 13 мкм (СХ) и 12 мкм (СН) при максимальном балле 3 (СХ) толщиной всего 6 мкм.

Повышенный разброс свойств и достаточно высокое количество БМУ (4...30 при среднем значении 22%) позволяет производить из такой катанки сварочную проволоку диаметром 0,8 мм, по-видимому, с 1...2-мя промежуточными отжигами. При определенной работе с микроструктурой катанки будет возможно и прямое волочение катанки в готовую проволоку, но для этого нужно внедрение определенных мероприятий как на сталеплавильном, так и прокатном переделах. К этим мероприятиям относятся: обеспечение гомогенизирующего (диффузионного) отжига НЛЗ; развитие систем ЭМП (установка 2...3 перемешивающих катушек по металлургической длине МНЛЗ); внедрение технологии и оборудования для длительной ( $\geq 1200$  с) поточной изотермической выдержки витков катанки под теплоизолирующими крышками при температурном диапазоне перлитного превращения (~550...600°C).

### 5. Катанка из высокоуглеродистой стали

Высокоуглеродистая (С $\approx$ 0,50...0,90%) катанка используется для производства проволоки для подъемных и трансмиссионных канатов, пружин, проволочной арматуры и арматурных

прядей, оплеток рукавов высокого давления, металлокорда.

Разработанная эффективная технология производства качественной высокоуглеродистой катанки из НЛЗ сечением 125×125 мм предусматривает: микролегирование стали бором и модифицирование её кальцием; применение основных футеровок сталь- и промковшей; полную защиту разливаемой струи от вторичного окисления; ЭМП металла в кристаллизаторе; ограниченную скорость непрерывной разливки стали ( $\leq 3$  м/мин); перегрев стали над температурой ликвидус не более 30°C; скоростной нагрев (не более 2...2,5 ч) в печи с шагающим подом до 1180...1220°C; температуру раскатов перед проволочным блоком не более 950–970°C, температуру виткообразования 900...1000°C (меньшая температура – для химического удаления окалины, большая – для механического её удаления и формирования высоких дисперсности перлита и прочности катанки); скорость роликового транспортера витков не менее 0,5 м/с; время обдува витков вентиляторным воздухом не менее 50 с.

Наиболее представительными видами катанки из высокоуглеродистой стали является металлопрокат, предназначенный для производства металлокорда и высокопрочных арматурных канатов, микролегированных ванадием и/или хромом.

### Библиографический список

1. Оценка соответствия качества катанки Молдавского металлургического завода требованиям к прокату для холодной высадки / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Днепропетровск: ВІЗІОН, 2003. Вып. 6. С. 211–214.
2. Совершенствование технологии производства арматурной проволоки из непрерывно-литой заготовки / В.В. Парусов, В.А. Олейник, А.Б. Сычков и др. // *Сталь*. 1992. № 11. С. 63–67.
3. Шифферль Х.А. Катанка из непрерывно-литой заготовки // *Черные металлы*. 1986. № 7 С. 53–58.
4. Новая технология производства проката для холодной объемной штамповки из борсодержащей стали / В.В. Парусов, В.Г. Черниченко, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Днепропетровск: ВІЗІОН, 2004. Вып. 7. С. 300–311.
5. Особенности влияния бора на качественные характеристики стали для холодной высадки / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко и др. // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Днепропетровск: ПГАСиА, 2005. Вып. 32. С. 62–68.
6. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1986. 192 с.
7. Новое применение бора в металлургии / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко, М.А. Жигарев // *Вестн. МГТУ*. 2005. № 1(9). С. 15–17.
8. Разупрочняющая термомеханическая обработка проката из углеродистой стали / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, В.А. Луценко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. № 6. С. 54–56.
9. Исследование возможности наиболее полного удаления окалины с поверхности катанки перед волочением / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев и др. // *Металлург*. 2004. № 6. С. 69–72.
10. Металлургические факторы, определяющие технологическую пластичность при волочении катанки из кремнемарганцевых сталей / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Днепропетровск: ВІЗІОН. 2004. Вып. 7. С. 332–330.
11. Кинетика фазовых превращений в катанке из непрерывно-литой электростали Св-08Г2С при непрерывном охлаждении / В.В. Парусов, С.Ю. Жукова, М.Ф. Евсюков, А.Б. Сычков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. трудов*. Днепропетровск: Друкерня Визіон, 2004. Вып. 9. С. 191–197.
12. Влияние химического состава и технологических параметров на механические характеристики катанки из стали Св-08Г2С / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова, М.А. Жигарев и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 4. С. 68–71.

13. Математическое моделирование механических свойств катанки из стали типа Св-08Г2С / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, С.Ю. Жукова и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепропетровск: ПГАСиА, 2006. Вып. 36. Ч. 2. С. 20–26.

УДК 621.771.237.001.57

В. А. Третьяков, Е. А. Варшавский, И. П. Мазур, В. А. Ненахов

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ МОНТАЖНЫХ ПАРТИЙ НА НШСГП 2000 ОАО «НЛМК»

Ручное составление монтажных партий на прокатку в условиях НШСГП 2000 ОАО «НЛМК» в силу огромного количества производственных заказов и технологических ограничений, а также постоянно изменяющихся условий производства является чрезвычайно трудоёмким и требует от инженера-фабрикатора максимальной концентрации внимания и опыта. Составление монтажных партий, по сути, представляет собой планирование производства на стане, что, в свою очередь, требует от составленного плана оптимальности. В качестве критериев оптимальности могут выступать: максимально возможный размер (вес) монтажной партии, температура (при горячем посаде), срочность выполнения заказов и ряд других. Таким образом, процесс формирования монтажной партии представляет собой комбинаторную задачу большой размерности, оптимальное решение которой невозможно без привлечения математического аппарата. В качестве такого аппарата предлагается применить линейное программирование [1, 2]. В дирекции по информационным технологиям ОАО «НЛМК» совместно с ЛГТУ разработана математическая модель формирования монтажных партий на прокатку в условиях НШСГП 2000 ОАО «НЛМК» [3].

Монтажная партия (монтаж) представлена в виде табличной формы последовательности выполнения заказов (заявок) на прокатку на стане в течение одной кампании рабочих валков клетей чистовой группы. Условно монтажные партии подразделяются на следующие типы:

- монтаж с анизотропной электротехнической (трансформаторной) сталью;
- монтаж с изотропной электротехнической (динамной) сталью;
- монтаж с подкатом I-й группы отделки поверхности;
- монтаж с тончайшим прокатом;
- монтаж с подкатом;
- монтаж с особонизкоуглеродистой сталью;
- монтаж с низкоуглеродистой сталью.

Для формализации процесса были проанализированы все используемые при составлении монтажных партий ограничения, в результате чего сделан вывод о целесообразности представ-

ления монтажной партии в виде последовательности из зон. Каждая зона монтажной партии характеризуется рядом параметров (атрибутов):

- минимальный и максимальный объем зоны (наличие отличного от нулевого минимального ограничения на объем – признак обязательности зоны к заполнению);
- положение зоны в монтажной партии;
- признак расширения/сужения (характеризует направление изменения ширины от начала до конца зоны);
- признак наличия в зоне самого широкого сляба в монтажной партии;

Единицы измерения первых двух атрибутов зоны монтажной партии, вследствие разной природы накладываемых на зону технологических ограничений, могут быть самыми разными: тонны, метры, количество слябов и другие.

В результате зона представляет собой место в монтажной партии, в котором можно осуществить прокатку слябов, обладающих набором определенных допустимых для данного места характеристик:

- геометрические характеристики (толщина и ширина сляба и полосы);
- группа металла по марке стали (динамная, трансформаторная, углеродистая, низколегированная и др.);
- карта нагрева по технологической инструкции;
- технологический маршрут дальнейшей обработки заказа на комбинате (АНО, КП, товарный и др.);
- группа отделки поверхности.

Эти характеристики определены в производственных заказах.

На каждую зону монтажной партии накладываются ограничения, обусловленные технологической инструкцией. Эти ограничения регламентируют максимальный и минимальный размер зоны в монтажной партии, а также положение зоны в монтаже. На практике имеет место сочетание отдельных типов монтажных партий в одной.

Кроме ограничений, накладываемых на зоны, существуют ограничения, накладываемые на монтажные партии в целом. К таким ограниче-



ниями относятся: ограничения на максимальный и минимальный объём монтажной партии, ограничения на длину прокатываемых полос «одной ширины» (под полосами «одной ширины» подразумеваются полосы, имеющие разность в ширинах не более 20 мм), а также ограничения, обусловленные требованиями, предъявляемыми к отдельным типам монтажных партий (например, на монтажную партию с трансформаторной сталью накладывается условие загрузки всего металла монтажа в нагревательные печи стана перед началом прокатки).

Кроме того, к монтажным партиям предъявляются требования по изменению ширины слябов по длине монтажной партии. В основе этого требования заложено стремление уменьшить неравномерность износа бочки рабочего вала при прокатке типоразмеров разной ширины. В связи с тем, что задание условий, описывающих изменение ширины слябов по длине монтажной партии в виде дополнительных ограничений, подставляемых в общую систему ограничений [3], не представляется возможным, был разработан алгоритм поиска границ по ширине для всех зон монтажной партии, состоящий из двух этапов:

- поиск начального приближения;
- попытка улучшения полученного решения.

Алгоритм поиска начального приближения (этап 1) границ по ширине для всех зон монтажной партии заключается в следующем:

- диапазон изменения ширины слябов разбивается на заданное равное количество частей;
- осуществляется перебор всех возможных вариантов границ зон по ширине для монтажной партии. Число вариантов значительно сокращает то условие, что минимальное зна-

чение границы по ширине для предыдущей зоны является максимальной границей по ширине для последующей зоны;

- для каждого варианта распределения границ зон по ширине создается и решается модель целочисленного линейного программирования, при этом на условия допустимости производственного заказа в зону накладывается условие попадания ширины слябов заказа в полученные границы зоны по ширине;
- лучшим признается вариант с наибольшей целевой функцией при условии, что наибольший шаг изменения ширины слябов по длине монтажной партии находится в допустимых пределах.

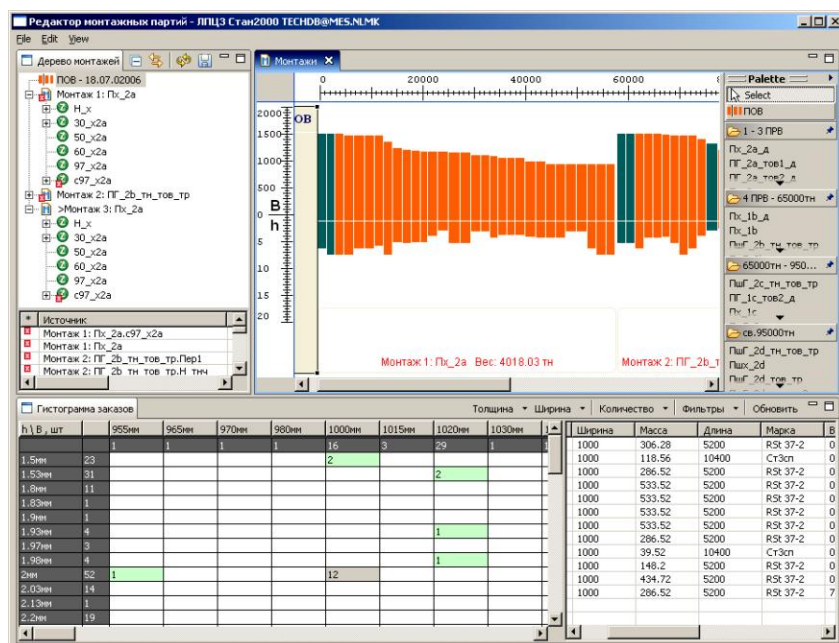
На втором этапе осуществляется попытка улучшить полученное на первом этапе решение путем применения метода прямого поиска Хука–Дживса. Эта попытка далеко не всегда оканчивается успешно, как впрочем, не всегда оканчивается успехом и поиск отличного от нулевого начального приближения (этап 1), так как при решении системы ограничений в общем случае возможны следующие ситуации:

- система ограничений несовместна, поэтому отыскание оптимального решения невозможно;
- система ограничений имеет единственное решение;
- система ограничений имеет конечное число решений (имеется замкнутая область допустимых решений); оптимальное решение отыскивается среди решений, принадлежащих данной области;
- система ограничений имеет бесчисленное множество решений.

Общий алгоритм автоматического составления монтажной партии состоит в последовательном решении всех типов монтажных партий с одинаковыми исходными данными и выборе лучшей в соответствии с заданными критериями отбора.

Реализация разработанной модели в виде АРМ инженера-фабрикатора стана горячей прокатки в составе информационной системы планирования производства комбината позволит оптимально, с точки зрения задаваемых критериев, формировать монтажные партии из портфеля производственных заказов (см. рисунок).

В качестве критериев оптимизации могут выступать,



АРМ инженера-фабрикатора НШСГП 2000 ОАО «НЛМК»



например, срочность выполнения заказов, температура слэбов заказов, а также ряд других, что, в свою очередь, позволит в дальнейшем автоматически оперативно формировать

такие монтажные партии для прокатки полос, которые при повышении производительности стана снизят расход ресурсов (топливо, валки и т.д.).

#### Библиографический список

1. Ашманов С.А. Линейное программирование. М.: Наука, 1981.
2. Муртаф Б. Современное линейное программирование. М.: Мир, 1984.
3. Математическая модель формирования монтажных партий на прокатку в условиях НШСГП 2000 ОАО НЛМК // Производство проката. 2006. № 8. С. 16–21.

УДК 621.01: 539.4

А. Г. Колесников, Р. К. Вафин, А. А. Мальцев

## АППАРАТУРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Потери из-за недостаточной долговечности металлургического оборудования очень велики: на все виды ремонта ежегодно расходуется около 25% капитальных вложений в металлургию, кроме того, на ремонтных работах занято более 20% рабочих отрасли и примерно треть металлорежущих станков.

В рамках разработанной федеральной программы «Техническое перевооружение и развитие металлургии России» предусмотрен переход от системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) к новой системе ремонтов по фактическому состоянию на основе результатов диагностирования. Недостаток системы ППР заключается в том, что план ремонтов составляется по среднестатистическим данным о выходе из строя деталей и узлов, что зачастую приводит к замене исправного оборудования и не исключает аварии между ремонтами. Подсчитано, что затраты на ремонт оборудования без системы диагностики составляют, в среднем, 60% от его первоначальной стоимости, а с системой диагностики такие затраты в десять раз меньше. Однако существующие системы диагностики оборудования

имеют недостаток: при диагностировании не вычисляется остаточный ресурс.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана аппаратура для мониторинга остаточного ресурса (рис. 1), включающая: датчики температуры (ДТ), вибрации (ДВ) и крутящего момента (ДМ); модули измерения температуры (МИТ), вибрации (МИВ) и крутящего момента (МИМ), собранные в измерительный блок (ИБ); индикаторы температуры (ИТ), вибрации (ИВ) и крутящего момента (ИМ). Канал измерения температуры (Т), канал измерения вибрации (В) и канал измерения крутящего момента (М) имеют выходы на аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Основным звеном аппаратуры для мониторинга является персональный компьютер (ПК), на котором установлено программное обеспечение (ПО) (рис. 2), объединяющее программу оцифровки сигналов с датчиков и программу вычисления остаточного ресурса, составленную на основании новой методики расчета цикловой нагруженности и усталостной долговечности [1].

С помощью этой аппаратуры можно контролировать, например, температуру масла ре-

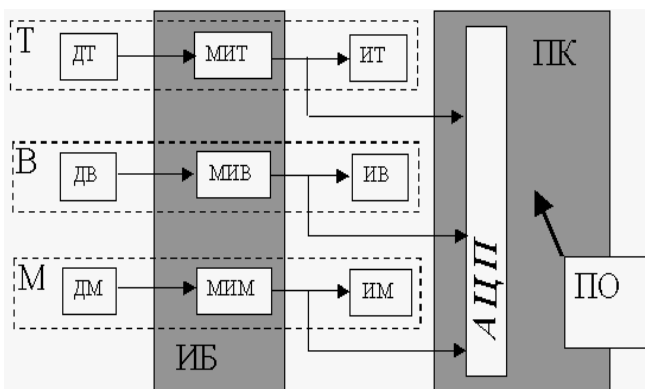


Рис. 1. Схема измерительной части и общий вид аппаратуры

дуктора, уровень вибрации электродвигателя и корпуса редуктора, а также крутящие моменты на шпинделях прокатного стана [2]. Аппаратура апробирована на четырёх прокатных станах: на автоматстане 220 ПНТЗ (Первоуральского новотрубного завода), на трехвалковом стане ЭЗТМ-80 (Электростальского завода тяжелого машиностроения), на клетки 350 сортового стана (Бхилайского металлургического комбината в Индии), на лабораторно-промышленном стане ДУО-140 ЭПИ МИСиС (Электростальского политехнического института – филиала Московского института стали и сплавов).

Задача по прогнозированию остаточного ресурса наиболее актуальна в ситуации, когда к некоторому моменту времени приходят к заключению, что ресурс детали близок к исчерпанию, а продление срока ее эксплуатации на некоторое время может дать значительный экономический эффект.

Установлено, что для детали долговечность описывается законом Вейбулла с плотностью распределения вероятности

$$f(t) = \frac{b}{\alpha^b} t^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^b\right], \quad (1)$$

интегральной функцией распределения вероятности

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^b\right] \quad (2)$$

и функцией надежности

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^b\right], \quad (3)$$

где  $t$  – время безотказной работы заданной детали.

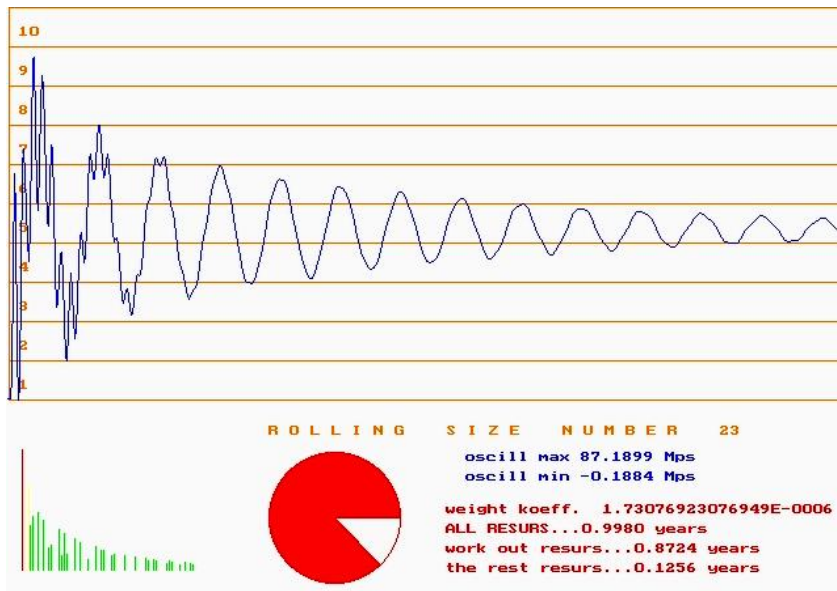


Рис. 2. Окно программы вычисления остаточного ресурса

Установлен закон распределения вероятности для остаточного ресурса  $T$ , отсчет которого производится от момента времени  $t=t_*$  (рис. 3).

Поскольку вероятность отработать без отказов время  $t_* + T$  равна произведению вероятности безотказной работы на интервале времени  $T$  (при условии, что уже отработано время  $t_*$ ) и вероятности отработать без отказов время  $t_*$ , справедливо равенство

$$P(t_* + T) = P(T/t_*)P(t_*). \quad (4)$$

Определив  $\gamma$ 100% остаточный ресурс  $T_\gamma$  как решение уравнения  $P(T_\gamma/t_*) = \gamma$ , из (4) получаем следующее уравнение для определения величины  $T_\gamma$

$$\gamma = \frac{P(t_* + T_\gamma)}{P(t_*)}. \quad (5)$$

Этот результат можно получить таким путём: поскольку плотность распределения вероятности для остаточного ресурса может быть представлена в виде

$$g(T) = c \cdot f(t_* + T), \quad (6)$$

где коэффициент нормировки

$$c = \frac{1}{\int_0^\infty f(t_* + T) dT} = \frac{1}{P(t_*)}, \quad (7)$$

имеем соотношение

$$g(T) = \frac{f(t_* + T)}{P(t_*)}. \quad (8)$$

Интегрируя (8) по  $T$  в пределах от  $T_\gamma$  до  $\infty$ , приходим к соотношению (5).

В соответствии с (8) интегральная функция распределения вероятности для остаточного ресурса определяется как

$$G(T) = \frac{1}{P(t_*)} \int_0^T f(t_* + T) dT = \frac{F(t_* + T) - F(t_*)}{P(t_*)}. \quad (9)$$

Остаточный  $\gamma$ 100% ресурс определяется из равенства  $\gamma = 1 - G(T_\gamma)$ , которое с учетом (9) принимает вид соотношения (5).

Ожидаемое значение остаточного ресурса определяется как

$$\langle T \rangle = \frac{1}{P(t_*)} \int_0^\infty T dF(T + t_*) = \int_0^\infty P(T) dT. \quad (10)$$

Подставив выражения (1), (2), (3) в (8), (9), определяем плотность и интегральную функцию распределения вероятности для остаточного ресурса:

$$g(T) = \frac{b}{\alpha^b} (t_* + T)^{b-1} \exp \left[ -\frac{(t_* + T)^b - t_*^b}{\alpha^b} \right], \quad (11)$$

$$G(T) = 1 - \exp \left[ -\frac{(t_* + T)^b - t_*^b}{\alpha^b} \right]. \quad (12)$$

Из соотношения (5) находим  $\gamma$ -100% остаточный ресурс

$$T_\gamma = \alpha \left[ \left( \frac{t_*}{\alpha} \right)^b - \ln \gamma \right]^{\frac{1}{b}} - t_*. \quad (13)$$

Для деталей каждого из четырех прокатных станов получены результаты прогнозирования 90% остаточного ресурса  $T_\gamma$ .

Расчетное значение долговечности детали

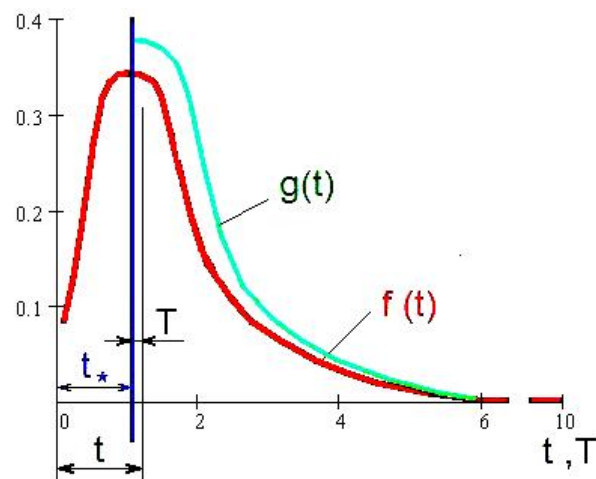


Рис. 3. Распределение вероятностей долговечности  $f(t)$  и остаточного ресурса  $g(t)$

$T_{СЛ}$  складывается из выработанного ресурса  $t_*$  и остаточного ресурса  $T_\gamma$ :

$$T_{СЛ} = t_* + T_\gamma. \quad (14)$$

Сопоставление расчетной и эксплуатационной долговечностей показало, что погрешность сравнения не превышает 20%.

#### Библиографический список

1. Вафин Р.К., Мальцев А.А. Новая методика расчета цикловой нагруженности и усталостной долговечности // Труды Всерос. науч.-техн. конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика А.И. Целикова. М., 2004. С. 416–418.
2. Вафин Р.К., Мальцев А.А. Система мониторинга остаточного ресурса // Труды Всерос. науч.-техн. конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика А.И. Целикова. М., 2004. С. 418–419.

УДК 539.3/4

С. И. Платов, О. С. Железков, Г. Н. Юрченко,  
Д. В. Терентьев, Ю. А. Пожидаев, Е. И. Мироненков

## РАСЧЕТ ТЕЛ КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ НА КОНТАКТНУЮ УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тела качения подшипников в процессе эксплуатации испытывают значительные контактные напряжения, которые, во-первых, характеризуются большими градиентами и локальностью, а во-вторых, постоянным изменением во времени от нуля до максимума в зависимости от местонахождения тела качения. Контактное усталостное разрушение возникает в результате зарождения и развития микротрещин под влиянием циклически изменяющихся контактных давлений. Таким образом, контактная усталость – разрушение поверхностных слоев материала деталей под действием длительных переменных контактных нагрузок.

Многочисленные микропластические сдвиги в некоторых, невыгодно ориентированных и поэтому перенапряженных зернах сплошного материала, а также концентрации напряжений у поверхностных неровностей и внутренних дефектов материала приводят к разрыхлению, истиранию и созданию «аморфного» слоя на плоскостях скольжения с образованием первичной усталостной микротрещины. Состояние поверхности оказывает существенное влияние на зарождение и развитие микротрещин. Края трещин являются естественными концентраторами напряжений, и появле-

ние новых перенапряженных микрообъемов способствует дальнейшему прогрессирующему развитию усталостных трещин, что в конечном итоге приводит к хрупкому разрушению материала. На процесс усталостного контактного разрушения существенное влияние оказывают характер нагружения (контактные напряжения, трение, наличие слоя смазки и др.), свойства материала (механические характеристики, твердость, склонность к упрочнению или накоплению пластических деформаций), масштабный фактор, температура, коррозионное воздействие среды и др.

Изучению проблем разрушения материалов под действием циклически изменяющихся контактных нагрузок посвящены работы М.М. Саверина, С.В. Пинегина, А.В. Орлова, Б.С. Ковальского, Н. Кеннеди, К. Джонсона, Р. Буртона, И. Тилера, П. Даусона и др. [1–10].

В работах Б.С. Ковальского [1, 2] предлагается оценивать контактную прочность при циклических напряжениях по формуле

$$\sigma_{np} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_{x1})^2} \leq \sigma_{-1},$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения в опасных точках зоны контакта.

М.М. Савериным [3] предложено условие усталостной контактной прочности материала, находящегося под действием циклически изменяющихся контактных напряжений:

$$\sigma_{np} = \sigma_i \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 - 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \leq \sigma_{-1},$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – нормальные напряжения в зоне контакта;  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  – касательные напряжения в зоне контакта;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости материала при симметричном цикле.

На наш взгляд, более корректно сравнивать интенсивность напряжений с пределом выносливости  $\sigma_0$  при пульсирующем цикле, так как в реальных процессах нагружения контактных поверхностей напряжения изменяются от нуля до максимума и снова до нуля, то есть

$$\sigma_{np} = \sigma_i = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 - 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \leq \sigma_0.$$

Для определения компонентов тензора напряжений в опасных точках контакта тела качения с дорожками колец необходимо решить задачу определения напряженного состояния.

При определении напряженно-деформированного состояния в ролике подшипника использовался программный комплекс MARK/ Auto Forge. В его основу положен метод конечных элементов [11–13], а математическая задача сводится к решению известных уравнений теории пластичности и теплопроводности совместно с начальными и граничными условиями в напряжениях, перемещениях (или смешанного типа) для различных областей деформируемого тела. При этом используются следующие основополагающие зависимости и соотношения: дифференциальные уравнения равновесия; уравнение связи компонент тензора деформации и вектора перемещений (дифференциальные зависимости Коши); условие пластичности Губера-Мизеса; закон трения Кулона-Амонга и др.

С использованием указанного программного комплекса могут решаться задачи упругопластические и жесткопластические. В зависимости от типа решаемых задач используются различные реологические уравнения состояния.

При локальном контактировании ролика с дорожкой качения кольца подшипника пластические деформации даже при самых малых сжимающих нагрузках всегда имеют место [4]. Это связано с тем, что реальные поверхности никогда не бывают идеально гладкими, а контактирование по гребешкам микронеровностей вызывает их пластическую деформацию и приводит к смятию вершин микровыступов. С повышением нагрузки пластическое деформирование захватывает группы гребешков, образуя пятна в зоне общей поверхности контакта. Эти пятна могут быть сплошными или разделены на отдельные площадки. При дальнейшем повышении нагрузки образуется более или менее сплошное пятно контакта. Таким образом, материал в зоне контакта находится в условиях упругопластической деформации. При решении упругопластических задач для зон, находящихся в упругом состоянии, связь между деформациями и напряжениями выражается в виде обобщенного закона Гука. Для зон деформируемой среды, где деформации становятся пластическими, вводятся так называемые переменные параметры упругости  $E^*$  и  $G^*$  и используются соотношения, подобные закону Гука, то есть



$$\varepsilon_x = \frac{1}{E^*} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; y_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G^*};$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E^*} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]; y_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G^*};$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E^*} [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)]; y_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G^*}.$$

В теории ОМД известны эмпирические формулы для аппроксимации уравнения  $\sigma_i = f(\varepsilon, \xi, T)$  аналитическими зависимостями [14–16], где  $\varepsilon$  – степень деформации;  $\xi$  – скорость деформации;  $T$  – температура. Однако, как правило, эти формулы обладают определенными погрешностями и недостаточно точно передают количественный и качественный характер зависимости  $\sigma_i = f(\varepsilon, \xi, T)$ . Поэтому в программном комплексе MARK/ Auto Forge не используются эмпирические формулы, а аппроксимацию сопротивления деформации в зависимости от термомеханических параметров осуществляют непосредственно на основе экспериментальных данных, представленных в виде таблиц.

В основе метода конечных элементов, применяемого в программном комплексе MARK/ Auto Forge, используется вариационный принцип Лагранжа, согласно которому истинное состояние системы отличается от всех возможных тем, что сообщает полной энергии деформации минимальное значение [17].

Расчеты выполняются поэтапно. Величина перемещений, деформаций и напряжений на каждом шаге определяется как

$$U = U_* + \Delta U; \varepsilon = \varepsilon_* + \Delta \varepsilon; \sigma = \sigma_* + \Delta \sigma,$$

где  $U_*$ ,  $\varepsilon_*$ ,  $\sigma_*$  – значения перемещений, деформаций и напряжений на предыдущем шаге.

Параметры  $U_*$ ,  $\varepsilon_*$ ,  $\sigma_*$  обеспечивают минимум функционала полной энергии деформации на предыдущем этапе. Поэтому задача сводится к определению приращений функций  $\Delta U$ ,  $\Delta \varepsilon$ ,  $\Delta \sigma$ , при которых также функционал имеет минимальное значение.

Функционал, описывающий полную работу деформации на некотором шаге деформирования, имеет вид

$$\chi = \frac{1}{2} \iiint_V (\sigma \Delta \varepsilon + \Delta \sigma \varepsilon + \Delta \sigma \Delta \varepsilon) dV - \iiint_V G_i \Delta U dV - \iint_S \tau \Delta U dS.$$

Структура функционала: первое слагаемое представляет собой работу внутренних сил, второе слагаемое – работу массовых сил, третье слагаемое – работу поверхностных сил (сил трения).

Функционал выражается через матричные и векторные составляющие (матрица базисных функций элементов, вектор узловых перемещений и т.п.), а интегралы заменяются суммами, и задача сводится к решению систем линейных уравнений относительно перемещений. При решении систем уравнений используется метод Ньютона-Рапсона. По найденным значениям  $\Delta U_1, \Delta U_2, \dots, \Delta U_n$  определяются перемещения  $U$ , деформации  $\varepsilon$ , скорости деформации  $\xi$ , напряжения  $\sigma$ , компоненты тензоров деформации и напряжений, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений, силы нормального давления, силы трения на поверхности контакта металла с инструментом, распределение температуры по объему деформируемой среды (температурные поля) и другие параметры.

Работа с использованием программного комплекса MARK/ Auto Forge осуществляется в следующей последовательности:

1. В зависимости от конкретных условий (форма исходной заготовки и форма отштампованного изделия, форма инструмента, условия деформирования и т.п.) выбирается тип конечно-элементного анализа, то есть определяется, какая задача решается (плоская, осесимметричная или объемная).
2. Создаются геометрические модели исходной заготовки и инструмента (подвижного и неподвижного). На заготовку наносится сетка конечных элементов.
3. Задаются реологические свойства заготовки, для чего используется либо имеющаяся в ПК MARK/ Auto Forge база данных, либо термомеханические свойства материала заготовки задаются с помощью таблиц.
4. Устанавливается температура, при которой начинается процесс деформирования заготовки.
5. Задаются условия на поверхности контакта заготовки и инструмента (коэффициент трения).

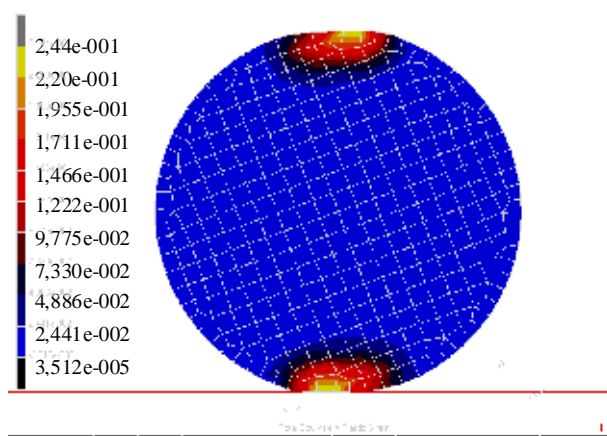


Рис. 1. Распределение интенсивности напряжений  $\sigma_i$  по объему деформированного тела

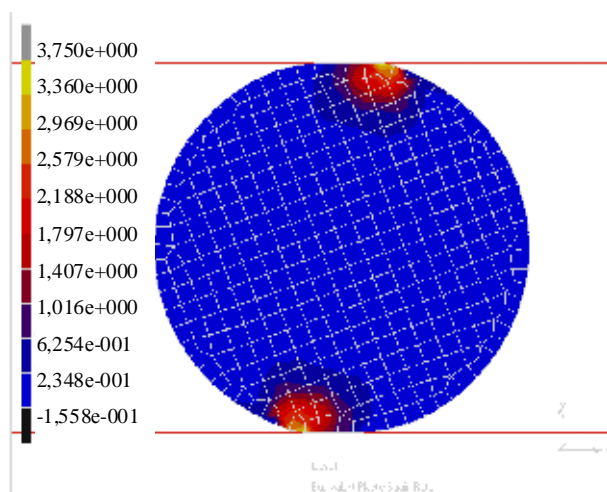


Рис. 2. Распределение интенсивности деформаций  $\epsilon_i$

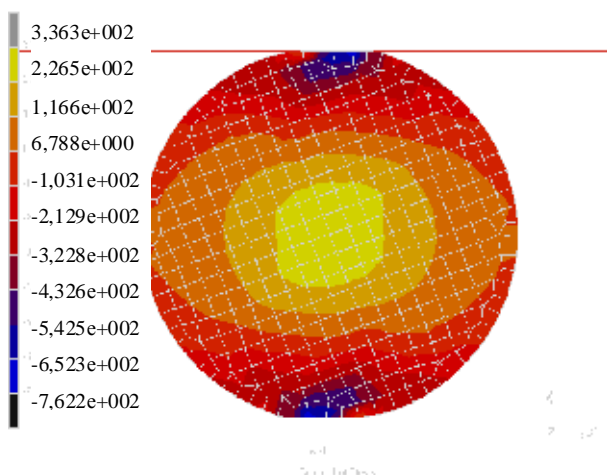


Рис. 3. Нормальные напряжения  $\sigma_x$  в объеме деформированного тела

круга деформируется неподвижным нижним и подвижным верхним инструментами в виде плоскопараллельных плит. При этом верхнему инструменту сообщалось движение вниз и вправо. Тело разбивалось на 328 элементов в виде четырехугольников. Реологические свойства деформированного материала задавались из базы данных программного комплекса MARK/ Auto Forge для стали, близкой по химсоставу к стали ШХ-15.

6. В зависимости от типа применяемого оборудования устанавливается закон движения подвижного инструмента. Например, при моделировании процесса штамповки на кривошипных прессах задаются угловая скорость вращения кривошипа и длины кривошипа и шатуна.

7. С заданной точностью выполняются расчеты. При этом определяются перемещения  $U$ , деформации  $\epsilon$ , скорости деформации  $\xi$ , напряжения  $\sigma$ , компоненты тензоров деформации и напряжений, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений, сила нормального давления, сила трения на поверхности контакта металла с инструментом, распределение температуры по объему деформируемой среды.

8. Результаты расчетов представляются либо в виде полей распределения соответствующих параметров по объему деформированного тела, либо в виде численных значений в узлах деформированной сетки.

Важнейшим этапом моделирования процессов деформирования, от которого зависят точность и трудоемкость расчетов, является нанесение сетки конечных элементов. В зависимости от типа решаемой задачи (плоская, осесимметричная или объемная) сетка элементов наносится с использованием:

- отрезков прямых с узлами по концам ( $n=2$ , где  $n$  – количество узлов) либо по концам и в середине отрезков ( $n=3$ );
- треугольников с узловыми точками в вершинах ( $n=3$ ) либо в вершинах и серединах сторон ( $n=6$ );
- четырехугольников с узлами, расположенными в точках пересечения сторон ( $n=4$ ); пересечения сторон и середины сторон ( $n=6$  или  $n=8$ ); пересечения сторон, середины сторон и пересечения диагоналей ( $n=9$ );
- тетраэдров с узлами в вершинах ( $n=4$ ) либо в вершинах и серединах ребер ( $n=10$ );
- трехгранных призм (пятигранников), у которых узлы располагаются в вершинах ( $n=6$ ) либо в вершинах и посередине ребер ( $n=15$ );
- шестигранников с количеством узловых точек  $n=8, n=12, n=20$  и  $n=27$ .

Используя программный комплекс MARK/ Auto Forge, решена задача определения напряженно-деформированного состояния при качении ролика между двумя жесткими плоскопараллельными плитами. В системе координат  $x$ – $y$  рассматривалась плоская деформация, когда тело с исходным поперечным сечением в виде

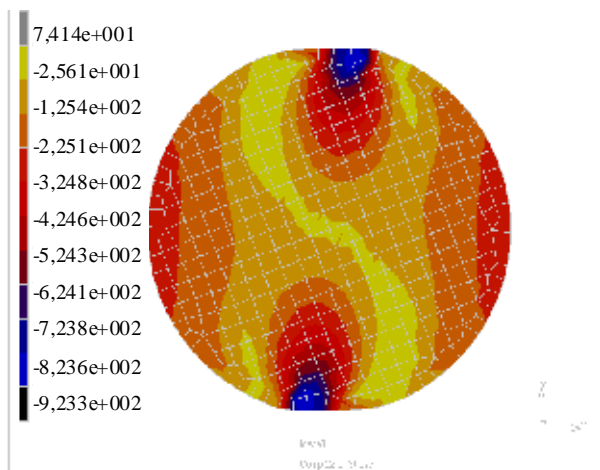


Рис. 4. Нормальные напряжения  $\sigma_y$  в объеме деформированного тела

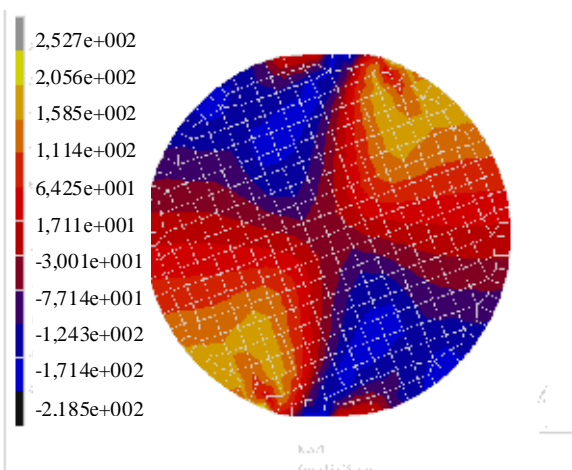


Рис. 5. Касательные напряжений  $\tau_{xy}$  в объеме деформированного тела

Результаты расчетов с использованием программного комплекса представлены на рис. 1–5. На рис. 1 показано распределение интенсивности напряжений  $\sigma_i$  по объему деформированного тела; на рис. 2 – распределение интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$ ; на рис. 3–5 – распределение напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  соответственно.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании ресурса работы подшипников качения. В частности, они использованы для оценки долговечности подшипников рабочих валков чистовой группы клетей стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК».

#### Библиографический список

1. Ковальский Б.С. Напряжения на участке местного сжатия при учете сил трения // Известия АН СССР. 1942. № 9. С. 45–49.
2. Ковальский Б.С. Контактная задача в инженерной практике // Изв. вузов. Машиностроение. 1960. № 6.
3. Саверин М.М. Контактная прочность материала. М.: Машгиз, 1946.
4. Пинегин С.В. Контактная прочность и сопротивление качению. М.: Машиностроение, 1969. С. 242.
5. Пинегин С.В., Орлов А.В., Гудченко В.М. Разрушение материала под действием пульсирующей контактной нагрузки // Машиностроение. 1966. № 1.
6. Kennedy N. Fatigue of curved surfaces in contact under repeated load cycles // International Conf. on Fatigue of Metals. London, 1956.
7. Johnson K. Surface interaction between two elastically loaded bodies under tangential forces // Proc. of the R.S. London. 1955.
8. Burton R., Russel J. Lubricant Effects on Fatigue in a stationary Concentrated Contact under vibratory Loading // Tr. ASME. Journal of Basic Engineering. 1966.
9. Tyler J., Burton R., Ku P. Contact Fatigue under oscillatory Normal Load // ASLE Tr. v. N 4. 1963.
10. Dawson P. Contact Fatigue in soft steel with random loading // Mech. Engng. Sci. 1967. No. 1. Vol. 9.
11. Stiffness and deflection analysis of complex structures / Turner L.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.J. // Aeronaut Sci. 1956. Vol. 23. № 9. P. 805–824.
12. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. С. 541.
13. Сегерлинд Л.Д. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. С. 240.
14. Третьяков А.В. Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1973. С. 224.
15. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. М.: Машиностроение, 1980. С. 157.
16. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1968. С. 266.
17. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1986. С. 688.

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.789: 669.14.019.29

В. М. Счастливцев, Т. И. Табатчикова, И. Л. Яковлева, Л. Ю. Егорова, А. А. Круглова

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ ТИПА 10ХН2М\*

### Введение

Стали, применяемые для изготовления тяжело нагруженных сварных конструкций, используемых в условиях Крайнего Севера, должны обладать рядом свойств: высокой прочностью и пластичностью, высокой ударной вязкостью, в особенности при отрицательных температурах, высокой сопротивляемостью хрупким разрушениям в условиях резко меняющихся температур и знакопеременных нагрузок, иметь высокое сопротивление коррозии, слоистым разрушениям. Поскольку одним из основных требований, предъявляемых к таким сталям, является хорошая свариваемость, то в последнее время наметилась тенденция к снижению содержания углерода и ограничению их углеродного эквивалента, что снижает прочность сталей. Поэтому возрос интерес к использованию при производстве хладостойких сталей процесса термомеханической обработки (ТМО), являющегося одним из наиболее эффективных методов упрочнения стали и повышения ударной вязкости [1]. Несмотря на трудности практической реализации, ТМО является перспективным методом обработки, поскольку позволяет одновременно повысить прочность и пластичность стали.

Наибольший эффект повышения механических свойств при ТМО достигается в том случае, когда после пластической деформации стали осуществляется закалка на мартенсит. На упрочнение, связанное с реализацией мартенситного превращения, может накладываться упрочнение, вызываемое пластической деформацией. Формирование окончательной структуры при термомеханической обработке происходит в условиях повышенной плотности и распределения несовершенств кристаллического строения, созданных при горячей пластической деформации, то есть структура образующегося при охлаждении мартенсита определяется созданной в результате

горячей деформации структурой аустенита. Возможность прямого наследования мартенситом дислокационной структуры аустенита была рассмотрена и обоснована М.Л. Бернштейном и М.А. Штремелем [2]. Наследование дислокационной структуры аустенита мартенситом было показано в работе [3]. При электронно-микроскопических наблюдениях было обнаружено, что субграницы в аустените не обрываются на межфазных границах, а продолжают в мартенситных кристаллах [4]. По изменению ширины рентгеновской линии  $\{211\}_\alpha$  мартенсита удалось показать, что после ТМО плотность дислокаций в мартенсите выше, чем после контрольной закалки [5]. Ранее была исследована ТМО в применении к конструкционным сталям с высоким содержанием легирующих элементов и углерода (около 0,3–0,4%) [6, 7], однако стали с меньшим содержанием углерода и легирующих элементов до сих пор были исследованы недостаточно. По поводу влияния отпуска на распад мартенсита существуют разноречивые мнения: в некоторых работах приведены заключения об ускоряющем действии ТМО на распад мартенсита, в других – о тормозящем действии ТМО на распад [5].

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств низкоуглеродистой строительной стали с невысокой степенью легирования (количество легирующих элементов не более 4–5%), подвергнутой ТМО. Предстояло изучить, происходит ли в такой стали передача дефектов от деформированного аустенита образующемуся из него при охлаждении мартенситу. Необходимо было определить, возможно ли сохранить полученное при ТМО упрочнение при последующей термообработке, в частности при повторной закалке, поскольку существует иное мнение [8, 9]. Необходимо было также определить, каким образом влияет ТМО на процессы, происходящие при последующем отпуске.

### Материал и методика исследования

Материалом для исследования послужила опытная плавка стали 10ХН2М с добавками элементов, сдерживающих процесс рекристаллизации аустенита, – ванадия, ниобия, титана, алю-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов НШ-5965.2006.3, РФФИ № 04-03-96140-р2004урал а и гранта № 37-06-02 Фонда ОАО «ММК», ИГЦ «Аусферр» и ФНИО «Интелс».



Таблица 1

## Химический состав стали 10ХН2М

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb	Al
0,10	0,33	0,54	1,14	1,89	0,42	0,16	0,005	0,002	0,031	0,0027

миния. Химический состав приведен в табл. 1. Стали подобного состава являются термически улучшаемыми высокой прочностью. Известны зарубежные аналоги этой стали – Well Ten 80 (Япония) и HSB-77V (Германия) [10].

Термомеханическую обработку проводили в заводских условиях. Прокатку осуществляли в несколько проходов, степень обжатия при одном проходе составляла 10–15%. Листы стали были подвергнуты ТМО по трем режимам. Режим I включал в себя нагрев заготовки толщиной 70 мм до 1170°C, выдержку 1,5 ч, прокатку на толщину 40 мм, подстуживание до 900°C, прокатку на толщину 30 мм и охлаждение в воде. Режим II отличался от режима I тем, что непосредственно после горячей деформации была сделана последеформационная выдержка при температуре 900°C в течение 5 мин. Режим III представлял собой термомеханическую обработку и дополнительную повторную закалку от 900°C. Нагрев под повторную закалку проводили со скоростью менее 60 град/ч, выдержка при температуре нагрева под закалку 900°C составляла 1 ч.

Исследовали структуру листового проката размером 30×3100×8600 мм в зависимости от расстояния от поверхности листа. Образцы для механических испытаний на растяжение и ударный изгиб были отобраны из середины по толщине листа. Механические свойства определяли непосредственно после ТМО, а также после дополнительного отпуска при температурах 600, 640 и 670°C в течение 6 и 20 ч.

Исследование структуры проводили методом металлографии на микроскопе Эпитип-2 и методом просвечивающей электронной микроскопии и электронной дифракции на микроскопе JEM-200CX.

**Результаты исследования и их обсуждение***Исследование структуры листов после ТМО*

Металлографические исследования показали, что в листах стали 10ХН2М после ТМО образовалась структура, состоящая в основном из смеси реечного мартенсита и бейнита (рис. 1). В середине листов количество бейнита в структуре было несколько больше, чем вблизи поверхности, что, несомненно, связано с ускоренным охлаждением поверхностных слоев.

Электронно-микроскопические исследования позволили установить, что в результате ТМО в стали сформировалась реечная структура, состоящая из реек  $\alpha$ -фазы шириной 0,1–0,8 мкм, сгруппированных в пакеты (рис. 2). Внутри реек плотность дислокаций высока, присутствуют дислокационные скопления, то есть наблюдается



Рис. 1. Микроструктура листов стали 10ХН2М; ×370

структура, похожая на ячеистую. На электронограмме, полученной с участка, изображенного на рис. 2, а, рефлексы  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фаз имеют азимутальное размытие, что свидетельствует о значительной деформации стали (рис. 2, в).

Следует отметить тот факт, что на границе  $\alpha$ -кристаллов присутствует значительное количество остаточного аустенита. Его ориентация одина в пределах отдельного пакета, что хорошо видно на темнопольном изображении, полученном в рефлексе аустенита (рис. 2, б). Наличие относительно большого количества остаточного аустенита, возможно, связано с тем, что структура стали 10ХН2М, возникающая при ТМО, является либо продуктом бейнитного, либо продуктом мартенситного превращения с изотермической кинетикой, которое не проходит до конца. Кроме того известно [11], что создание при большой деформации развитой дислокационной структуры должно понижать мартенситную точку  $M_n$  и препятствовать развитию мартенситного превращения, которое происходит сдвиговым механизмом, и таким образом способствовать увеличению количества остаточного аустенита. Образующий наряду с мартенситом бейнит не содержит частиц цементита, то есть является бескарбидным. Согласно [12] присутствие такого бейнита в структуре не должно отрицательно повлиять на ударную вязкость стали.

*Влияние дополнительного отпуска на механические свойства листового проката*

Термомеханическая обработка позволила получить листовой прокат с высокими механическими свойствами. Данные, представленные в табл. 2, позволяют заключить, что наиболее высокие прочностные свойства исследованной стали получаются после ТМО по первому режиму, то есть при условиях, когда непосредственно после горячей деформации производилась закалка в воду. После ТМО по II режиму, то есть когда после деформации была сделана выдержка при 900°C в течение 5 мин, прочностные свойства получились несколько ниже. По-видимому, во время последеформационной выдержки плотность дефектов

Влияние термомеханической обработки и отпуска на механические свойства листового проката из стали 10ХН2М

Обработка	Температура отпуска, °С	Время отпуска, час	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	KV <sup>60</sup> , Дж
ТМО-I	Без отпуска	–	1229	1006	7,5	65,5	37,2
		6	812	758	18,3	70,9	80,4
	640	20	750	695	19,2	73,1	100,8
		6	839	801	17,0	69,8	120,3
	670	20	765	707	19,7	73,1	110,4
		6	839	801	17,0	69,8	120,3
ТМО-II	Без отпуска	–	1147	968	11,8	65,0	16,5
		6	748	685	19,3	74,0	127,5
	640	20	700	685	20,0	75,3	136,4
		6	780	732	17,4	74,0	172,2
	670	20	726	757	19,7	76,6	220,2
		6	780	732	17,4	74,0	172,2
ТМО-III	Без отпуска	–	1069	904	13,8	68,3	54,6
		6	714	645	21,1	78,6	180,6
	640	20	638	553	23,7	79,2	191,7
		6	649	566	24,2	79,3	219,9
	670	20	600	512	27,0	79,7	193,2
		6	649	566	24,2	79,3	219,9

кристаллического строения уменьшилась. Самой низкой оказалась прочность листов, подвергнутых обработке по III режиму, то есть когда после ТМО была проведена термообработка – повторная закалка от 900°C.

Листы стали после ТМО по режимам I и II обладают высокой прочностью  $\sigma_b=1147-1229$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_{0,2}=968-1006$  Н/мм<sup>2</sup>, однако показатели пластичности и работа удара оказались низкими. Относительное удлинение не превышает 11,8%. При температуре минус 60°C работа удара составляет не более 37,2 Дж. После проведения дополнительного отпуска прочность листов несколько снижается, достигая значений  $\sigma_b=780-839$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_{0,2}=757-801$  Н/мм<sup>2</sup>. Относительное удлинение и относительное сужение, а также работа удара, напротив, существенно увеличиваются по сравнению с неотпущенным состоянием. Так, например, после ТМО по I режиму и отпуска при температуре 640°C в течение 6 ч работа удара составляет 80,4 Дж, а после обработки по II режиму и такого отпуска – 127,5 Дж. Увеличение длительности отпуска, а также повышение его температуры вызывает дальнейшее увеличение величин работы удара, которые достигают при некоторых режимах отпуска высоких значений, более 170 Дж.

Более детальный анализ зависимости величины временного сопротивления и предела текучести от температуры и длительности отпуска показал, что для стали 10ХН2М не наблюдается монотонное снижение прочностных свойств. Так, например, после ТМО по I режиму и отпуска при температуре 640°C в течение 6 ч

$\sigma_b=812$  Н/мм<sup>2</sup>, а после отпуска при температуре 670°C в течение 6 ч  $\sigma_b=839$  Н/мм<sup>2</sup>. Таким образом, прочность стали не только не снижается при увеличении температуры отпуска, но и несколько повышается. Причины этого явления будут рассмотрены позже, пока же следует предположить, что вместо ожидаемого разупрочнения происходит упрочнение, возможно, связанное с дисперсионным твердением стали.

*Влияние отпуска на структуру стали, подвергнутой ТМО*

Отпуск стали при температурах 600 и 640°C в течение 6 ч не нарушает реечного строения  $\alpha$ -фазы, однако в пределах отдельных реек возни-

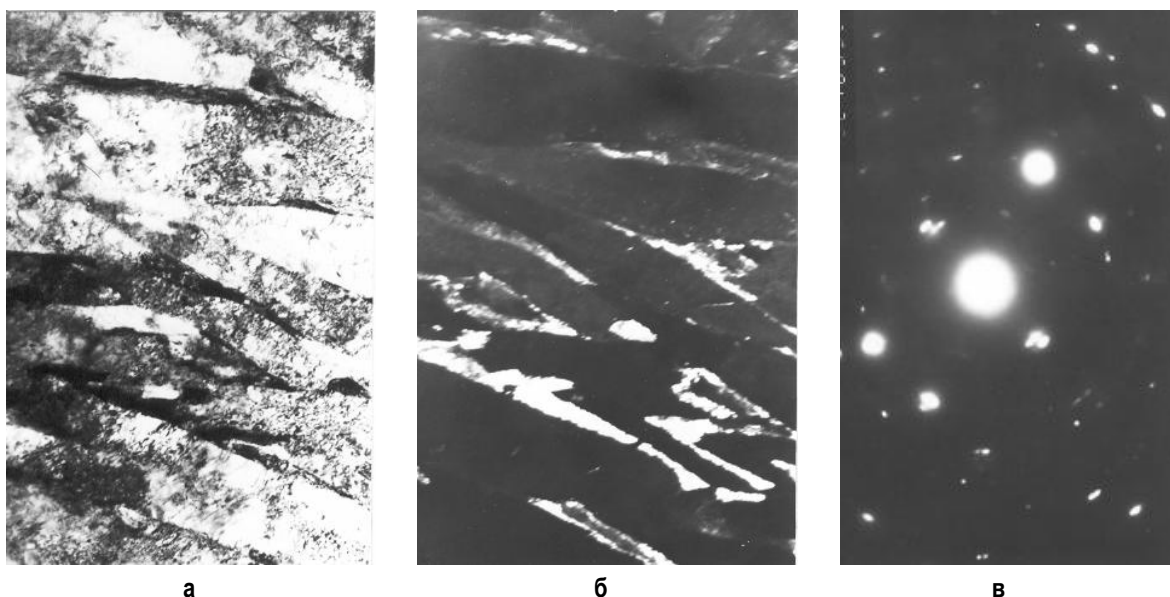


Рис. 2. Микроструктура листов стали 10ХН2М после ТМО без дополнительного отпуска:

а – свет лопольное изображение; б – темнопольное изображение в рефлексе (200) аустенита;

в – электронограмма с указанием рефлекса (200) аустенита;  $\times 30000$

кают субзерна размером 0,2–0,4 мкм, разориентированные относительно друг друга на небольшой угол, около 5 град. На субграницах и границах  $\alpha$ -реек происходит выделение частиц карбидов размером 80–120 нм. Расшифровка электронограммы позволила установить, что эти частицы являются цементитом  $Fe_3C$ . При отпуске плотность дислокаций снижается, особенно внутри субзерен, происходит полный распад остаточного аустенита.

Реечный характер структуры сохраняется в ней до более высоких температур отпуска и большей его продолжительности. Заметные изменения структуры, связанные с полигонизацией  $\alpha$ -фазы, происходят лишь при длительном высоком отпуске, то есть при температурах 640 и 670°C в течение 20 ч.

Характерной особенностью структуры исследованной стали, подвергнутой ТМО по I и II режимам и последующему отпуску, следует считать то, что выделяющаяся карбидная фаза (цементит) обладает высокой степенью дисперсности. Размер выделяющихся частиц не превышает 50–100 нм (рис. 3, а, б). Высокая степень дисперсности цементита обусловлена, по-видимому, тем, что ТМО обеспечивает высокую плотность дислокаций, являющихся местами зарождения карбидов. Частицы цементита выделяются часто внутри крупных реек  $\alpha$ -фазы (см. рис. 3, а).

Термомеханическая обработка по III режиму приводит к выделению частиц цементита, напротив, в более грубой форме. Существенно больше средний размер выделений цементита после ТМО, повторной закалки и отпуска (III режим), он составляет 200–400 нм, тогда как средний размер частиц цементита после ТМО по I режиму и отпуска при 640°C в течение 20 ч составляет 50–100 нм. В исследуемой стали после обработки по

III режиму гораздо интенсивнее протекает полигонизация  $\alpha$ -фазы, в связи с чем полностью нарушается реечный характер структуры (рис. 3, в).

Тот факт, что ТМО оказывает тормозящее действие на процессы отпуска, имеет чрезвычайно важное значение для сварки стали, поскольку в зоне термического влияния сварного соединения неизбежно происходит нагрев до температур 600–670°C, и разупрочнение этого участка крайне нежелательно.

Детальные электронно-микроскопические исследования структуры стали, подвергнутой ТМО и отпуску при 670°C, позволили установить, что внутри  $\alpha$ -реек происходит выделение чрезвычайно дисперсной фазы. С помощью микрофракционного анализа удалось определить тип выделяющейся фазы, которая является карбидом  $Me_{23}C_6$ .

Возвращаясь к причинам повышения прочности при увеличении температуры отпуска, следует отметить, что вполне естественное разупрочнение стали при отпуске, связанное со снижением плотности дислокаций, с выходом углерода из  $\alpha$ -твердого раствора и выделением цементита, сопровождается упрочнением, связанным с выделением дисперсной фазы  $Me_{23}C_6$  – дисперсионным твердением.

Главной причиной сохранения высокой прочности стали 10ХН2М после высокого отпуска следует считать сохранение реечного характера структуры, то есть торможение распада мартенсита. Замедление распада мартенсита, несомненно, связано с присутствием в составе стали таких элементов, как молибден, ванадий, титан, ниобий и алюминий, интенсивно сдерживающих процессы полигонизации и рекристаллизации.

Одной из задач настоящей работы явилось

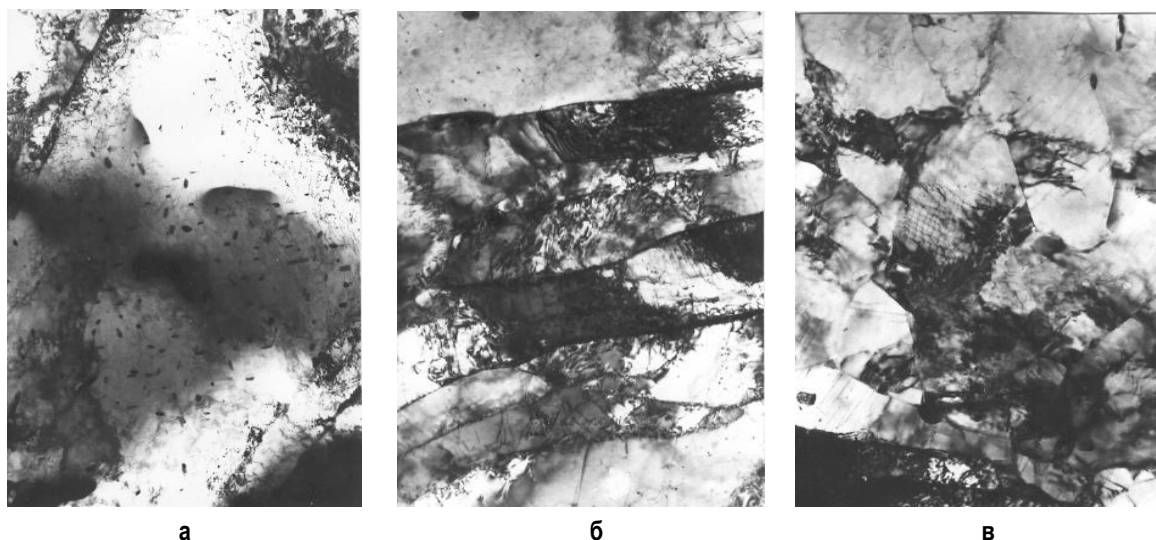


Рис. 3. Микроструктура листов стали 10ХН2М после ТМО и дополнительного отпуска 640°C, 20 ч: а – I режим; б – II режим; в, г – III режим; а, б, в – светлоскопические изображения;  $\times 30000$



изучение влияния повторной закалки на уровень механических свойств листовой стали. Это можно проследить, сравнивая прочностные свойства после ТМО после III режима обработки (то есть после ТМО, повторной закалки и отпуска) с прочностными свойствами после ТМО без повторной закалки и отпуска. Из данных табл. 2 следует, что прочностные свойства листа после III режима обработки оказались ниже, чем у листа, подвергнутого ТМО по I или по II режимам с последующим отпуском.

Для выяснения причин снижения прочности при проведении повторной закалки были проведены металлографические исследования. Сравнение структуры стали после I или II режима ТМО и отпуска со структурой после III режима обработки с последующим отпуском показало, что повторная закалка не приводит к полному воспроизведению размеров мартенситных кристаллов, напротив, наблюдается их измельчение. По-видимому, повторный нагрев под закалку происходил в условиях, когда не проявилась структурная наследственность, и  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращение сопровождалось перекристаллизацией исходного аустенитного зерна. Очевидно превращение не прошло «по прежним путям», что не позволило сохранить все дефекты, которые были в стали после окончания ТМО. Проведение повторной закалки привело к частичному снятию наклепа, то есть аннигиляции дефектов кристаллического строения, полученных при ТМО, что согласуется с результатами работ [8, 9]. Вследствие этого прочность исследованной стали после ТМО по III режиму оказалась меньше прочности после I и II режимов (см. табл. 2).

## Выводы

1. Низкоуглеродистая сталь 10ХН2М с микродобавками ванадия, ниобия, титана, алюминия после термомеханической обработки с последующим отпуском обладает высоким комплексом механических свойств и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым для хладостойких свариваемых сталей, работающих в условиях Крайнего Севера.

2. Высокие прочностные свойства и ударная вязкость стали 10ХН2М обусловлены формированием мартенситно-бейнитной структуры с высокой плотностью дефектов кристаллического строения, унаследованных ею от горячедеформированного аустенита при  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении.

3. Термомеханическая обработка исследуемой стали сдерживает протекание в ней процессов отпуска – выделения цементита, полигонизации и рекристаллизации  $\alpha$ -фазы. В результате ТМО и последующего высокого отпуска, вплоть до температуры 670°C в стали сохраняется структура реечного мартенсита, выделение цементита происходит в дисперсной форме. Сохранение высокого уровня прочности после высокого отпуска также обусловлено явлением дисперсионного твердения, связанным с выделением карбидов  $Me_{23}C_6$ .

4. Повторная закалка стали 10ХН2М, подвергнутой ТМО, частично снимает наклеп, создаваемый при горячей пластической деформации аустенита.

Структурные исследования выполнены на микроскопе JEM-200СХ в центре коллективного пользования ИФМ УрО РАН по электронной микроскопии.

## Библиографический список

1. Смирнов Л.В., Соколов Е.Н., Садовский В.Д. Влияние пластической деформации в аустенитном состоянии на хрупкость при отпуске конструкционных легированных сталей // ДАН СССР. Т. 103. № 4. С. 239–257.
2. Бернштейн М.Л., Штремель М.А. О «наследственном» влиянии наклепа на свойства стали // ФММ. 1963. Т. 15. Вып. 1. С. 82–90.
3. Винников Л.Я., Панкова М.Н., Утевский Л.М. Знакопеременное чередование разориентировок на параллельных субграницах // ФММ. 1971. Т. 31. Вып. 5. С. 1018–1022.
4. Козлова А.Г., Утевский Л.М. Структура аустенита и мартенсита стали 35СХН12М, формирующаяся в результате горячей деформации // ФММ. 1974. Т. 38. Вып. 3. С. 662–665.
5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983. 480 с.
6. Петрова С.Н., Садовский В.Д., Соколов Е.Н. Влияние термомеханической обработки на механические свойства стали 35ХГСА // Упрочнение сталей. Свердловск: Металлургиздат, 1960. С. 111–119.
7. Соколов Е.Н., Садовский В.Д. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на ударную выносливость конструкционных легированных сталей // ФММ. 1964. Т. 18. Вып. 4. С. 584–589.
8. Бухвалов А.Б., Смирнов Л.В., Садовский В.Д. О наследственности упрочнения при термомеханической обработке стали. Ч. 1 // ФММ. 1969. Т. 27. Вып. 4. С. 679–688.
9. Бухвалов А.Б., Смирнов Л.В., Садовский В.Д. О наследственности упрочнения при термомеханической обработке стали. Ч. 2 // ФММ. 1969. Т. 28. Вып. 1. С. 144–151.
10. Тылкин М.А., Большаков В.И., Одесский П.Д. Структура и свойства строительной стали. М.: Металлургия, 1983. 287 с.
11. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986. 480 с.
12. Пикеринг Ф. Б. Физическое материаловедение и разработка сталей. М.: Металлургия, 1982. 184 с.



УДК 548.4

О. А. Цвиркун, Е. А. Будовских, В. А. Петрунин, В. Я. Целлермаер, В. Е. Громов

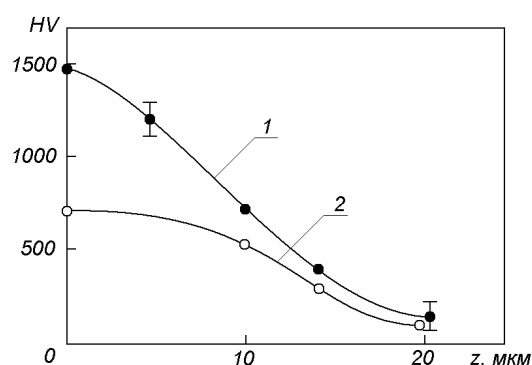
## МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗОНЫ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО КАРБОБОРИРОВАНИЯ И НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗА

Настоящая работа посвящена анализу изменения микротвердости с глубиной зоны электро-взрывного карбоборирования и науглероживания железа. Суть этого способа поверхностного упрочнения металлов состоит в импульсном оплавлении и насыщении поверхностных слоев продуктами электрического взрыва проводников с последующей самозакалкой. Для его осуществления использовали плазменный ускоритель, состоящий из коаксиально-торцевых токоподводящих электродов, разрядной камеры, локализирующей продукты взрыва, и формирующего сопла, по которому они истекали в вакуумируемую технологическую камеру. В качестве материала взрываемого проводника использовали углеграфитовые волокна. При карбоборировании в области взрыва размещали навеску порошка аморфного бора, которая увлекалась формируемой струей и, частично переходя в плазменное состояние, переносилась на облучаемую поверхность. Длительность импульса (100 мкс) полагали равной одному периоду разрядного тока от емкостного накопителя энергии. Среднее эффективное значение поглощаемой плотности мощности при обработке составляло  $6,0 \text{ ГВт/м}^2$ , давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности – 14,2 МПа. Обработке подвергали образцы рафинированного железа марки 0,08ЖР с размерами  $30 \times 30 \times 3 \text{ мм}$ . Измерение микротвердости модифицированных слоев на поперечных шлифах и с облученной поверхности проводили с использованием прибора ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1 Н. Область, в которой проводили измерения, располагалась на расстоянии 10–12 мм от оси зоны плазменного воздействия. Относительная ошибка измерений не превышала 10%.

По изменению микротвердости HV с глубиной  $z$  зоны легирования (см. рисунок) можно заключить, что по мере удаления от поверхности степень насыщения расплава продуктами взрыва уменьшалась. Это соответствует результатам послойных электронно-микроскопических исследований. Так, в работе [1] было установлено, что зона карбоборирования железа имеет ярко выраженное градиентное строение, вызванное изменением концентрации легирующих элементов по глубине. На поверхности формировался тонкий (примерно микронной толщины) наноструктурный слой карбидов и боридов, а под ним – слой с ячеистой кристаллизацией. С глубиной размеры ячеек твердого раствора непрерывно

увеличивались, а разделяющих их прослоек боридов и карбоборидов уменьшались. Аналогично после науглероживания [2] на поверхности в тонком слое наблюдались глобулы графита, разделенные прослойками твердого раствора углерода в железе. Здесь же наблюдались выделения частиц карбида железа состава  $\text{Fe}_2\text{C}$ . Ниже располагался слой, сформированный структурой закалки пересыщенного углеродом железа и состоящий из кристаллов мартенсита, остаточного аустенита и карбидов  $\text{Fe}_3\text{C}$  и  $\text{Fe}_2\text{C}$ . Максимальное значение микротвердости на поверхности после карбоборирования составляло 15, а после науглероживания – 7,4 ГПа, что соответственно примерно в 10 и 5 раз больше, чем в основе.

Выясним, с чем связан такой рост микротвердости на поверхности. По литературным данным [3], полученным на технически чистом железе, средняя микротвердость участков зоны лазерного борирования, содержащих смесь боридов  $\text{Fe}_2\text{B} + \text{FeB}$ , составляет 1785 ГПа, а у структуры эвтектического типа – 1100 ГПа. Полагая, что в нашем случае при измерении микротвердости с поверхности вклад в ее значения в равной степени давали оба названных выше слоя, по этим данным получим усредненное значение 1440 ГПа. С учетом точности измерений можно считать, что это оценочное расчетное значение совпадает с измеренным. Микротвердость же слоя зоны легирования с ячеистой структурой, располагающегося на глубине 5–7 мкм, как видно из рисунка, совпадает с микротвердостью эвтектической структуры лазерного борирования железа. Полученные нами значения микротвердости на поверхности образцов после электро-



Распределение микротвердости по глубине после карбоборирования (1) и науглероживания (2) поверхностных слоев железа

взрывного науглероживания согласно данным работы [4] по микротвердости сплавов железа с углеродом соответствуют ледебуритной эвтектике, формирующейся при закалке сплавов из жидкого состояния. Результаты электронно-микроскопических исследований структурно-фазовых состояний согласуются с этими данными.

Таким образом, можно заключить, что основной вклад в упрочнение поверхностных слоев при электровзрывном легировании вносят частицы новых фаз (карбидов, боридов, карбоборидов и др.), формирующиеся в условиях высокоскоростной самозакалки из жидкого состояния.

#### Библиографический список

1. Электровзрывное карбоборирование железа: рельеф поверхности, фазовый состав и дефектная субструктура модифицированного слоя / Багаудинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф. и др. // Вопросы материаловедения. 2005. № 3 (43). С. 32–39.
2. Электровзрывное легирование железа углеродом: рельеф поверхности, фазовый состав и дефектная субструктура / Багаудинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф. и др. // Изв. вузов. Физика. 2005. № 9. С. 36–41.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Буракин А.В. поверхностное насыщение стали бором при воздействии излучения лазера // Металловедение и термическая обработка металлов. 1985. № 11. С. 9–11.
4. Григорович В.К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа. М.: Наука, 1970. 292 с.

УДК 669.14.017

В. Н. Урцев, В. Н. Дегтярев, Е. Д. Мокшин, А. В. Шмаков, Н. В. Урцев

## ОСОБЕННОСТИ ЭВТЕКТОИДНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ В РАСПЛАВЕ СЕЛИТРЫ

В существующих технологиях переработки катанки используется охлаждение металла в изотермической среде с температурой 400–500°C, которое обычно рассматривают как «быстрый» процесс, при котором само структурное превращение происходит в течение нескольких секунд. При этом время охлаждения до температур распада зависит от площади сечения и составляет 20–25 с для катанки диаметром 6,5 мм.

Термокинетические кривые охлаждения, приводимые в литературе [1], представляют собой плавную линию, имеющую перегиб только в момент распада аустенита, идущего экзотермически. Температура изотермической среды в ито-

ге определяет скорость охлаждения и температуру начала превращения.

В ИТЦ «Аусферр» проведен ряд работ по изучению влияния скорости охлаждения на кинетику распада аустенита в изотермических средах с различной температурой.

В ходе эксперимента образцы из стали 85, представляющие собой круглые прутки диаметром 8 мм, подвергали предварительному нагреву до температуры 1050°C и выдерживали при этой температуре не менее 15 мин, затем помещали в печь-ванну с расплавом селитры ( $T_{\text{распл.}}=440^\circ\text{C}$ ). Кривая охлаждения записывалась с термопары зачеканенной на глубину  $1/2 R$  (рис. 1). Для записи кривых охлаждения использовался модуль аналогового ввода для подключения термопар ADAM 6018, позволяющий измерять температуру по восьми независимым каналам с частотой опроса 10 изм./с.

На рис. 2 представлена кривая охлаждения, полученная сотрудниками ИТЦ «Аусферр» в конце декабря 2005 г. Очень интересен участок ВС, демонстрирующий явное тепловыделение, которое обычно ассоциируется с фазовым превращением.

Отметим, что это не может быть следствием перлитного превращения, поскольку если прервать охлаждение, например в точке С, и закалить образец, то он будет иметь структуру мартенсита. Перлитное превращение происходит на участке DE (кинетическая кривая приведена на рис. 3).

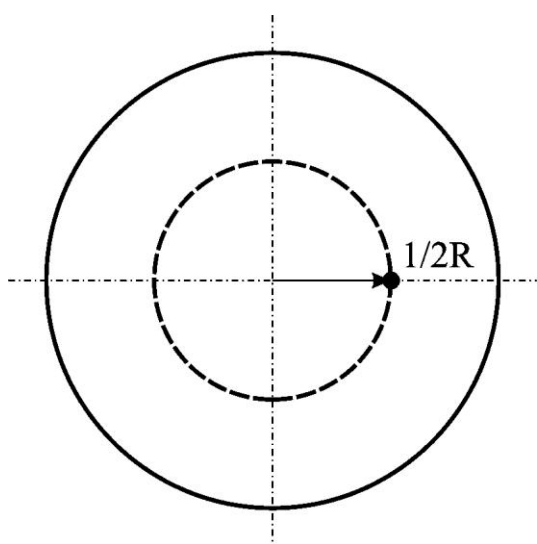


Рис. 1. Схема зачеканки термопары

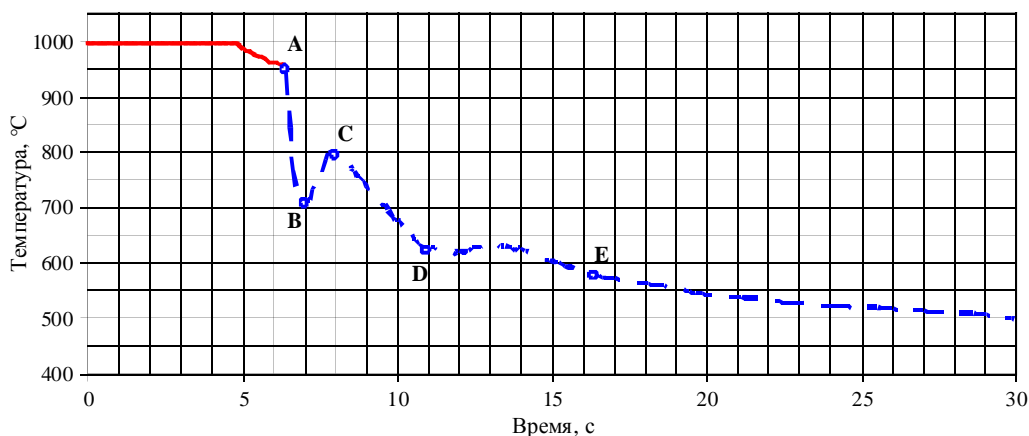


Рис. 2. Изменение температуры по времени при охлаждении в расплаве селитры ( $T_{распл}=440^{\circ}\text{C}$ ) образца из стали 85: — выдержка в печи и охлаждение на воздухе во время переброски из печи в расплав селитры; — охлаждение в расплаве селитры

Структурное состояние образцов после завершения превращения иллюстрирует рис. 4.

Степень дисперсности полученного перлита невозможно определить оптической металлографией. Наиболее эффективным косвенным способом оценки изменения структуры и свойств металла является метод измерения микротвердости. Данный способ позволяет определять не только количественные изменения механических характеристик металла (микротвердость пропорциональна пределу прочности), но отражает и характер изменения параметров структуры, т. е. чем дисперснее ферритоцементитная структура и меньше величина межпластинчатого расстояния, тем выше твердость [2]. Измерение микротвердости проводилось методом Виккерса по ГОСТ 8.398-80 и ГОСТ 8.335-78 [3, 4] на приборе MICROMET 1 фирмы «Buehler». Согласно полученным данным твердость эвтектоида составляет 400–460 HV, что соответствует сорбиту [2].

Часть образцов подвергалась закалке с различных температур: с температуры предварительного нагрева и выдержки и после охлаждения

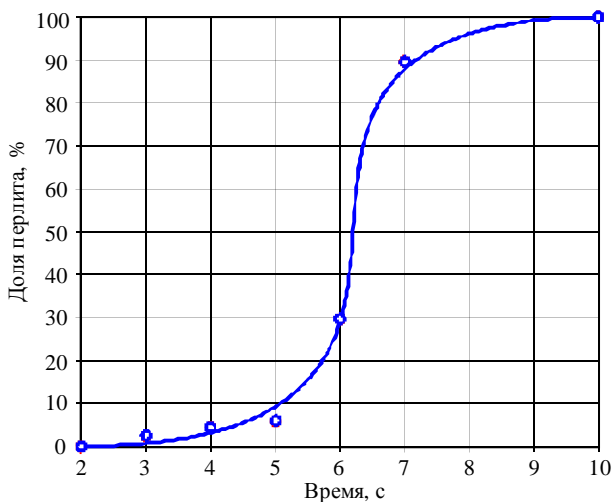
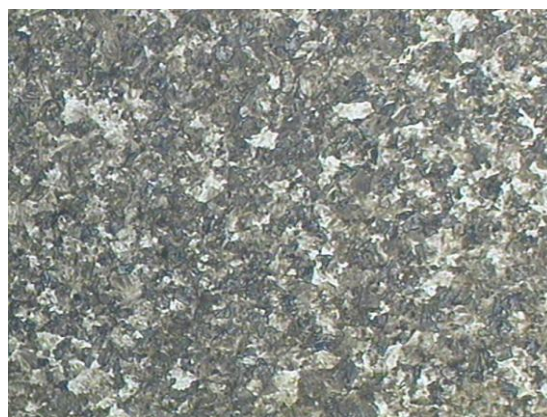


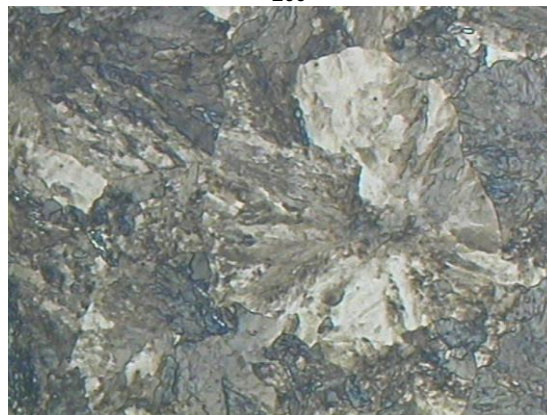
Рис. 3. Кинетика перлитного превращения при охлаждении в расплаве селитры ( $T_{распл}=440^{\circ}\text{C}$ )



×50



×200



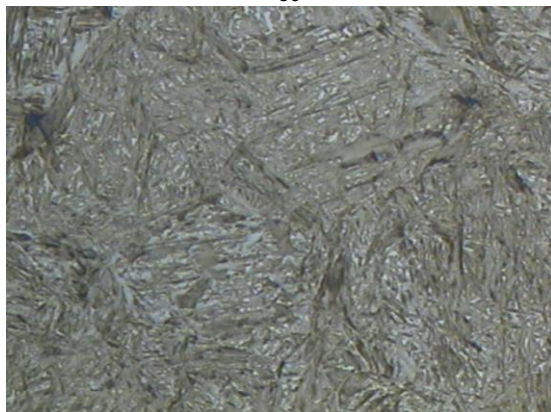
×400

Рис. 4. Микроструктура образцов стали 85. Охлаждение в селитре до полного распада ( $T_{распл}=440^{\circ}\text{C}$ )





×50

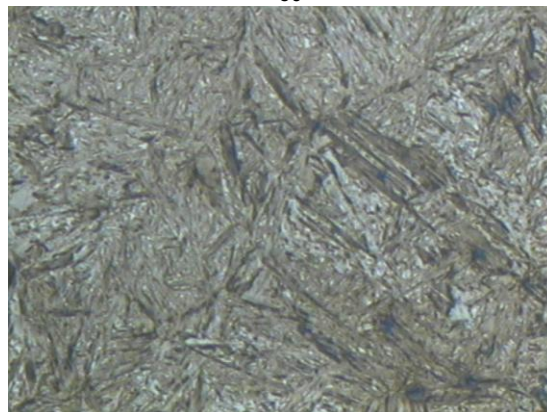


×400

Рис. 5. Микроструктура образцов стали 85. Закалка после прерванного в точке D охлаждения в селитре ( $T_{распл}=440^{\circ}\text{C}$ )



×50



×400

Рис. 6. Микроструктура образцов стали 85. Закалка в воду с температуры  $1050^{\circ}\text{C}$

Твердость структурных составляющих, HV

Область замеров	min	max	Среднее	Станд. отк.
Закалка с температуры $1050^{\circ}\text{C}$				
1/2 R	802	946	904	33,34
Сердцевина образца	824	946	891	30,39
Закалка после охлаждения в селитре, прерванного в точке D				
1/2 R	548	689	592	18,01
Сердцевина образца	612	715	665	26,30

ния в селитре до начала перлитного превращения (точка **D** на рис. 2). В обоих случаях в образцах формировалась структура мартенсита. Оценка твердости полученных структур показала, что мартенсит, полученный в результате закалки в воде после прерванного в точке **D** охлаждения

(рис. 5), значительно мягче полученного после закалки с температур  $1015\text{--}1050^{\circ}\text{C}$  (см. таблицу).

Микроструктура закаленных образцов представлена на рис. 6.

Представленные в статье результаты (участок **BC** кривой охлаждения и получение мартенсита различной твердости) позволяют высказать предположение, что перлитному превращению предшествует некоторый фазовый переход, приводящий к формированию промежуточного между аустенитным и перлитным структурного состояния, содержащего фазу, отличную от аустенита, феррита и цементита. Возможным кандидатом на такую фазу является ГЦТ-Fe, наблюдаемое ранее в тонких пленках [5–7].

Библиографический список

1. Особенности сорбитизации катанки с прокатного нагрева и свойства проволоки из нее / В.И. Зюзин, С.А. Терских, Е.А. Евтеев и др. Белорецк: БМК, 2000. 26 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. 360 с.
3. ГОСТ 8.398-80. Приборы для измерения твердости металлов и сплавов. Методы и средства поверки.
4. ГОСТ 8.335-78. Меры твердости образцовые. Методы и средства поверки.
5. Li D., Freitag M., Pearson J., Qiu Z. Q. and Bader S. D. // Phys. Rev. Lett. V. 73. 3112 p. (1994).
6. Ellerbock R. D., Fuest A., Schatz A., Keune W. and Brand R. A., ibid. V. 74. 3053 p. (1995).
7. Marcus P. M., Moruzzi V. L. Tetragonal equilibrium states of iron // Phys. Rev. B. V. 60. P. 369 (1999).



УДК 669.1

А. В. Кушнарев, А. В. Сухов, Ю. П. Петренко, Г. А. Филиппов

## О ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Вязкость разрушения или критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  отражает интенсивность напряжений в вершине трещины при наступлении момента ее нестабильного распространения.

Для ответственных деталей железнодорожного транспорта, в частности для цельнокатанных колес, величина этого параметра имеет важное значение, так как характеризует сопротивление металла лавинообразному хрупкому разрушению при наличии в нем острого концентратора в виде трещины и напрямую влияет на безопасность эксплуатации.

В европейских стандартах [1, 2] на железнодорожные колеса величина вязкости разрушения  $K_{Ic}$ , также называемой трещиностойкостью, является сдаточной характеристикой и нормируется для различных марок колесной стали.

С 1998 года определение трещиностойкости введено в Нормы безопасности [3] на железнодорожном транспорте и стало обязательным при проведении сертифицированных испытаний колес для российских железных дорог.

Согласно п. 1.6 Норм безопасности величина  $K_{Ic}$  определяется на образцах, вырезанных с глубины обода 20 мм и свыше 20 мм, и должна составлять не менее  $50 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  для первых и не менее  $75 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  для вторых. При этом данное требование относится ко всем маркам колесной стали и должно выполняться для всех образцов, вырезанных с той или иной глубины обода.

Однако обоснованность таких требований, как с точки зрения абсолютной величины, так и в вопросе распределения по сечению обода, вызывает определенные сомнения. Вязкость разрушения – сложный многофакторный показатель металла, зависящий от его химического состава, структурного состояния, предела текучести. При этом известно, что одним из наиболее значимых факторов является содержание углерода: с повышением содержания углерода (увеличением прочности и хрупкости стали) величина  $K_{Ic}$  снижается. Данная зависимость отражена во многих международных стандартах при регламентации вязкости разрушения. В табл. 1 для сравнения представлены значения  $K_{Ic}$  из германских норм BN 918277 и отечественные требования.

Следует отметить, что образцы, согласно европейским стандартам, вырезаются только с глубины 20 мм.

Анализ табл. 1 показывает, что отечественные требования коррелируют с немецкими толь-

ко для стали марки 1, колеса из которой на сегодняшний день не выпускаются. Практически для всего диапазона сталей марок 2 и Т (колеса повышенной твердости) величина трещиностойкости по немецким нормам не регламентируется.

Дополнительное определение величины вязкости разрушения на образцах с глубины обода более 20 мм также не имеет аналогов в мировой практике. По всей видимости, предполагалось, что в глубинных слоях обода сталь «более вязкая», т.к. скорости охлаждения при закалке здесь ниже, чем на поверхности, а значит, и величина вязкости разрушения должна быть выше –  $75 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  или в полтора раза выше, чем на поверхности. Однако на практике ни одна из механических характеристик колесной стали не имеет столь высокого градиента по сечению обода, трудно ожидать этого и от трещиностойкости.

Считается, что вязкость разрушения является константой материала, не зависящей от размеров образцов, но чувствительной к условиям испытаний и структурному состоянию [4]. Структура перлитной стали характеризуется несколькими параметрами (толщина цементитных пластин и расстояние между ними, размер колоний и размер исходного аустенитного зерна), и в зависимости от условий нагружения и соотношения между структурными параметрами механизмы пластической деформации и разрушения могут быть различными.

При разрушении перлитной стали сколом,

Таблица 1

Марка стали	Содержание углерода, %	Среднее значение $K_{Ic}$ в обode, $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ , (по 6 образцам), не менее	Минимальное индивидуальное значение, $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ , не менее
Германские нормы			
R6	Не более 0,48	100	80
R7	Не более 0,52	80	70
R8	Не более 0,56	60	50
R9	Не более 0,60	Не регламентируется	Не регламентируется
Отечественные нормы			
1	0,44–0,52		50 – на глубине 20 мм
2	0,55–0,65		75 – на глубине > 20 мм
T	0,55–0,70		

отдельные фасетки скола имеют размеры порядка диаметра зерна аустенита. При данном механизме разрушения вязкость разрушения  $K_{Ic}$  будет определяться в основном размером зерна аустенита и слабо зависеть от размеров колоний и межпластинчатого расстояния перлита.

Чем больше вклад пластической деформации в процесс разрушения перлита, тем более чувствительным к субструктуре материала, в частности к размеру перлитных колоний и расстоянию между пластинами цементита, становится процесс развития трещины. Диаграмма прочности, отражающая связь между пределом текучести и вязкостью разрушения стали, имеет вид кривой с максимумом. Так, максимальное значение трещиностойкости перлитной стали У8 соответствует пределу текучести, равному примерно 700 МПа [5]. Такие же свойства перлита обеспечивает структура с оптимальными значениями межпластинчатого расстояния, толщины цементитных пластин и ферритных промежутков между ними равными 0,15, 0,02 и 0,13 мкм соответственно.

Если уменьшение вязкости разрушения с ростом прочности материала считается нормальным явлением, характерным для большинства механизмов деформационного упрочнения, то уменьшение трещиностойкости с понижением предела текучести – нетривиальный факт. Объяснение этого может быть основано на учете структурных особенностей перлита – сложной зависимости прочности и предела текучести от различных размерных параметров структуры. Способность к деформации цементитных пластин определяется главным образом их толщиной – чем тоньше цементитные пластины, тем большую пластическую деформацию выдерживают они без образования трещин. Однако с уменьшением толщины пластин одновременно уменьшается и размер ферритных промежутков между ними. При этом уве-

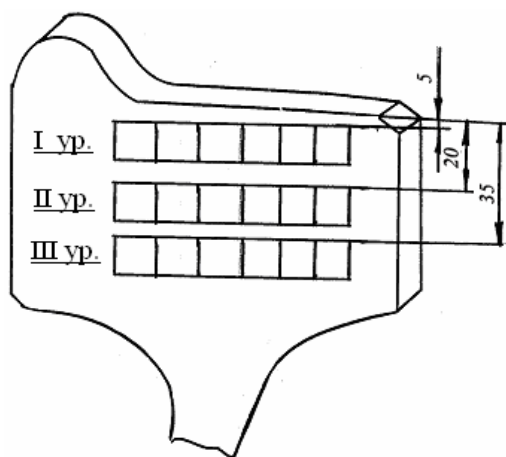


Рис. 1. Схема вырезки образцов с острым надрезом из обода колеса

личивается предел текучести и снижается вязкость разрушения в стали. Наибольшее значение трещиностойкости достигается с оптимальной толщиной карбидов (0,02 мкм) и межпластинчатым расстоянием (0,10–0,15 мкм).

Увеличение толщины ферритных прослоек снижает предел текучести перлитной стали, что должно приводить к росту вязкости разрушения. Однако при этом увеличивается толщина карбидной фазы и снижается уровень прочности.

Таким образом, величина вязкости разрушения перлитной стали зависит от соотношения прочности и предела текучести, что определяется размерами исходного аустенитного зерна и субструктуры перлита.

Для определения фактически достижимых значений  $K_{Ic}$  и распределения параметров сопротивления разрушению по сечению обода колеса проведено исследование ударных образцов с острым надрезом на статический изгиб при скорости нагружения 0,2 см/мин.

В качестве объекта исследования было взято стандартное колесо производства ОАО «НТМК» из стали марки 2 с содержанием углерода 0,62%. Образцы с острым надрезом вырезали на трех уровнях, расположенных на разном расстоянии от поверхности катания колеса, по месту расположения образца  $K_{Ic}$  для глубины 20 мм: I уровень – на расстоянии ~ 5 мм; II уровень – на расстоянии ~ 20 мм; III уровень – на расстоянии ~ 35 мм. Схема вырезки образцов приведена на рис. 1.

По результатам испытаний определяли разрушающее напряжение  $\sigma_p$ , предел общей текучести  $\sigma_{от}$ , стрелу пластического прогиба  $f_{пл}$ , работу зарождения  $A_3$ , распространения трещины  $A_p$  и суммарную работу разрушения  $A_\Sigma$ , а также вязкость разрушения  $K_C$ . Результаты испытаний представлены на рис. 2.

Анализ данных рис. 2 показывает, что наибольшие значения прочностных характеристик имеют образцы I-го уровня, наиболее близкого к поверхности катания. По мере удаления от нее  $\sigma_p$  уменьшается и для образцов III-го уровня (~ 35 мм от поверхности катания) достигает наименьшего значения.

Снижение уровня прочности сопровождается уменьшением предела общей текучести и твердости. Образцы I-го уровня имеют также самые высокие значения работы разрушения  $A_\Sigma$  и вязкости разрушения  $K_C$  (см. рис. 2). По мере удаления от поверхности эти параметры, а также величины  $A_3$  и  $A_p$  (работа зарождения и распространения трещины) снижаются. Одновременно меняется и характер разрушения – оно становится хрупким (стрела пластического прогиба равна 0).

Таким образом, при удалении от поверхности происходит одновременное снижение прочностных и пластических характеристик колесной стали, что и является основной причиной уменьшения вязкости разрушения при удалении от поверхности обода колеса.

Снижение предела текучести при удалении от поверхности казалось бы должно облегчать развитие пластической деформации в вершине надреза или трещины. Однако при этом снижаются пластичность и сопротивление зарождению трещины, что вызывает ее хрупкое распространение.

Поскольку при удалении от поверхности обода размер исходного аустенитного зерна не меняется (его величина определяется температурой нагрева колеса под закалку), можно полагать, что основной причиной снижения перечисленных параметров является изменение дисперсности структуры перлита.

Одновременно проведено исследование распределения ударной вязкости (КСУ) по всей толщине обода колеса как величины, коррелирующей с  $K_{IC}$ . Для этого из обода колеса вырезались образцы с U-образным надрезом глубиной 2 мм на расстоянии 10, 30, 50 и 70 мм от поверхности катания. Результаты представлены на рис. 3.

Из графика видно, что ударная вязкость практически не меняется по толщине ободьев колес: увеличение данного показателя с 28 Дж/см<sup>2</sup> на глубине 10 мм до 31 Дж/см<sup>2</sup> на глубине 70 мм (или на 9%) находится в пределах погрешности измерений. Такое поведение ударной вязкости можно объяснить тем, что по мере удаления от поверхности катания в структуре металла, с одной стороны, снижается дисперсность перлита и меняется соотношение ферритной и перлитной составляющих в сторону увеличения количества феррита, что обуславливает повышение пластичности и ударной вязкости; а с другой – укрупняется размер зерен, структура становится менее проработанной в процессе горячей деформации, с унаследованной от заготовки неоднородностью и ликвацией, что, в свою очередь, определяет снижение работы удара. Можно предположить, что уравновешивающее влияние этих двух факторов и является причиной малого изменения ударной вязкости.

Полученные результаты позволяют сделать два важных вывода.

Во-первых, закономерность изменения механических свойств по сечению обода позволяет предположить, что величина статической вязкости разрушения  $K_{IC}$  колесной стали по мере углубления в обод не может увеличиться в полтора раза, как того требуют Нормы безопасности. Более то-

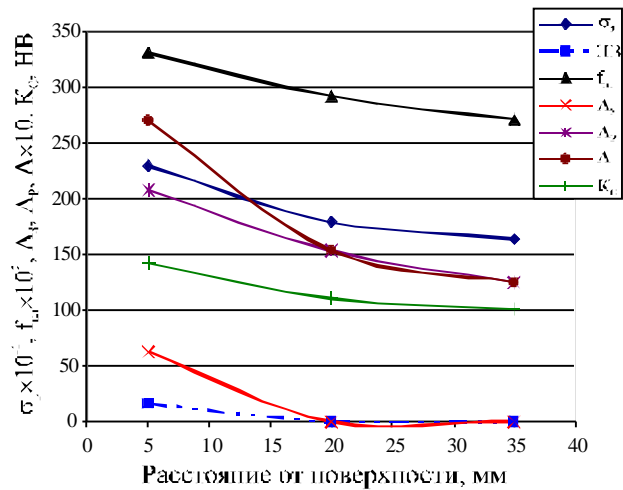


Рис. 2. Изменение параметров сопротивления разрушению в зависимости от расстояния от оверности катания

го, эта величина скорее уменьшится по сравнению с приповерхностным металлом.

Во-вторых, термическая обработка колесной стали с содержанием углерода 0,62% создает в поверхностном слое обода, откуда и вырезаются образцы на трещиностойкость, достаточно высокий градиент свойств. Соответственно образец, вырезаемый с глубины 20 мм и имеющий собственную толщину 30 мм, наследует по своему сечению высокую неоднородность физико-механических свойств, что затрудняет однозначную интерпретацию получаемых при испытаниях результатов  $K_{IC}$ .

Для оценки зависимости уровня статической вязкости разрушения колесной стали от содержания углерода в диапазоне стали марки 2 по ГОСТ 10791-2004 проводились испытания колес двух плавок производства ОАО «НТМК». Химический состав и механические свойства плавок представлены в табл. 2 и 3.

Для испытаний использовались прямоугольные образцы типа 3 толщиной 30 мм по ГОСТ 25.506-85. Результаты испытаний образцов, вырезанных с глубины 20 мм, представлены в табл. 4.

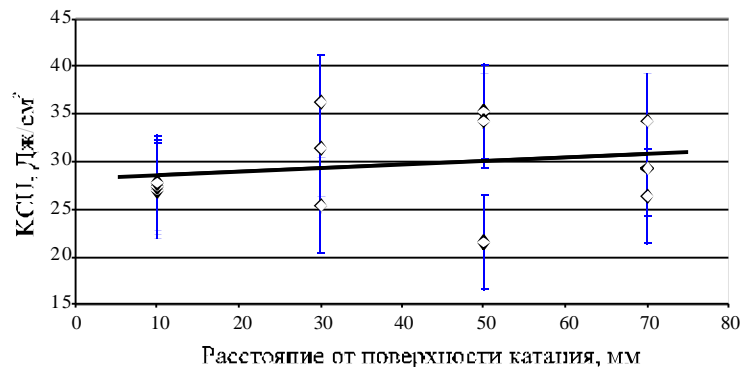


Рис. 3. Распределение значений ударной вязкости по глубине обода колеса

Из оценки данных **табл. 4** хорошо видно, что значения вязкости разрушения  $K_{Ic}$  даже для колес одной плавки могут существенно различаться (до  $26,6 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ). Данный факт коррелируется с результатами фрактографического анализа разрушившихся образцов.

По внешнему виду изломов, представленных на **рис. 4** и **5** для образцов колеса плавки 532286, виден различный характер распространения трещины и ее хрупкого долома. Особенно хорошо это различимо для образцов № 5 и 6 (**рис. 4, а–б, 5, а–б**), имеющих соответственно наименьшее и наибольшее значение  $K_{Ic}$ . У образца № 5 хорошо видна зона неравномерной пластической деформации с характерной грубой поверхностью, начинающаяся сразу от границы усталостной трещины. Площадь области пластической деформации невелика, что и определяет невысокое значение  $K_{Ic}$ .

У образца № 6 отчетливо различимы три характерные области, расположенные одна за другой: зона вязкого разрушения с микропластической деформацией, зона выраженного пластического течения и область хрупкого долома. Общая площадь вязкой составляющей излома у этого образца максимальна (**см. рис. 5, б**).

Изломы образцов плавки 522922 практически идентичны (**рис. 6**) и характеризуются отсутствием области выраженной пластической деформации. Данный факт, по всей видимости, является следствием более высокой прочности

и меньшей пластичности этой группы образцов.

Испытания показали, что среднее значение  $K_{Ic}$  для образцов с различным содержанием углерода, вырезанных с глубины обода 20 мм, составило 71,0 и 58,6  $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ , что на 20–40% превосходит уровень, заложенный в НБ ЖТ ТМ 02-98 ( $50 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ). При этом в обоих случаях значения  $K_{Ic}$  не превысили норматива для глубины более 20 мм ( $75 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ), хотя, как было показано ранее, значения  $K_{Ic}$  у поверхности обода максимальны.

Результаты четко подтвердили обратно пропорциональную зависимость вязкости разрушения от содержания углерода. Так, с его увеличением от 0,61 до 0,64%  $K_{Ic}$  уменьшается на 12 единиц (примерно 15%). Полученные значения хорошо соотносятся с упоминавшимися ранее немецкими нормами, по которым прирост 0,04% углерода сопровождается снижением  $K_{Ic}$  на 20 единиц.

В **табл. 5** приведены сравнительные результаты определения  $K_{Ic}$ , полученные на основании проведенного исследования, и данные испытательного центра ВНИИЖТ, полученные при испытаниях колес марки 2 по ГОСТ 10791 различных производителей.

Анализ данных **табл. 5** показывает, что существует зависимость между содержанием углерода, качеством колесной стали и значениями вязкости разрушения  $K_{Ic}$ . Так, максимальные значения трещиностойкости, при среднем для марки 2 содержании углерода, получены на колесах производства ОАО «НТМК». С увеличением содержания углерода уровень  $K_{Ic}$  снижается, при этом абсолютные величины для отечественных производителей колес достаточно близки. У колес

Таблица 2

Номер плавки	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu
532286	0,61	0,83	0,37	0,016	0,011	0,05	0,03	0,01
522922	0,64	0,83	0,35	0,018	0,013	0,05	0,05	0,01

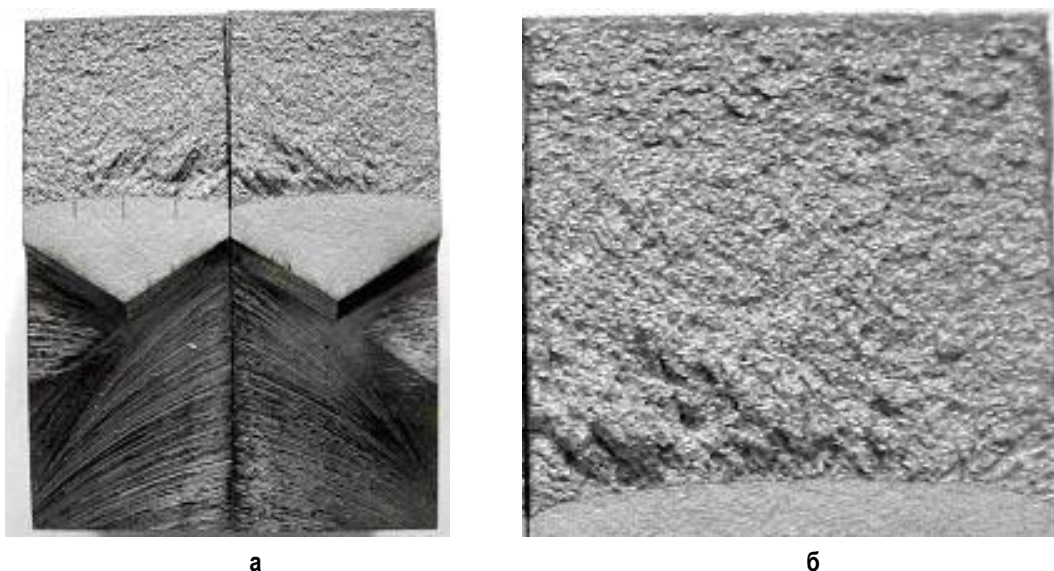
Таблица 3

Номер плавки	Временное сопротивление	Относительное удлинение	Относительное сужение стали	Твердость обода на	Ударная вязкость диска при +20°С
	тали обода $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	стали обода $\delta$ , %	обода $\psi$ , %	глубине 30 мм от поверхности катания, НВ	
532286	959	16,9	38,0	283	30
522922	1024	15,5	36,0	302	29

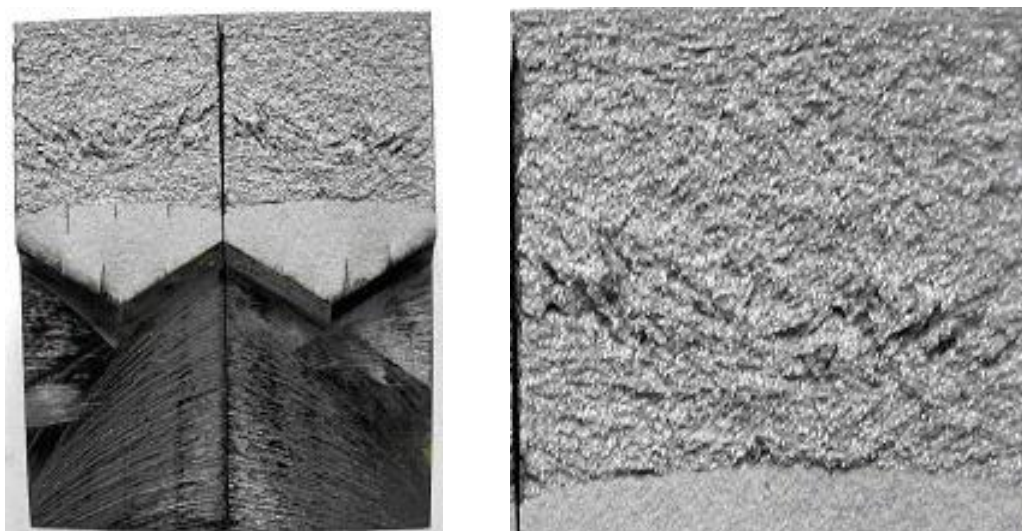
Таблица 4

Плавка колес № 532286 (C = 0,61%)			Плавка колес № 522922 (C = 0,64%)			Требования НБ ЖТ ТМ 02-98 (п. 1.8), $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$
Номер обр.	$K_{Ic}$ , $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	Среднее значение $K_{Ic}$ , $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ (без учета min и max)	Номер обр.	$K_{Ic}$ , $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	Среднее значение $K_{Ic}$ , $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ (без учета min и max)	
1	75,4	71,0	1	56,5	58,6	Не менее 50,0
2	69,6		2	57,6		
3	61,4		3	61,7		
4	62,3		4	52		
5	min 58,9		5	min 50,5		
6	max 85,5		6	63,5		
7	83,1		7	60,2		
8	74,3		8	max 63,7		





а б  
Рис. 4. Излом образца № 5 (0,61%С, плавка 532286)



а б  
Рис. 5. Излом образца № 6 (0,61%С, плавка 532286)

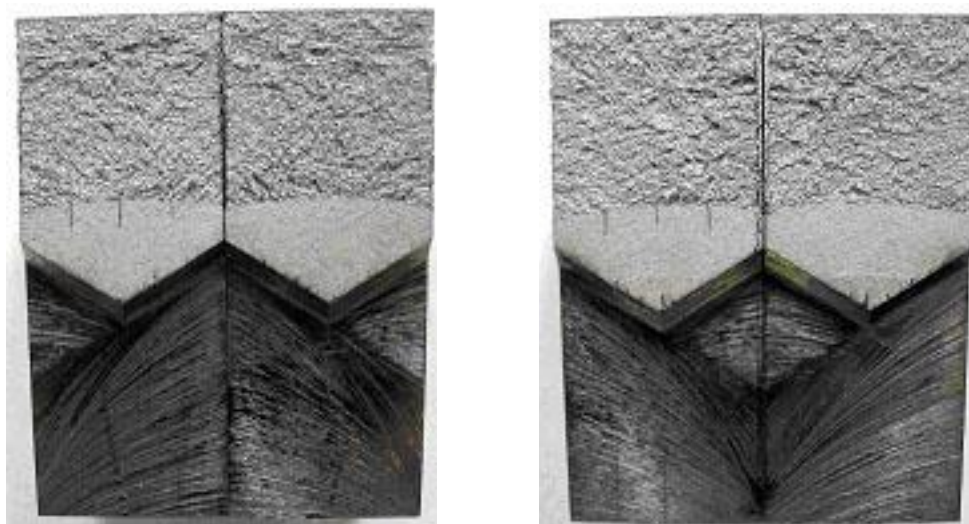


Рис. 6. Типичные изломы образцов плавки 522922 (0,64% С)

производства ОАО «ВМЗ» в интервале 0,63–0,65% углерода значения  $K_{1c}$  стабильны (60–65 МПа $\sqrt{м}$ ) и находятся на том же уровне, что и румынские колеса с минимальным для марки 2 содержанием углерода. Данный факт косвенно подтверждает качество термообработки и наличие в ободе перлитной микроструктуры оптимальной дисперсности.

Испытания образцов, вырезанных с глубины обода более 20 мм, во всех случаях подтвердили, что по мере удаления от поверхности катания величина  $K_{1c}$  снижается. Более того, из 6 образцов, по которым определяется среднее значение трещиностойкости, отдельные показали значения менее 50 МПа $\sqrt{м}$ . Таким образом, нормативный показатель  $K_{1c}$  в 75 МПа $\sqrt{м}$ , установленный нормами безопасности для образцов, вырезанных с глубины обода более 20 мм, не имеет физических предпосылок и недостижим на практике.

**Выводы**

1. Проведенное исследование распределения параметров сопротивления разрушению по сечению обода колес марки 2 показало, что по мере удаления от поверхности катания эти показатели снижаются или изменяются крайне слабо. Таким образом, имеются физические предпосылки для снижения значений трещиностойкости  $K_{1c}$  по мере углубления в обод.

2. Испытания на вязкость разрушения образцов, вырезанных с глубины обода более 20 мм, во всех случаях показали снижение величины  $K_{1c}$  (от 4 до 15%). Полученные данные однозначно указывают на необоснованность требований Норм безопасности в части значения  $K_{1c}$  на глубине более 20 мм в полтора раза большего, чем у поверхности катания. Указанное требование про-

**Таблица 5**

Содержание углерода, %	Колеса производства ОАО "НТМК", МПа $\sqrt{м}$	Колеса производства ОАО "ВМЗ", МПа $\sqrt{м}$	Колеса производства завода SMR Bals, Румыния, МПа $\sqrt{м}$
	ГОСТ 10791, марка 2		
0,56			62,5
0,61	71,0		
0,63		63,2 / 60,7	
0,64	58,6		
0,65		62,0 / 52,7	

тиворечит закономерностям поведения механических свойств по сечению металла обода колеса и недостижимо на практике.

3. Исследование образцов стандартных колес производства ОАО «НТМК» выявило зависимость между величиной  $K_{1c}$  и содержанием углерода. При увеличении содержания углерода от 0,61 до 0,64% получено снижение вязкости разрушения с 71,0 до 58,6 МПа $\sqrt{м}$ , или на 17%, что хорошо коррелируется с данными зарубежных источников. В то же время сравнение данных по различным производителям показало, что для содержаний углерода более 0,61% эта зависимость неоднозначна и на величину  $K_{1c}$  существенное влияние оказывает структурное состояние металла.

4. Обобщенные данные по различным заводам-изготовителям показывают, что для колесных сталей с содержанием углерода более 0,60% норматив статической вязкости разрушения  $K_{1c}$  должен сохраняться на уровне 50 МПа $\sqrt{м}$ . Для меньшего содержания углерода в стали норматив может быть повышен после набора соответствующей статистики.

**Библиографический список**

1. UIC 812-3. Международный железнодорожный союз. Технические требования на поставку цельнокатаных колес.
2. EN 13262. Европейские нормы. Продукция для железных дорог. Цельнокатаные колеса. Требования к готовой продукции.
3. НБ ЖТ ТМ 02-98. Нормы безопасности на железнодорожном транспорте. Металлопродукция для железнодорожного подвижного состава.
4. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении / Троценко В.Г. и др. Киев, 1987. 250 с.
5. Структура перлита и конструктивная прочность стали / Тушинский Л.И. и др. Новосибирск: ВО «Наука», 1993. 280 с.

# ТЕОРИЯ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.762

А. И. Рудской, Ю. И. Рыбин, В. Н. Цеменко

## УСЛОВИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В теории упругости связь напряжений и деформаций задана законом Гука, коэффициенты пропорциональности (модуль нормальной упругости, коэффициент Пуассона) являются константами. В теории пластического течения коэффициент, связывающий девиаторы напряжений и скорости деформаций, зависит от величины приращения деформации, то есть на момент решения задачи неизвестен. Зависимости, связывающие напряженное и деформированное состояния, могут быть получены на основании уравнений ассоциированного закона пластического течения. Коэффициент пропорциональности (неопределенный множитель Лагранжа) должен быть подобран так, чтобы было соблюдено условие пластичности.

В отличие от компактных материалов, пористые и порошковые материалы деформируются с необратимым изменением объема, увеличивая плотность за счет уменьшения объема пор. Если изменение объема при обработке давлением компактных материалов носит упругий характер и характеризуется коэффициентом объ-

емной деформации  $k = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ , постоянным во

всем диапазоне обжатий, для пористых материалов это величина переменная, возрастающая по мере увеличения относительной плотности. Решение технологических задач обработки давлением пористых материалов предполагает необходимость раскрытия еще одной нелинейности (помимо нелинейной связи девиаторов напряжений и скоростей деформации) – нелинейной связи шаровых компонент тензоров напряжений и деформаций [1]. Подобно тому, как для установления связи девиаторов в систему введено условие пластичности, для нахождения переменного коэффициента объемной деформации необходимо сформировать дополнительное уравнение [2].

Анализ технологических процессов обработки давлением порошковых металлических материалов, таким образом, возможен с тех же позиций теории пластического течения, с которых выполняется моделирование процессов обработки давлением компактных материалов. Для этого необ-

ходимо корректно сформулировать условие предельного состояния порошкового материала, т.е. построить поверхность текучести, и далее получить уравнение ассоциированного закона пластического течения, связывающее параметры напряженного и деформированного состояний [3].

Потребовался большой объем экспериментальных исследований, позволивший получить механические характеристики ряда порошковых материалов в зависимости от относительной плотности материала ( $\rho$ ) [4] и сформулировать условие пластичности на всех стадиях уплотнения [5].

Кривые текучести строятся по результатам испытаний на срез, одноосное растяжение и сжатие, сжатие в закрытой матрице, гидростатическое сжатие. Это позволяет определить предел уплотнения ( $c$ ) – минимальное среднее напряжение, при котором начинается уплотнение, как самостоятельную механическую характеристику, а не вычислять ее как полуразность пределов текучести при гидростатическом сжатии ( $q_s$ ) и растяжении ( $p_s$ ) [2]. Как было показано ранее [6], предел уплотнения является функцией плотности, и было бы некорректно сохранять его относительное положение неизменным на всех стадиях уплотнения. Однако при этом необходимо отказаться от квадратичной аппроксимации кривой текучести. Аппроксимация более высокого порядка создает проблемы математического плана, поскольку уравнение ассоциированного закона пластического течения в этом случае перестает быть линейным и необходимо линеаризовать связь шаровых компонент тензоров напряжений и скоростей деформаций. Это выдвигает задачу анализа математических возможностей встраивания в общий алгоритм расчета [3] кривой текучести третьего порядка и соответствующего уравнения ассоциированного закона течения.

### Поверхность вращения параболы

Поскольку величина  $q_s$  – предела текучести на гидростатическое растяжение мала по сравнению с остальными, в целях упрощения выкладок примем ее равной нулю. Заметим, что учет и этой величины не представляет существенных проблем.

Уравнение поверхности нагружения будем искать в виде:

$$\Phi \quad a_1 T^2 + a_2 \sigma_0 + a_3 \sigma_0^2 + a_4 \sigma_0^3 = 0. \quad (1)$$

Здесь  $T$  – интенсивность касательных напряжений;  $\sigma_0$  – среднее (гидростатическое) напряжение.

Свободный член этого полинома равен нулю: здесь учтено, что  $q_s=0$  и кривая проходит через начало координат. В выражении (1) нет слагаемого, содержащего  $T$  в первой степени: здесь учтено, что поверхность нагружения представляет собой тело вращения относительно гидростатической оси и гидростатическая ось перпендикулярна поверхности нагружения.

Для нахождения коэффициентов  $a_1$ – $a_4$  воспользуемся следующими условиями прохождения кривой через точки  $A$  и  $B$  (рис. 1) и равенством нулю производной в точке  $A$ :

при  $\sigma_0 = -p_s, T = 0$ ;

при  $\sigma_0 = -c, T = \tau_s$  (предел текучести на пластический сдвиг);

при  $\sigma_0 = -c, \Phi'_{\sigma_0} = 0$ .

Производная по  $\sigma_0$  функции  $\Phi$  равна:

$$\Phi'_{\sigma_0} \quad a_2 + 2a_3 \sigma_0 + 3a_4 \sigma_0^2. \quad (2)$$

Из условий (1)–(3) имеем:

$$-a_2 p_s + a_3 p_s^2 - a_4 p_s^3 = 0;$$

$$a_1 \tau_s^2 - a_2 c + a_3 c^2 - a_4 c^3 = 0;$$

$$a_2 = 2a_3 c - 3a_4 c^2.$$

Исключая  $a_2$  из первых двух уравнений, получаем:

$$-2a_3 c p_s + 3a_4 c^2 p_s + a_3 p_s^2 - a_4 p_s^3 = 0;$$

$$a_1 \tau_s^2 - 2a_3 c^2 + 3a_4 c^3 + a_3 c^2 - a_4 c^3 = 0.$$

После приведения подобных имеем:

$$a_3 (p_s - 2c) + a_4 (3c^2 - p_s^2) = 0;$$

$$a_1 \tau_s^2 - a_3 c^2 + 2a_4 c^3 = 0.$$

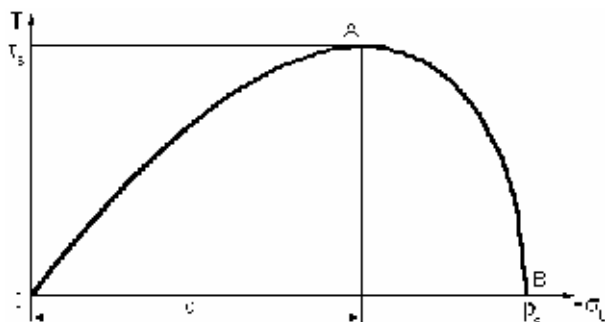


Рис. 1. Кривая текучести, заданная параболой

Выразим  $a_4$  из первого уравнения:

$$a_4 = a_3 \frac{p_s - 2c}{p_s^2 - 3c^2} \text{ и подставим во второе.}$$

$$\text{Получаем: } a_1 \tau_s^2 - a_3 c^2 + 2a_3 \frac{p_s - 2c}{p_s^2 - 3c^2} c^3 = 0.$$

После некоторых упрощений приходим к следующему уравнению:

$$a_1 \tau_s^2 (p_s^2 - 3c^2) - a_3 (p_s^2 c^2 + c^4 - 2p_s c^2) = 0.$$

Откуда:

$$a_3 = a_1 \tau_s^2 \frac{p_s^2 - 3c^2}{c^2 (p_s - c)^2}.$$

Далее:

$$a_4 = a_3 \frac{p_s - 2c}{p_s^2 - 3c^2} = a_1 \tau_s^2 \frac{p_s^2 - 3c^2}{c^2 (p_s - c)^2} \frac{p_s - 2c}{p_s^2 - 3c^2}$$

$$= a_1 \tau_s^2 \frac{p_s - 2c}{c^2 (p_s - c)^2};$$

$$a_2 = 1a_3 c - 3a_4 c^2 = 2a_1 \tau_s^2 \frac{p_s^2 - 3c^2}{c^2 (p_s - c)^2} -$$

$$-3a_1 \tau_s^2 \frac{p_s - 2c}{(p_s - c)^2} = a_1 \tau_s^2 \frac{p_s (2p_s - 3c)}{c (p_s - c)^2}.$$

Подставив выражения  $a_2$ – $a_4$  в уравнение (1), получим уравнение поверхности нагружения в виде:

$$\Phi \quad \frac{T^2}{\tau_s^2} + \frac{p_s (2p_s - 3c)}{c (p_s - c)^2} \sigma_0 + \frac{p_s^2 - 3c^2}{c^2 (p_s - c)^2} \sigma_0^2 + \frac{p_s - 2c}{c^2 (p_s - c)^2} \sigma_0^3 = 0. \quad (3)$$

Эта кривая проходит через начало координат, точки  $A$  и  $B$  и имеет максимум в точке  $A$ .

Обозначим:

$$A = \frac{p_s (2p_s - 3c)}{c (p_s - c)^2};$$

$$B = \frac{p_s^2 - 3c^2}{c^2 (p_s - c)^2};$$

$$C = \frac{p_s - 2c}{c^2 (p_s - c)^2}, \quad (4)$$

уравнение поверхности нагружения запишем в виде:

$$\Phi \quad \frac{T^2}{\tau_s^2} + A \sigma_0 + B \sigma_0^2 + C \sigma_0^3 = 0. \quad (3')$$

Уравнение ассоциированного закона течения примет вид:



$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \lambda \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}} = \lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (7)$$

$$= \lambda \left[ \frac{S_{ij}}{\tau_s^2} + \delta_{ij} \left( \frac{1}{3} A + \frac{2}{3} B \sigma_0 + C \sigma_0^2 \right) \right]. \quad (5)$$

Выразим множитель Лагранжа  $\lambda$  через характеристики напряженно-деформированного состояния. Для этого сопоставим выражение (5) с известным из теории течения:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \frac{1}{3} \dot{\varepsilon}_0^p \delta_{ij} + \eta_{ij}^p \frac{\sigma_0}{3K^p} \delta_{ij} + \frac{S_{ij}}{2\mu^p}.$$

Из этого сопоставления следует:

$$\frac{S_{ij}}{1\mu^p} = \lambda \left[ \frac{S_{ij}}{\tau_s^2} \right];$$

$$\frac{\sigma_0}{2K^p} = \lambda \left[ \frac{1}{3} A + \frac{2}{3} B \sigma_0 + C \sigma_0^2 \right] = \lambda \left( \frac{A}{3\sigma_0} + \frac{2}{3} B + C \sigma_0 \right) \sigma_0.$$

Откуда:

$$\mu^p = \frac{\tau_s^2}{2\lambda}; \quad K^p = \frac{1}{\lambda \left( \frac{A}{\sigma_0} + 2B + 3C\sigma_0 \right)}.$$

Обозначим:  $D = \frac{A}{\sigma_0} + 2B + 3C\sigma_0$ , тогда  $K^p = \frac{1}{\lambda D}$ .

Учитывая, что  $\sigma_0 = K^p \dot{\varepsilon}_0 = \frac{\dot{\varepsilon}_0}{\lambda \left( \frac{A}{\sigma_0} + 2B + 3C\sigma_0 \right)}$ ,

$T = \mu^p H^p = \frac{\tau_s^2}{2\lambda} H^p$ , условие (3') запишем в виде:

$$\Phi \frac{T^2}{\tau_s^2} + A \sigma_0 + B \sigma_0^2 + C \sigma_0^3 - \frac{(\tau_s H^p)^2}{4\lambda^2} + A \frac{\dot{\varepsilon}_0}{\lambda D} + B \frac{\dot{\varepsilon}_0^2}{\lambda^2 D^2} + C \frac{\dot{\varepsilon}_0^3}{\lambda^3 D^3} = 0.$$

Умножим обе части равенства на  $\lambda^3$ .

Получим:

$$\left( \frac{(\tau_s H^p)^2}{4} + B \frac{\dot{\varepsilon}_0^2}{D^2} \right) \lambda + A \frac{\dot{\varepsilon}_0}{D} \lambda^2 + C \frac{\dot{\varepsilon}_0^3}{D^3} = 0. \quad (6)$$

Это – квадратное уравнение, положительным корнем которого является большее из двух значений:

где  $a = A \frac{\dot{\varepsilon}_0}{D}$ ;  $b = \left( \frac{(\tau_s H^p)^2}{4} + B \frac{\dot{\varepsilon}_0^2}{D^2} \right)$ ;  $c = C \frac{\dot{\varepsilon}_0^3}{D^3}$

Таким образом, как и в случае использования эллиптического условия пластичности, наиболее широко применяемого в качестве кривой текучести, использование кривой текучести в форме параболы позволяет придти к определяющим уравнениям с одним искомым в ходе итерационного процесса параметром  $\lambda$ . Этот параметр является функцией предела уплотнения, пределов текучести материала при пластическом сдвиге и гидростатическом сжатии, а также напряженно-деформированного состояния на рассматриваемой стадии нагружения.

В отличие от эллипса, кубическая парабола, в общем случае, не исключает наличие двух экстремумов и точек перегиба. Поверхность текучести всегда должна быть выпуклой. Поэтому использование кубической параболы в качестве кривой текучести необходимо сопроводить анализом области возможного применения.

Исследуем функцию (3) на экстремум, перейдя предварительно к безразмерным значениям механических характеристик и параметров напряженного состояния (отнеся их к пределу текучести на гидростатическое сжатие  $p_s$ ). Положение экстремума определяется уравнением:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_0} = A + 2B\sigma_0 + 3C\sigma_0^2 = 0.$$

Решаем это квадратное уравнение относительно  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C} = \frac{3c^2 - 1 \pm (3c^2 - 3c + 1)}{3(1 - 2c)}. \quad (8)$$

Здесь  $A, B, C$  определяются выражениями (4). Решение уравнения (8) дает два корня:

$$\sigma_0 = -c \text{ и } \sigma_0 = \frac{3c - 2}{3(1 - 2c)}.$$

Первое из этих решений соответствует исходным условиям для вычисления коэффициентов уравнения (1): максимум функции достигается при гидростатическом давлении, равном пределу уплотнения. Второе решение тоже существует в области определения функции (безразмерное значение  $\sigma_0$  изменяется в пределах от 0 до -1). Таким образом, поверхность предельного состояния может оказаться вогнутой.

Для определения границ возможного использования параболического (третьей степени) условия текучести возьмем вторую производную функции, полученной из (3):

$$T = \tau_s \sqrt{-(A\sigma_0 + B\sigma_0^2 + C\sigma_0^3)}.$$

Обозначив  $F = -(A\sigma_0 + B\sigma_0^2 + C\sigma_0^3)$ , получим:

$$F'_{\sigma_0} = -(A + 2B\sigma_0 + 3C\sigma_0^2);$$

$$F''_{\sigma_0} = -2(B + 3C\sigma_0);$$

$$T' = \tau_s \frac{F'}{2\sqrt{F}}; \quad T'' = \tau_s \frac{2F''F - (F')^2}{4F\sqrt{F}}.$$

Таким образом, кривая текучести выпукла,

если

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \sigma_0^2} = \tau_s \frac{4(B + 3C\sigma_0)(A\sigma_0 + B\sigma_0^2 + C\sigma_0^3)}{4F\sqrt{F}} - \frac{(A + 2B\sigma_0 + 3C\sigma_0^2)^2}{4F\sqrt{F}} < 0.$$

Поскольку  $\tau_s$  и  $F$  – величины положительные, отрицательным должен быть числитель дроби. После упрощений имеем:

$$4BC\sigma_0^3 + 6AC\sigma_0^2 + 3C^2\sigma_0^4 - A^2 < 0. \quad (9)$$

Это неравенство должно соблюдаться во всем диапазоне изменения  $\sigma_0$ , т.е. от 0 до  $-1$ . При  $\sigma_0 = 0$  неравенство (9) имеет вид:  $-A^2 < 0$ .

Используя выражения (4) и учитывая, что выражения в знаменателе – положительные числа, получаем:  $-(2 - 3c)^2 c^2 < 0$ . Отсюда  $c < 2/3$ .

При  $\sigma_0 = -1$  неравенство (9) имеет вид:  $(3c - 1)(c + 1)(9c^2 - 6c + 5) > 0$ .

Учитывая, что выражения во вторых и третьих скобках дают положительный результат, получаем:  $c > 1/3$ . Следовательно, кривая текучести выпукла, если предел уплотнения находится в интервале  $1/3 < c/p_s < 2/3$ . Если отношение  $c/p_s$  выходит за пределы этого диапазона, появляется второй корень уравнения (8), и использование параболического условия пластичности невозможно.

### Проверка адекватности механической модели материала

Построение условия пластичности порошкового материала связано с использованием ряда допущений и упрощений, влияние которых необходимо оценить. Основные неточности обусловлены аппроксимацией кривой текучести параболой третьей степени и интерпретацией результатов испытания в закрытой матрице. Предел уплотнения и пределы текучести на пластический сдвиг и гидростатическое сжатие определяются статистической обработкой экспериментальных данных. Кривая текучести в виде параболы третьей степени строится на основании найденных величин предела уплотнения и пределов текучести и может не совпадать с экспериментально построенной кривой на всем ее протяжении. Это, очевидно, не должно отразиться на интегральных характеристиках процесса, но может вызвать некоторое искажение полей напряжений и деформаций. Некорректная интерпретация результатов испытаний в закрытой матрице, напротив, может привести к систематической ошибке и неправильному расчету интегральных характеристик (давление

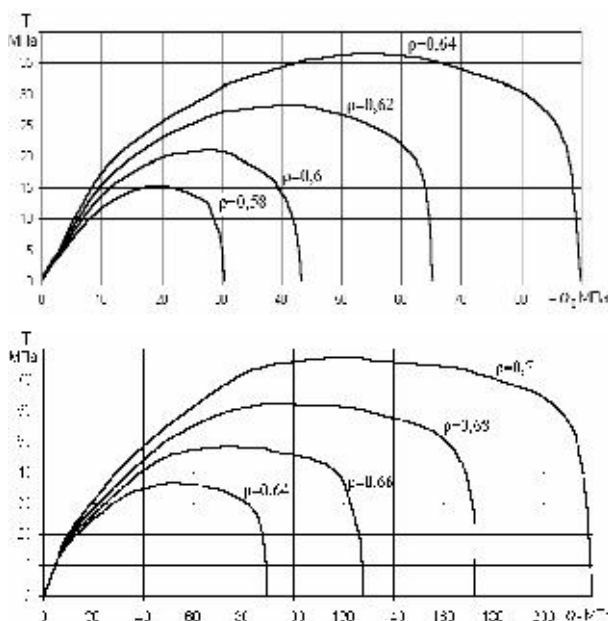


Рис. 2. Кривые предельного состояния оксидоцинковой керамики

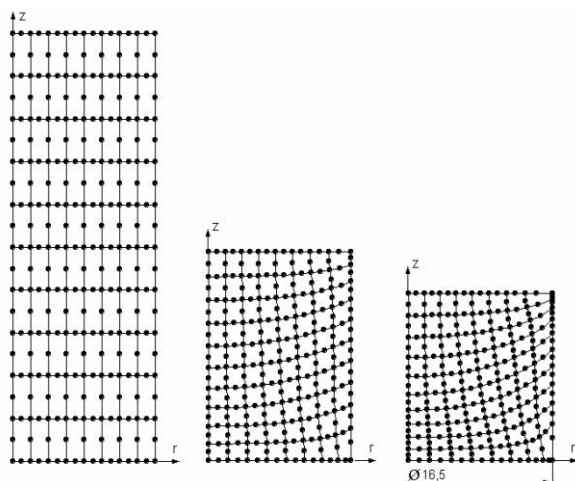


Рис. 3. Исходная и продеформированные сетки конечных элементов (соответствующие  $\rho=0,56$  и  $\rho=0,7$ ) при прессовании образца  $\varnothing 16,5$  мм

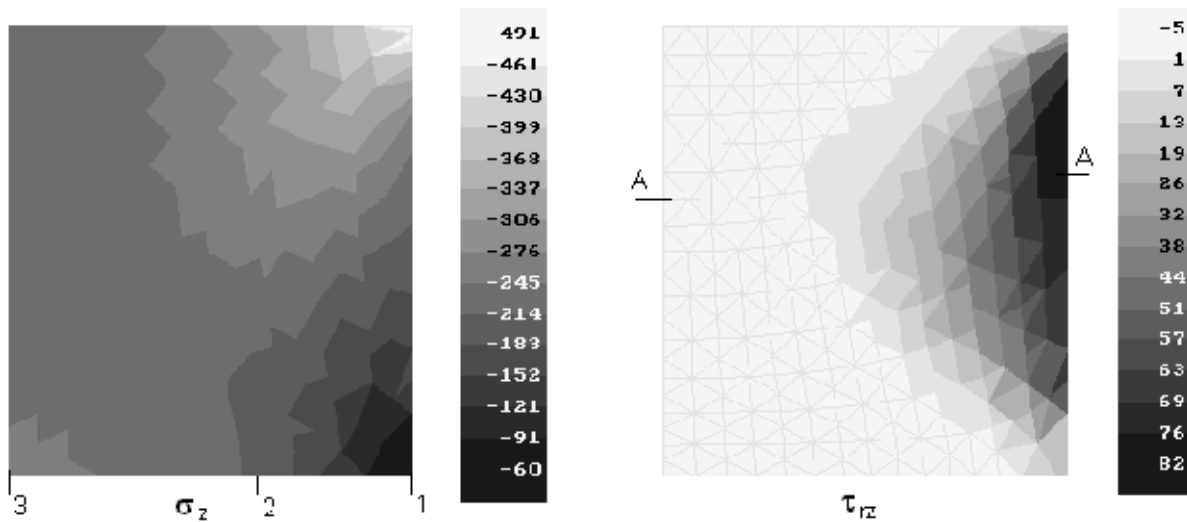


Рис. 4. Распределение нормальных и касательных напряжений по сечению образца Ø16,5 мм

прессования). Исследования, результаты которых приведены в работе [4], выполнялись на семи металлических порошковых материалах. Адекватность предложенной модели в настоящей работе проверяется на пластифицированном порошке оксидноцинковой керамики.

По результатам испытаний на срез, одноосное сжатие, сжатие в закрытой матрице, гидростатическое сжатие в координатах  $T-\sigma_0$  построены кривые предельного состояния оксидноцинковой керамики (рис. 2). Область экспериментальных измерений охватывает интервал относительной плотности  $\rho = 0,56-0,7$ ; за нижним пределом образец самопроизвольно рассыпается.

Поскольку допущения и упрощения при обработке результатов экспериментов носят математический характер, адекватность механической модели оценивается по результатам численного эксперимента. Методом конечных элементов решалась задача пластического течения о прессовании образца оксидноцинковой керамики. За 18 этапов жесткого нагружения цилиндриче-

ский образец диаметром Ø16,5 мм от исходной относительной плотности  $\rho = 0,28$  доведен до средней плотности по объему  $\rho = 0,7$ . Исходная сетка конечных элементов, соответствующая плотности  $\rho = 0,28$ , и продеформированные сетки (после 9-го и 18-го этапов нагружения) приведены на рис. 3. Коэффициент трения принят таким же ( $\mu = 0,5$ ), каким был при обработке результатов механических испытаний.

При обработке экспериментальных данных прессования образцов материала в закрытой матрице напряжения  $\sigma_z$ ,  $\sigma_r$  усреднялись по объему исходя из допущения об их линейном распределении по высоте, а касательные напряжения  $\tau_{rz}$  – исходя из экспоненциального распределения по радиусу. При этих допущениях напряженное состояние описывается инвариантами:  $\sigma_0 = \frac{\bar{\sigma}_z + 2\bar{\sigma}_r}{3}$  и  $T = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\bar{\sigma}_z - \bar{\sigma}_r)^2 + \tau_k^2}$ , где  $\tau_k$  – напряжение контактного трения;  $\bar{\sigma}_z$  и  $\bar{\sigma}_r$  – усредненные по объему осевое и радиальное напряжения.

На основании результатов расчетов на рис. 4 приведены области равных уровней нормальных и касательных напряжений в продоль-

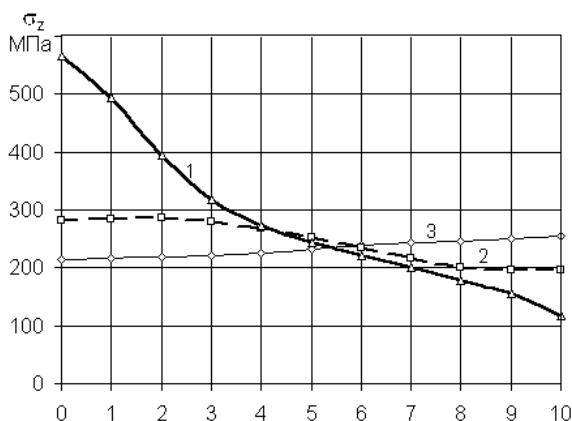
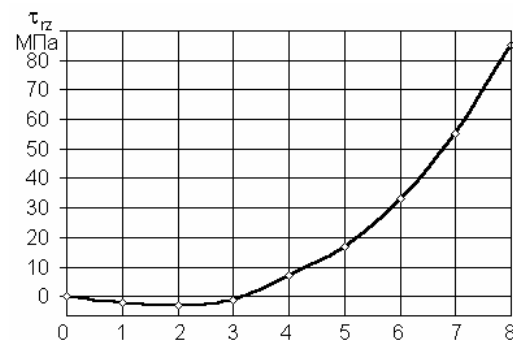
Рис. 5. Распределение напряжений  $\sigma_z$  по высоте образца вдоль образующей цилиндра (1), в средней части (2), вдоль оси цилиндра (3)

Рис. 6. Распределение касательных напряжений вдоль радиуса заготовки в сечении А-А (см. обозначения на рис. 4)

ном сечении образца. Распределение параметров напряженно-деформированного состояния, полученное средствами математического моделирования, качественно верно согласуется с принятыми допущениями.

На рис. 5 показаны графики распределения вертикальных напряжений  $\sigma_z$  вдоль высоты в трех вертикальных сечениях, показанных на рис. 4 цифрами 1, 2 и 3. Эти графики демонстрируют закономерности распределения нормальных напряжений по объему заготовки и не являются прямыми линиями. Однако усредненные величин  $\sigma_z$  по высоте, проведенное при допущении об их линейном распределении, интегрально не вносит сколько-нибудь заметной ошибки. График распределения касательных напряжений (рис. 6) вдоль радиуса по сечению А–А свидетельствует о корректности описания зависимости в виде экспоненты.

Одним из результатов расчета является распределение напряжений  $\sigma_z$  на контактной поверхности; интеграл от этой функции  $\sigma_z = f(r)$  дает величину усилия прессы. Расчетные значения величин усилия прессы в ходе процесса прессования образца диаметром  $\varnothing 16,5$  мм (рис. 7) сопоставлены с экспериментально наблюдаемыми значениями усилия прессы. Практически полное их совпадение в данном случае

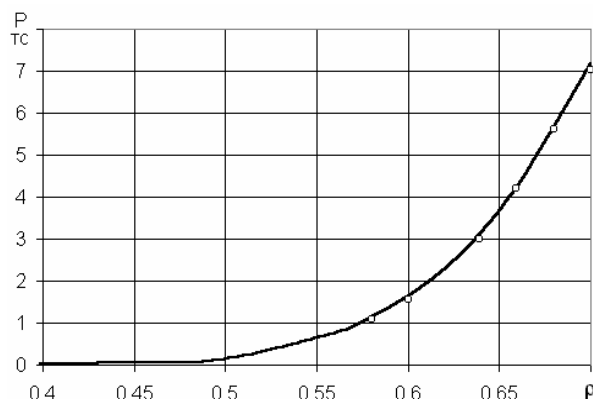


Рис. 7. Зависимость усилия прессы от средней по объему образца  $\varnothing 16,5$  мм относительной плотности (расчетная кривая и экспериментальные точки)

подтверждает корректность методики обработки экспериментальных данных, приемлемость допущений о линейном по высоте распределении напряжений  $\sigma_z$  и экспоненциальном распределении по радиусу напряжений  $\tau_{rz}$ .

Таким образом, аппроксимация кривой текучести в виде параболы третьей степени не только качественно верно отражает закономерности уплотнения порошковых материалов, но и дает корректные численные значения параметров напряженно-деформированного состояния на всех стадиях процесса.

#### Библиографический список

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1986. 688 с.
2. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел. М.: Машиностроение, 1989. 165 с.
3. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб.: Наука, 2004. 640 с.
4. Цеменко В.Н. Деформирование порошковых сред. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, 104 с.
5. Рыбин Ю.И. Моделирование процессов обработки давлением порошковых металлических материалов // Труды 3-й Междунар. науч.-техн. конференции "Компьютерное моделирование 2002". СПб., 2002. С. 78–87.
6. Рудской А.И., Цеменко В.Н., Рыбин Ю.И. Математическая модель уплотнения Порошковых и пористых материалов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. С. 70–77.

УДК 621.762

И. В. Анциферова, О. Н. Глухарева

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК12, ПОЛУЧЕННОГО ЦЕНТРОБЕЖНО-ПНЕВМАТИЧЕСКИМ РАСПЫЛЕНИЕМ МЕТАЛЛА В ИНЕРТНОЙ АТМОСФЕРЕ\*

Потребность в сплавах алюминия с кремнием растет с каждым днем. Сдерживающим фактором их применения при производстве деталей на сегодняшний день являются ограниченные сырь-

евые ресурсы. При получении деталей методом литья значительное количество металла уходит в отходы. Применение методов порошковой металлургии при изготовлении конструкционных деталей позволяет снизить материалоемкость за счет повышенного коэффициента использования металла и разработать материалы с высокими

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-08-00879-а.



эксплуатационными характеристиками и уникальным сочетанием свойств [1].

Современные методы позволяют получать порошки металлов и сплавов с заданными свойствами, варьируя состав исходного сырья [2].

Физико-механические свойства силуминов и функциональные характеристики изделий из них определяются главным образом величиной и равномерностью распределения кристаллов кремния в сплаве [3]. В связи с этим эвтектический сплав АК12 имеет определенные преимущества при производстве порошков многокомпонентных сплавов. Центробежно-пневматическим распылением расплава металла удается избежать образования оксидной пленки на поверхности частиц сплава.

Целью настоящей работы являлось исследование технологических характеристик порошка сплава АК12, полученного методом центробежно-пневматического распыления металла в потоке инертного газа, определение возможности получения компактного материала на его основе, изучение влияния механической активации на свойства порошка сплава АК12. Для сравнения характеристик был взят порошок алюминия А199, полученный в аналогичных условиях.

Насыпную плотность определяли по ГОСТ 19440-74, плотность утряски – по ГОСТ 25279-82, гранулометрический состав порошков – по программе Video TestMaster и методике «Гранулометрия». Металлографические исследования проводили на световом микроскопе «Neophot». Прессовали образцы в форме брусочков с размерами 50×6×6 мм при давлениях 200–1000 МПа. Кажущуюся плотность заготовок определяли по ГОСТ 18898-89.

На рис. 1 приведена диаграмма распределения по размеру частиц порошка сплава АК12, полученного распылением расплава. Средний размер частиц составил 1,93 мкм.

Основные характеристики порошков алюми-

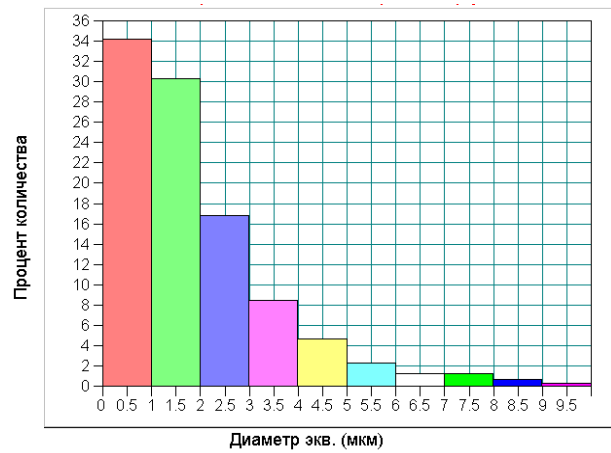


Рис. 1. Диаграмма распределения по размеру частиц порошка алюминиевого сплава АК-12

Технологические характеристики порошков алюминия А199 и сплава АК12

Материал	Средний размер частиц, мкм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность утряски, г/см <sup>3</sup>
АК12	1,93	1,46	0,94±0,02	1,33±0,06
А199	4,74	0,22	1,45±0,02	1,52±0,02

ния А199 и сплава АК12 приведены в таблице.

Исследовали влияние механической активации на свойства порошков А199 и сплава АК12 [4, 5]. Механическую активацию осуществляли в планетарной мельнице «САНД» в алюминиевых контейнерах с алюминиевыми квазицилиндрическими мелющими телами в воздушной среде в течение 1–4 ч при скорости 160 об/мин. Отношение масс мелющих тел и смеси составляло 6:1. В качестве ПАВ использовали стеариновую кислоту C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COOH в количестве 1% для предотвращения возникновения эффекта «холодной сварки». В целях поддержания низкой температуры измельчение осуществлялось периодически, с 15-минутными интервалами. Влияние механической активации на удельную поверхность и средний

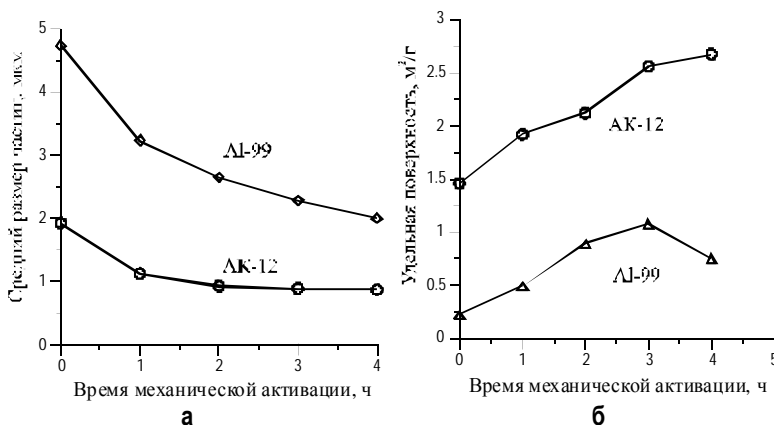


Рис. 2. Зависимости среднего размера (а) и удельной поверхности (б) частиц порошков А199 и сплава АК12 от продолжительности механической активации

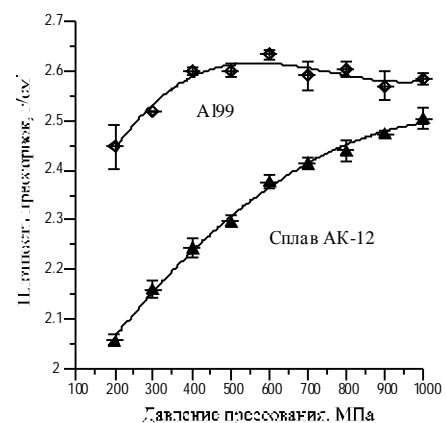


Рис. 3. Зависимость кажущейся плотности от давления прессования прессовок из алюминиевых порошков А199 и АК-12

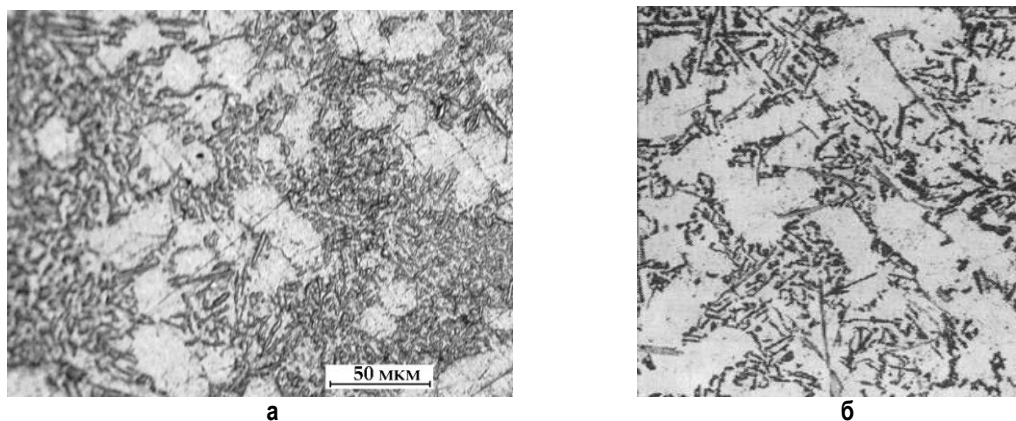


Рис. 4. Микроструктура образца из порошка сплава АК-12,  $\times 267$  (а) и сплава АК12 (АЛ2),  $\times 200$  (б)

размер частиц порошка показано на рис. 2.

Установлено, что с увеличением времени механической активации до 4 ч средний размер частиц порошка сплава АК12 уменьшается с 1,92 до 0,89 мкм, порошка А199 – с 4,74 до 2,28 мкм. Таким образом, активация порошков в указанных условиях в основном вызывает уменьшение размера частиц и рост удельной поверхности порошков, т.е. диссипируемая на макроуровне энергия направлена на дробление частиц порошка.

Оптимизировали режим прессования образцов из порошков сплава АК12 и А199. Зависимость плотности прессовок из АК12 и А199 от давления прессования представлена на рис. 3.

С увеличением давления прессования плотность прессовок из порошка сплава АК-12 растет в интервале давлений 200–1000 МПа, плотность прессовок из порошка А199 практически не изменяется в интервале давлений 400–1000 МПа.

Определена возможность получения компактного материала на основе порошка сплава АК12. Спекание в вакууме при  $T=550\text{--}570^\circ\text{C}$  в течение 1 часа привело к значительной деформации заготовок. При спекании образца в среде Ar при  $T=660^\circ\text{C}$  в течение 1 часа получили материал с истинной плотностью  $2,63\text{ г/см}^3$  и пористостью 1,5% (плотность стандартного сплава АК12 равна  $2,67\text{ г/см}^3$ ).

Исследована микроструктура сплавов. Фотография микрошлифа образца из порошка сплава АК12, спеченного в среде аргона, пред-

ставлена на рис. 4.

Микроструктура спеченного образца из порошка сплава АК-12 близка структуре литого сплава силумина.

Таким образом, использование порошков алюминиевого сплава АК12, полученного методом центробежно-пневматического распыления металла в инертной атмосфере, открывает новые перспективы в получении порошковых алюминиевых деталей на основе силуминов и дисперсно-упрочненных сплавов.

#### Выводы

Исследованы технологические характеристики порошков А199 и сплава АК12 и оптимизирован режим прессования порошка сплава АК12. Изучено влияние механической активации на свойства порошков АК12 и А199. Показано, что при мехактивации порошков алюминия и его сплавов в основном происходит уменьшение размера частиц и рост удельной поверхности порошка, что объясняется направленностью на дробление частиц порошка диссипируемой кинетической энергии процесса. При спекании в инертной атмосфере получены компактные образцы из порошка АК-12 с плотностью  $\gamma=2,63\text{ г/см}^3$ , близкой к плотности литого сплава  $\gamma_{\text{комп}}=2,67\text{ г/см}^3$ . Микроструктура спеченного образца из порошка сплава АК-12 аналогична структуре стандартного литого образца сплава АК12.

#### Библиографический список

1. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / Под ред. М.Е. Смагоринского. М.: Металлургия. 1993. 320 с.
2. Порошки цветных металлов. Справ. изд. / Под ред. С.С. Набойченко. М.: Металлургия, 1997. 542 с.
3. Модифицирование силумина эвтектического состава лантанидами / Е.Г. Аубакиров, Т.А. Ходарева, Е.Ф. Хафизов и др. // Цветные металлы. 2006. № 2. С. 67–69.
4. Структура и свойства дисперсно-упрочненных механически легированных композиционных материалов из алюминиевого смешанного вторичного сырья / А.А. Аксёнов, В.В. Истомин-Кастровский, Ю.В. Гостев // Цветные металлы. 2006. № 1. С. 47–54.
5. Получение композиций на основе алюминия методом механического легирования / Б.М. Фрейдин, Ю.В. Кузьмич, И.Г. Колесникова и др. // Цветные металлы. 2000. № 10.
6. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: Справ. изд. / Под ред. Ю.Н. Тарана, В.С. Золоторевского. М.: МИСИС, 1996. 175 с.

# НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

УДК 665.6/7

А. Е. Воробьев, А. Д. Гладуш, Т. В. Чекушина

## ТЕХНОГЕННОЕ НЕФТЕОБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРНЫХ РЕАКТОРАХ КАК ФАКТОР ПРЕОДОЛЕНИЯ КРИЗИСА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

С ростом численности населения нашей планеты (табл. 1) неуклонно возрастает и степень негативного воздействия на биосферу. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, все больше добывается полезных ископаемых, заготавливается растительной и животной продукции, используется природные вод для производственных, жилищно-бытовых и сельскохозяйственных целей (табл. 2), вовлекается в сельскохозяйственный оборот мелиорированных земель, строятся города и населенные пункты, производственных помещений и т.д., с другой стороны, хозяйственная деятельность человечества неуклонно сопровождается ростом объемов накопления различного рода отходов производства и городского коммунального хозяйства, которые существенно загрязняют природную среду. Например, такие компоненты, как мусор, отходы и отбросы в мировом масштабе накапливаются в количестве более  $20^{10}$  т в год.

Кроме этого, завершившийся XX в. отличался высочайшими темпами роста энергопотребления (табл. 3). Однако обеспеченность мирового сообщества запасами нефти на 01.01.2000 г. составляла всего лишь 43 года.

Поэтому уже сегодня целесообразен поиск и разработка принципиально новых стратегий освоения углеводородного сырья.

К настоящему времени проф. А.Е. Воробьевым разработана научная концепция техноген-

ного воспроизводства твердых рудных минеральных ресурсов (как на поверхности, так и в глубинах литосферы).

Дальнейшее её развитие предполагает изучение возможности, механизма и процессов контролируемого воспроизводства не только рудного сырья, но и нефти, которые отличаются от искусственного рудообразования (происходящего, главным образом, за счет перераспределения в массиве горных пород химических элементов – металлов) необходимостью первичного синтеза полезного компонента, а лишь затем его миграции и концентрации.

В качестве основного источника для синтеза искусственной нефти предполагается использо-

Таблица 2

Динамика сброса сточных вод в поверхностные водоемы РФ

Показатели	Годы						
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Сброс сточных вод в целом							
Абсолютный, м <sup>3</sup>	73,2	70,6	68,2	60,2	59,9	59,3	55,7
На единицу ВВП, м <sup>3</sup> /100\$	4,6	5,22	5,47	5,56	5,78	5,93	6,03
Сброс всех видов загрязненных сточных вод							
Абсолютный, м <sup>3</sup>	28	27,1	27,2	24,6	24,5	23	22
На единицу ВВП, м <sup>3</sup> /100\$	1,76	2	2,19	2,27	2,36	2,3	2,51
Сброс сточных вод без очистки							
Абсолютный, м <sup>3</sup>	8,4	8,2	8,5	6,9	6,6	6,8	6,2
На единицу ВВП, м <sup>3</sup> /100\$	0,53	0,61	0,68	0,64	0,64	0,68	0,67
Сброс недостаточно очищенных сточных вод							
Абсолютный, м <sup>3</sup>	19,6	19	18,7	17,7	17,9	16,2	15,8
На единицу ВВП, м <sup>3</sup> /100\$	1,23	1,4	1,5	1,63	1,73	1,62	1,75

Таблица 3

Распределение потребляемой в мире энергии по видам топлива, %

Наименование	1995 г.	2000 г.	2010 г. (прогноз)	2020 г. (прогноз)
Нефть	38,3	38,2	37,0	35,7
Газ	29,1	29,2	29,6	28,7
Уголь	22,1	22,4	24,0	26,4
Другие виды	10,5	10,2	9,4	9,2
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 1

Динамика численности населения земного шара (млн чел.)

№ п/п	Период	Численность населения
1	8000 лет до н.э.	Около 6
2	1 в н.э.	Около 255
3	1000 год	Около 254
4	1500 год	460
5	1800 год	954
6	1900 год	1633
7	1950 год	3833
8	1990 год	5515
9	2000 год	6061
10	2025 год	8504
11	2050 год	10019

вание отходов жизнедеятельности человеческой цивилизации, т.е. их полезная утилизация.

Нами были исследованы и систематизированы основные факторы, определяющие синтез нефтеподобных соединений из ОВ в специально сформированных для этого в литосфере реакторах (табл. 4).

Нефтегенерационный потенциал в значительной мере контролируется первоначальным составом ОВ, который, в свою очередь, определяется природой исходного живого вещества и особенностями его последующих превращений.

Например, было установлено, что ОВ, обогащенное водородом, требует гораздо больших температур для своего преобразования.

Термодеструкционное разложение ОВ сапропелевой и гумусовой природы также прин-

ципально различается по своей сущности.

В частности, в сапропелевом ОВ (главным образом, аморфной структуры) происходит быстрое термохимическое разложение всего объема в целом и его фрагменты (асфальтены и смолы) захватываются в подвижную битумоидную фракцию, а в гумусовом и лейптинито-гумусовом ОВ (представляющем структурированные биополимеры) отщепляются лишь отдельные периферийные фрагменты алкановой природы с последующей дегидратацией и уплотнением остаточного ОВ, и в битумоид поступает незначительное количество смол и асфальтенов (главным образом, за счет сапропелевой примеси и отдельных лейптинитовых микрокомпонентов типа резинита).

В последние годы появилось значительное

Таблица 4

Основные факторы, определяющие процессы синтеза нефтеподобных соединений в специально созданных в литосфере реакторах

Генетическая область факторов	Основные факторы	Аналитические и экспериментальные зависимости	Генетическая область факторов	Основные факторы	Аналитические и экспериментальные зависимости
Техногенная составляющая	Динамика изменения величины городских стоков		Литосферная составляющая	Изменение содержания различных компонентов нефтей	
	Соотношение загрязнений в городских стоках			Выход легких фракций нефти в зависимости от температуры	
Вид органического вещества	Нефтеобразующий потенциал различных ОВ		Литосферная составляющая	Динамика изменения ароматических составляющих нефтей	
	Различия в выходе нефтеподобных соединений в зависимости от температуры воздействия			Влияние катализаторов на скорость нефтеобразования	
Литосферная составляющая	Динамика выхода синтезируемой нефти		Литосферная составляющая	Влияние на выход нефти карбонат содержащих пород	



число экспериментальных работ, в которых подтверждается высокий (в целом сопоставимый с сапропелевым ОВ) битумогенерационный потенциал гумусового ОВ. Для последнего подтверждена тесная зависимость выхода нефти от мацерального состава и прямая – от содержания лейптинитовых микрокомпонентов, в том числе резинита, при термоллизе которого выделяются легкие жидкие УВ (до  $C_{15}$ ).

По уменьшению битумогенерационной способности гумусовые мацералы выстраиваются в следующий ряд: воски+пыльцевые компоненты → резинит → споринит+кутинит+суберинит → витринит → фюзинит.

Причем в начале термобарное воздействие на ОВ ведет к увеличению доли битумоидов, а также алифатизации и уменьшению роли цикланов и аренов (особенно конденсированных) и монотонному приближению искусственных битумоидов по углеводородному составу к нефти. Последнее особенно четко выражается в постепенном выравнивании концентрации *n*-алканов с нечетным и четным числом атомов углерода в цепи, а также в новообразовании УВ бензиновых и керосиновых фракций.

К конечной стадии термобарного воздействия в синтезируемых битуминозных компонентах преобладают насыщенные УВ. В последних среди *n*-алканов доминируют соединения с нечетным числом атомов углерода в цепи, изоалканов мало, а среди цикланов преобладают конденсированные структуры.

Одним из значительных техногенных источников углеродсодержащих соединений, поступающих в окружающую среду (к тому же предполагающих обязательную утилизацию и обезвреживание), являются городские и промышленные стоки. Так, стоки г. Москвы состоят из  $66 \text{ м}^3/\text{с}$  сточных вод городской канализации, сбрасываемых в р. Москву, и  $5 \text{ м}^3/\text{с}$  сточных вод промышленных предприятий, поступающих в реку помимо общегородских сетей канализации.

Поверхностный сток с городских территорий, как правило, формируется за счет талых снеговых и дождевых вод, а также поливомоечных вод. По районам г. Москвы величина модуля поверхностного стока изменяется в пределах от  $5,64$  (Железнодорожный район) до  $15 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$  (Свердловский район). В общем случае наблюдается увеличение модуля стока от окраин города к центру. Средний для г. Москвы модуль поверхностного стока составляет  $9 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ .

Поверхностный сток с территории города, как правило, не очищается от загрязнений и прямо попадает в природные водные объекты, неся с собой большое количество органических и взвешенных веществ, а также нефтепродуктов.

В целом по г. Москве в течение года с поверхностным стоком поступает  $3840 \text{ т}$  нефтепродук-

тов,  $452080 \text{ т}$  взвешенных веществ,  $173280 \text{ т}$  хлоридов и  $18460 \text{ т}$  органических веществ (по БПК).

В среднем, миллионный город ежегодно в канализационную сеть и помимо нее сбрасывает до  $350 \text{ млн т}$  загрязненных сточных вод (включая ливневые и талые воды с промышленных площадок, городских свалок и стоянок автотранспорта).

В этих стоках содержится около  $36 \text{ тыс. т}$  взвешенных веществ (в том числе фосфатов –  $24 \text{ тыс. т}$ , азота –  $5 \text{ тыс. т}$ , нефтепродуктов – до  $5 \text{ тыс. т}$ .) В частности, только общее количество осадка сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений России составляет свыше  $10 \text{ млн т}$  в год по сухому веществу.

Однако вследствие относительного однообразия хозяйственной деятельности человека состав бытовых сточных вод довольно-таки однотипен и устойчив (табл. 5).

Органические вещества в городских стоках находятся в виде белков, углеводов, жиров и других продуктов физиологической переработки.

Сравнительно с извержениями травоядных отбросы человеческого организма богаче (в пересчете на сухое вещество) азотом и фосфорной кислотой. Во-первых, это обусловлено тем, что пища человека значительно богаче белками, чем корм травоядных. Если, например, в пище животных (сене) содержится  $1,5\%$  азота, то в пище человека его бывает от  $2\text{--}3\%$  (зерна хлебов) до  $15\%$  (мясо). Во-вторых, пища людей лучше переваривается, а это значит, что ее большая часть окисляется, превращается в воду и углекислый газ, следовательно, оставшаяся доля еще больше обогащается исходными элементами, чем в организме травоядных. Поэтому в отходах жизнедеятельности людей содержится (соответственно в твердом и жидком): азота  $2$  и  $14 \text{ г}$ , золы  $4,5$  и  $14 \text{ г}$ , фосфорной кислоты  $1,35$  и  $1,78 \text{ г}$ , оксида калия  $0,64$  и  $2,29 \text{ г}$ .

Превращение органического вещества в специально сформированных в литосфере реакторах в нефтеподобное соединение является сложным технологическим процессом, требующим насыщения исходного вещества водородом до  $8\text{--}12\%$  (в зависимости от качества нефти).

Наиболее универсальным методом получения нефтеподобных продуктов из ОВ является гидрогенизация, т.е.

воздействие молекулярным водородом под давлением при повышенной температуре с использованием определенных катализаторов. При гидрогенизации происхо-

Таблица 5

## Количество загрязнений на одного жителя города

Показатели	г/сут
БПК <sub>полн</sub> неосветленной жидкости	73
Взвешенные вещества	65
БПК <sub>полн</sub> осветленной жидкости	40
Хлориды	9
Аммонийные соли	8
Фосфаты (в расчёте на $P_2O_5$ )	3,3
В том числе от моющих веществ	1,6
Поверхностно-активные вещества	2,5

дят деструкция органических веществ и насыщение (гидрирование) их водородом с получением смеси жидких продуктов, фракционный и химический состав которых аналогичен природной нефти (за исключением повышенного содержания ароматических углеводородов и гетероатомных соединений). Поэтому для того чтобы из органического вещества образовались нефть и нефтеподобные соединения, необходимо подвести дополнительную энергию.

В литосфере имеются все возможности для обеспечения процесса битумообразования – это повышенные температура и давление, которые обычно связаны между собой и с недрами (табл. 6).

Однако в специально сформированном в литосфере реакторе синтеза нефтеподобных соединений даже при относительно низких температурах (300–450 К) возбуждение ОВ может осуществляться переходом молекул на близлежащие уровни энергии (вращательные, колебательные, уровни от внутренних вращений и межмолекулярных взаимодействий), в результате чего происходит частичное разрушение надмолекулярного строения ОВ, конформационные превращения, десорбция влаги и т.д.

Дальнейшее повышение температуры вызывает заселение вышележащих колебательных, а также электронных уровней ОВ, что приводит к многочисленным разрывам химических связей и интенсивному осуществлению термохимических реакций (структурные превращения, диспропорционирование водорода и т.д.).

При этом молекулярный водород ОВ, активированный радикалами и катализаторами, вступает в следующие реакции:

- 1) стабилизации радикалов – продуктов деструкции;
- 2) гидрирования ароматических колец;
- 3) удаления гетероатомов;
- 4) восстановления доноров водорода.

При генерации радикалов, бомбардирующих ОВ, происходит дополнительный разрыв связей в молекулах ОВ, отщепление и отъединение жидких и газообразных УВ, а молекулярная структура получает более упорядоченную структуру. Следовательно, с накоплением ароматических структур резко увеличивается энергия межмолекулярных взаимодействий (соответственно и температура начала размягчения ОВ).

В ходе техногенного нефтеобразования общая направленность процесса энергетического воздействия на ОВ заключается в разделении углерода и водорода: в создании горючих веществ, максимально обогащённых водородом, с одной

стороны, и веществ, максимально обогащённых углеродом, – с другой. Так, состав получаемых жидких продуктов гидрогенизации ОВ аналогичен тяжелым видам нефти. Однако имеются и их отличительные особенности – повышенное содержание кислородных соединений, в частности, фенолов, а также наличие в составе нефтеподобных продуктов нестабильных непредельных углеводородов и сернистых соединений.

На низких ступенях термобарного преобразования для рассеянного ОВ характерен бесструктурный тип. Для сапропелевого и гумусово-сапропелевого вещества в этих термодинамических параметрах типичны пониженная ароматичность, значительное содержание кислорода в различных химических формах, обедненность метильными группами и длинными парафиновыми цепями.

По мере углубления термобарного преобразования за счет исходных жирных кислот, восков и других соединений, богатых водородом, образуются тяжелые жидкие углеводороды. При этом увеличивается степень ассоциированности вещества и снижается количество гетероэлементов (N, O, S), а также возрастает насыщенность циклических структур. Для процесса целенаправленного преобразования геополимеров особенно важны средние уровни Р–Т воздействия. В этих параметрах происходит максимальная потеря неактивного кислорода (связанного не с функциональными группами, а с внутренней структурой преобразуемого органического вещества).

Потеря неактивного кислорода свидетельствует о том, что кроме продолжающегося (при углублении термобарного воздействия) отщепления функциональных групп обеспечивается разрыв внутренних кислородных связей между конденсированными группами в макромолекулах, а также поликонденсация отдельных структурных единиц преобразуемого органического вещества. При этом формируются вторичные макромолекулы, потерявшие при предшествующем разукрупнении часть углеводородов, но вновь обогащенные кислородсодержащими функциональными группами благодаря разрыву внутренних связей.

Таким образом, процесс термобарного преобразования весьма сложного органического вещества выражается в потере функциональных групп, а также уменьшении количества боковых углеводородных цепей и конденсации ароматических ядер с разрушением мостиковых связей. Кроме этого установлено, чем выше уровень теплового воздействия, тем легче синтезируемая нефть, и ее вязкость уменьшается при уменьшении среднего содержания серы, смол и асфальтенов.

Техногенный процесс синтеза нефти в специально подготовленных литосферных реакторах (как, впрочем, и природные процессы нефтеобразования) количественно определяется по пара-

Таблица 6

Связь температуры недр с глубиной

Глубина, м	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Температура, °С	45	75	105	135	165	195	225	255

метру  $T_{\max}^{\circ}$ . В частности, значениям 435–465°C отвечает максимум нефтеобразования.

Кроме температуры еще одним главным фактором преобразования ОВ в специально сформированных в литосфере реакторах является воздействие повышенного *давления*. Так, давление обычно линейно изменяется с глубиной приблизительно на гидравлический градиент, составляющий от 9,7 до 12,4 ат на каждые 100 м глубины горного массива. В результате этого в интервале глубин 1,3–3,5 км при  $P_{\text{лит}} \sim 1$  кб и  $T=80\text{--}200^{\circ}\text{C}$  процесс нефтегенерации протекает наиболее интенсивно. Причем по мере повышения геотемпературы и давления происходит генерация все более легких продуктов термодеструкции ОВ.

Также весьма важным фактором, обеспечивающим превращение органики в синтетическую нефть является *воздействие микроорганизмов*. Так, бактериальная флора на первоначальном этапе преобразования ОВ во-многом определяет режимы соответствующих зон, существенно влияя на возникновение окислительных и восстановительных геохимических обстановок. В частности, в окислительной среде отмирающее белковое вещество под воздействием бактерий генерирует  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , тогда как в восстановительной обстановке образуются  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ , а также тяжелые предельные и непредельные газообразные углеводороды. Причем анаэробное бактериальное окисление ОВ имеет большую интенсивность для сапропелевого вещества по сравнению с гумусовым, обогащенным детритовым материалом.

При низкотемпературном воздействии на ОВ определяющими являются следующие химические процессы превращения биомолекул: гидролиз, гидратация, диспропорционирование водорода, полимеризация и поликонденсация. В этот период в фоссилируемом ОВ происходит формирование не только газообразных, но и высокомолекулярных УВ (главным образом за счет переработки ОВ бактериями). Так, процессы декарбоксилирования жирных кислот ведут к новообразованию *n*-алканов, а диспропорционирование водорода непредельных соединений – к

новообразованию нефтяных структур, которые преобладают среди изоциклоалифатических УВ.

Для развития последующих технологий техногенного воспроизводства нефти весьма важно и то, что воздействие микроорганизмов на стераны протекает селективно: в первую очередь окисляются стераны, имеющие 20R конфигурацию, т.е. биостераны.

Благодаря воздействию микроорганизмов частую происходит как разрушение, так и новообразование структур, отсутствующих в исходных нефтях. К числу таких углеводородов можно отнести: 25-норгопаны, Т-образные изопреноиды, изопреноиды типа «голова к голове» и прочие. Так, алканы могут быть преобразованы монотерминально до формы спирта, причем первая ступень осуществляется благодаря ферменту оксигеназе, в результате чего кислород непосредственно включается в структуру молекулы до формы спирта либо до формы кетона. Кроме того, алканы атакуются микроорганизмами детерминально. Например, *Pseudomonas aeruginosa* может воздействовать на 2-метилкапроновую кислоту с обоих концов углеродной цепи, образуя смесь 5-метилкапроновой и 2-метилкапроновой кислот. Алканы могут быть также десатурированы терминально или субтерминально с образованием алкенов.

Микробному воздействию подвергаются также длина цепи алифатических углеводородов и ее боковые цепи. Например, некоторые бактерии, которые воздействуют на алканы с длиной цепи  $\text{C}_8\text{--}\text{C}_{20}$ , не способны к атаке на алканы с длиной цепи  $\text{C}_1\text{--}\text{C}_6$ , тогда как другие не могут расти на алканах с длиной цепи более  $\text{C}_{10}$ . Известно, что грибы могут расти на алканах с длиной цепи до  $\text{C}_{34}$ . Кроме этого, металльные и пропильные группы в определенных положениях алканового углевода уменьшают или предотвращают утилизацию веществ микроорганизмами.

Алкены далее могут быть превращены в эпоксиды, которые затем включаются в метаболизм с образованием диолов.

В процессах техногенного нефтеобразования чрезвычайно важна роль *вмещающих пород*, ко-



Рис. 1. Роль вмещающих пород в процессе нефтеобразования



Классы гетерогенных катализаторов

Класс катализатора	Примеры катализаторов	Тип катализируемой реакции	Примеры реакций
d-переходные металлы	Fe, Ni, Pd, Pt	Гидрирование, дегидрирование, окисление	Каталитическое преобразование системы
Полупроводниковые оксиды	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , NiO, CuO	Окисление и восстановление	Контактный процесс
Изоляторы (диэлектрики)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	Гидрирование, дегидрирование	Получение этилена путем дегидрирования этанола
Кислотные катализаторы	Природные глины (алюмосиликаты), H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Изомеризация, полимеризация, крекинг	Крекинг углеводородов с длинной углеродной цепью

торые могут являться как (в определенной степени) компонентами природного химического реактора, так служить коллектором или антифильтрационным экраном (рис. 1).

В этой связи одной из наиболее удачных геохимических характеристик вмещающего горного массива как реактора нефтеобразования служит отношение концентраций изопреноидов C<sub>19</sub>:C<sub>20</sub> – пристана к фитану. В результате по величине этого отношения выделяются три основных типа обстановок преобразования ОБ в нефть – резко восстановительная (Φ<0,6), восстановительная (Φ=0,6–5) и слабоокислительная (Φ=5–15).

Таким образом, содержание подвижной части синтезируемых углеводородов (бигумоидов) зависит не только от типа исходного ОБ (гумусовый, сапропелевый и др.) и параметров Р–Т обработки, но и от состава минеральной составляющей горных пород реактора. В частности, чем меньше в них нерастворимого в соляной кислоте остатка (кварцево-кремниевое, полевошпатовое и глинистое материала), тем выше содержание синтезируемых бигумоидов.

Кроме этого, повышенная карбонатность способствует возрастанию доли синтезируемых бигумоидов в ОБ. Более того, карбонатность повышает также и степень восстановленности синтезируемых бигумов, т.е. содержание в них масляной углеводородной (УВ) части.

В целом, для ускорения процессов термодеструкции ОБ и синтеза из них техногенной нефти в качестве катализаторов могут быть применены (табл. 7):

- d-переходные металлы и их ионные формы;
- оксиды, не имеющие в своем составе переходных элементов, но обладающие полупроводниковыми свойствами, управляемыми свободными электронами и дырками или одновременно теми и другими (концентрацию их изменяют путем внедрения в оксидную фазу легирующих примесей);
- вода;
- металлоорганические комплексы, играющие в технологических процессах роль промежуточных соединений.

Кроме каталитических характеристик, в процессе техногенного воспроизводства нефти в глубинах литосферы весьма важны *коллекторские свойства* вмещающего горного массива.

На величину проницаемости прежде всего влияют структура и текстура горной породы, морфология и структура пустотного пространства, вещественный (минеральный) состав и количество цемента, лиофильность или лиофобность (как горной породы в целом, так и цементирующего вещества).

В частности, вследствие уменьшения свободного сечения пор (при увеличении водонасыщенности пород) исходная проницаемость горного массива заметно снижается. А с увеличением медианного размера обломочного материала (за счет увеличения сечения каналов) проницаемость, наоборот, возрастает. Кроме этого, проницаемость характеризуется анизотропией, наиболее резко выраженной у терригенного коллектора и менее у карбонатного.

Емкостные свойства карбонатных пород определяются сложным сочетанием полостей различных типов (пор, каверн и трещин), отличающихся в основном геометрией и размерами.

Однако помимо коллекторских свойств горные породы (слагаемые из них горные массивы) обладают и *антифильтрационными свойствами*.

Количественное определение величины проницаемости основано на законе линейной фильтрации Дарси:

$$K_{np} = \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{\Delta P \cdot S},$$

где  $Q$  – расход флюида в единицу времени;  $\mu$  – вязкость флюида;  $L$  – длина пористой среды;  $\Delta P$  – перепад давления;  $S$  – площадь фильтрации.

Например, эффективной крышкой техногенных углеводородных залежей могут являться соли и ангидриты. Причем проницаемость последних ( $2 \cdot 10^{-8}$  мдарси) на два порядка ниже, чем у аргиллитов. Также установлено, что соли при повышении давлений и температур резко снижают исходную проницаемость, а в диапазоне давлений 280–350 кгс/см<sup>2</sup> и температур 28–32°С (характерных для глубин 1200–1500 м) фильтрация газа через них практически полностью прекращается.

Тщательный учет рассматриваемых факторов возможного превращения ОБ позволил разработать базовую модель литосферного реактора синтеза нефти из углеродсодержащих стоков (рис. 2).

Формирование техногенных скоплений нефти определяется совокупностью происходящих про-



цессов синтеза нефти в специально сформированных в литосфере реакторах, ее массового перемещения и аккумуляции в целенаправленно созданных ловушках.

В результате, по мере повышения температуры и давления одновременно реализуются два процесса:

- подключаются новые резервы углеродсодержащих стоков (новые массы ОВ), способные к дальнейшему к преобразованию;
- среди той части ОВ, которая уже перешла энергетический предел, нарастает доля молекулярных групп, реализовавших свой потенциал и отделившихся от биополимера.

Количество нефтеобразующего вещества в искусственном реакторе, расположенном в литосфере, в единицу времени прямо пропорционально скорости подачи углеродсодержащих стоков ( $a$ ) и обратно пропорционально скорости процесса ( $v$ ) их переработки. Выделив в процессе формирования техногенных нефтяных месторождений интервалы времени  $\Delta t$  с ускоренным развитием ( $a > 0$ ) для каждого из них (с учетом мощности реактора, равной  $\Delta t v$ ), количество углеродсодержащего вещества, необходимого для нефтеобразования продукта, определяется из уравнения:

$$\frac{x_i \Delta t_i a_i}{v_i} = x \Delta t_i a_i.$$

Скорость процессов нефтеобразования при подаче в литосферный реактор углеродсодержащих стоков определяется по формуле

$$\frac{dv}{dt} = f(V, C_{орг}, K_1, K_{СТР}, T, P_{ГС}, P_{ФЛ}),$$

где  $V$  – объем углеродсодержащих стоков;  $C_{орг}$  – содержание углерода в стоках;  $K_1$  – тип ОВ;  $T$  – температура;  $K_{СТР}$  – структура горных пород (степень открытости пустотных пространств);  $P_{ГС}$  – давление геостатическое;  $P_{ФЛ}$  – давление флюидов.

Таким образом, для эффективного нефтеобразования необходимо наличие техногенных стоков с содержанием  $C_{орг}$  не менее 1–0,5%.

Температура на глубине  $h$  –  $T_h$  равна

$$T_h = T_0 + \Gamma \cdot h,$$

где  $T_0$  – температура годовых амплитуд, °С;  $\Gamma$  – геотермический градиент, °С/м.

Давление вышележающих пород рассчитывается по формуле

$$P_{ГС} = \rho \cdot g \cdot h,$$

где  $\rho$ ,  $h$  – соответственно средняя плотность и мощность вышележающих пород;  $g$  – ускорение свободного падения.

Необходимо учитывать, что с ростом сум-

марной миграции углеводородов из зоны реактора давление монотонно падает.

Кроме этого, интенсивность нефтеобразования зависит от степени дисперсности органического вещества, проницаемости пласта, количества щелочных ионов (оказывающих промотирующее влияние при катализе на алюмосиликатах) и степени гидрогенизации органического вещества глубинным водородом.

В итоге удельные количества генерированных в специально созданный в литосфере реактор нефти и углеводородного газа можно вычислить по следующей формуле:

$$V_{ГЕН} = C_{ОРГ} h_p \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot T \cdot K_P \cdot P_{ГС} \cdot P_{ФЛ},$$

где  $C_{ОРГ}$  – концентрация ОВ;  $h_p$  – мощность зоны реактора;  $K_2$  – коэффициент, характеризующий (в долях единицы) морфологию ОВ;  $K_3$  – коэффициент теплопроводности пород реактора;  $K_P$  – барический коэффициент.

Время вытеснения синтезируемой нефти из специально подготовленного в литосфере реактора будет равно

$$t = \frac{S \cdot K_n \cdot q}{P \cdot T},$$

где  $K_n$  – пористость горного массива;  $S$  – площадь вытеснения;  $q$  – вязкость нефти;  $t$  – время полного прохождения порового объема углеводородов из реактора.

Таким образом, процессы техногенного нефтеобразования, являющиеся весьма сложными, зависят от множества факторов: количества, со-

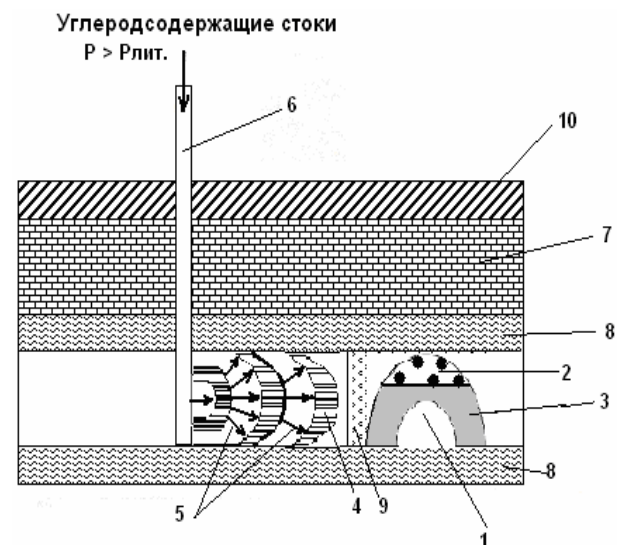


Рис. 2. Базовая модель литосферного реактора синтеза нефти:

1 – ловушка УВ; 2 – газовая шапка; 3 – синтезированная нефть; 4 – фронт распространения синтезируемой нефти; 5 – движение флюидов; 6 – перфорированный трубопровод; 7 – вмещающие реактор горные породы; 8 – глины; 9 – наведенная трещиноватость; 10 – породы

става и формы распределения ОВ, структуры содержащих его горных пород, температур и

давлений, строения горных массивов, степени их гидравлической изолированности и т.д.

#### Библиографический список

1. Воробьев А.Е., Балыхин Г.А., Гладуш А.Д. Техногенное воспроизводство углеводородного сырья в литосфере: факторы, механизмы и перспективы. М.: Изд-во «Учеба» МИСиС, 2003. 417 с.
2. Воробьев А.Е., Балыхин Г.А., Гладуш А.Д. Техногенное воспроизводство нефти и горючего газа в литосфере: концепция, принципы и механизмы. М.: Изд-во «Учеба» МИСиС, 2005. 334 с.
3. Воробьев А.Е., Балыхин Г.А., Гладуш А.Д. Основы техногенного воспроизводства нефти, горючего газа и угля в литосфере. М.: РУДН, 2006. 334 с.

УДК 621.357.7

Д. М. Закиров, Б. Зоннтаг, П.-Р. Добровольскис, К. Алин, И. Гоуфек

## ПАССИВИРОВАНИЕ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ Cr(III) ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ УСТАНОВКАХ

В последнее время проблема замены растворов хромирования цинковых покрытий стала весьма актуальной. Как известно, конверсионные покрытия, полученные в растворах хромирования, содержат токсичные соединения Cr(VI) – до 200 мг Cr(VI)/м<sup>2</sup>. Легко рассчитать, что каждый год только из отслуживших автомобилей в окружающую среду попадают и ее загрязняют сотни тонн соединений Cr(VI). До 2000 г. эта проблема решалась в основном по инициативе самих гальваников. Однако после принятия в 2000 г. Европейской Директивы ЕС 2000/53/ЕС, ограничивающей присутствие соединений Cr(VI) в конверсионных покрытиях, решение этой задачи стало необходимостью. Тем более, что в 2002 г. появилось дополнение к указанной директиве, которое с июля 2007 г. полностью запрещает присутствие Cr(VI) в конверсионных покрытиях, наносимых при изготовлении автомобилей. Крупнейшие западные автомобильные фирмы объявили о досрочном выполнении этой директивы.

Процессы хромирования для дополнительной защиты металлов от коррозии стали применяться в четвертом десятилетии прошлого столетия. Как известно, основную роль при защите стали от коррозии играет цинковое покрытие, которое ведет себя, как анодное. Хроматное покрытие является барьером, затрудняющим доступ коррозионной среды, увеличивает стойкость к механическому воздействию, придает желаемый цвет. Для всех этих функций нет необходимости присутствия в конверсионном покрытии именно Cr(VI). Растворы хромирования стали применять по той причине, что пассивирующие покрытия в них получить довольно легко и просто. Коррозионная стойкость цинковых покрытий, обработанных в растворах радужного хромирования, в соляном тумане достигает 200 ч и более. Можно отметить, что хроматные покры-

тия также не являются идеальным барьером, так как хроматы в определенной степени смываются водой и неустойчивы при повышенных температурах. Так, коррозионная стойкость хроматных покрытий после термошока (150°C, 1 ч) уменьшается в 7–10 раз [1]. Причиной этого является их дегидратация, что вызывает растрескивание образовавшегося сплошного покрытия [2].

Поиск альтернатив хромированию ведется более 20 лет. Был разработан ряд составов для получения конверсионных покрытий в кислых растворах на основе Cr(III) [3–6]. В таких растворах цинк реагирует с ионами водорода. При этом происходит подщелачивание раствора вблизи поверхности цинка, что приводит к образованию труднорастворимых гидроксидных соединений Cr(III), составляющих основу пассивирующего покрытия. Покрытия являлись бесцветными или с голубоватым оттенком, их толщина и коррозионная стойкость была меньшей, чем покрытий, полученных в растворах на основе Cr(VI), т.е. составляла всего лишь 12–24 ч до белой коррозии в камере соляного тумана. Были предложены и другие альтернативы: например, обрабатывать цинковые покрытия в жидком стекле с цинковой пылью [7]. Однако эти способы не получили широкого практического применения.

По всей вероятности, причиной низкой коррозионной стойкости конверсионных покрытий на основе Cr(III) явилось недостаточная их толщина – до 0,1 мкм. Известно, что коррозионная стойкость радужных покрытий примерно в 2 раза выше, чем голубых и бесцветных. Как следует из данных **табл. 1**, толщины этих покрытий и содержание в них Cr(VI) также значительно различаются.

Одним из первых успешных решений проблемы замены растворов, содержащих Cr(VI), для получения конверсионных покрытий явля-

ется разработка процесса хромирования фирмой SurTec [9]. Заметим, что хотя с химической точки зрения термин “хромирование”, обозначающий процесс образования конверсионных покрытий в растворах на основе Cr(III) является правильным, однако согласно Международной Системе Данных о Веществах (IMDS) этот процесс называют “пассивированием”.

Основным преимуществом процесса, разработанного фирмой SurTec, является то, что толщина пассивирующего покрытия составляет сотни нанометров. Это и обуславливает более высокую их коррозионную стойкость. Следует однако упомянуть, что по [9] обработка цинковых покрытий ведется в растворах, содержащих более 10 г/л Cr(III) при температурах выше 40°C.

В последние годы процессы пассивирования цинковых покрытий на основе соединений трехвалентного хрома предлагают все ведущие гальванотехнические фирмы мира. Очевидно, что при выборе процесса пассивирования наибольшее внимание уделяется таким параметрам, как коррозионная стойкость покрытий, их внешний вид, режим пассивирования и, конечно, стоимость обработки единицы площади поверхности. Важно отметить, что конверсионные покрытия, полученные в Cr(III) содержащих растворах, в действительности содержат лишь следы соединений Cr(VI). По данным, приведенным в [10], количество соединений Cr(VI) в конверсионных покрытиях, полученных в растворах пассивирования, разработанных фирмой “Atotech” (Германия), не превышает 1% (табл. 2).

Выше уже отмечалось, что основной причиной замены растворов на основе Cr(VI) является исключение токсичных соединений из конверсионных покрытий. Необходимо отметить, что такая замена существенно упрощает очистку сточных вод, образующихся в процессе нанесения покрытий. Во-первых, в них отсутствуют ионы Cr(VI) и отпадает необходимость их восстановления до Cr(III), во-вторых, концентрация хрома в современных растворах пассивирования обычно в несколько раз ниже, чем в растворах хромирования. Последний фактор означает, что вынос хрома, образование шлама после очистки сточных вод будет значительно меньше. Это наглядно показывают расчеты, проведенные в работе [1].

Учитывая вышеизложенное, ОАО “БелЗАН”, которое является крупнейшим производителем автономалей в России, поставило перед собой задачу полностью заменить растворы хромирования, не делая при этом никаких компромиссов в отношении коррозионной стойкости покрытий. При этом замена должна быть сделана на существующем оборудовании, т.е. в барабанных линиях.

Для проведения производственных испытаний были выбраны процессы бесцветного пассивирования “Chemeta AP-7E” и радужного пассивирования “Chemeta AP-8”, предлагаемые фирмой “Atotech-Chemeta”. Некоторые свойства конверсионных покрытий, полученных на подвесках, применяя эти процессы, исследованы в работе [11]. Несмотря на низкое содержание Cr(III) в этих растворах (от 0,8 до 1,6 г/л в AP-7E и от 1,6 до 3,2 г/л в AP-8), коррозионная стойкость покрытий достигает 90 и 190 ч соответственно. В настоящей работе исследованы процессы пассивирования во вращающихся установках при применении, в отдельных случаях более концентрированных растворов.

Как было отмечено выше, защитная способность конверсионных покрытий повышается с увеличением их толщины. Нами была определена зависимость веса пассивирующего покрытия от времени обработки в растворах пассивирования (рис. 1). Осаждение цинка проводилось в кислом электролите цинкования “Chemeta AC-55” на линии “Plating” барабанного типа. Толщина цинкового покрытия составляла 8–10 мкм.

Из данных, приведенных на рис. 1, следует, что как и следовало ожидать, прямая пропорциональность между весом покрытий и временем обработки отсутствует. Это объясняется тем, что с увеличением толщины пассивирующего по-

Таблица 1

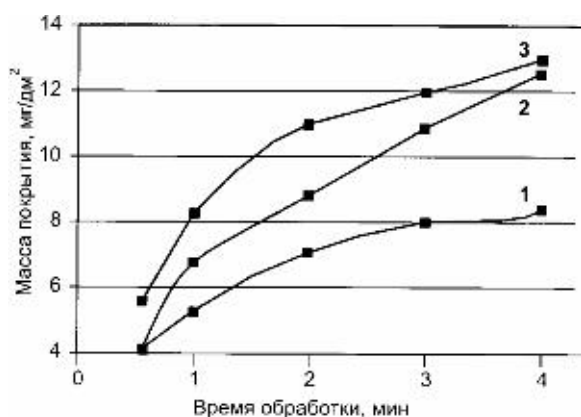
Свойства конверсионных покрытий на основе Cr(VI) [8]

Цвет покрытия	Толщина покрытия, мкм	Содержание Cr(VI) в покрытии, мг/м <sup>2</sup>
Бесцветный, голубой	0,025–0,08	10–30
Радужный	0,25–0,50	80–220
Серый	1,0–1,5	300–360
Черный	0,25–1,0	80–400

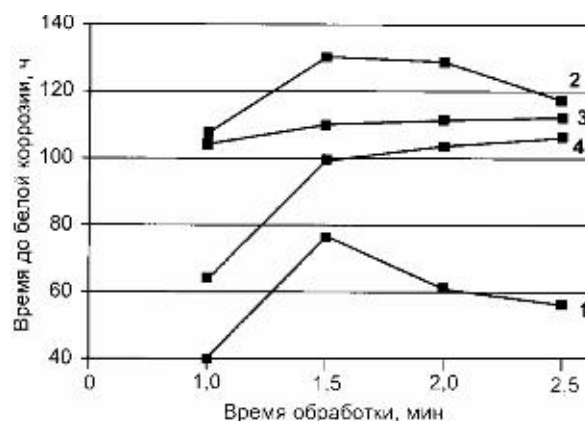
Таблица 2

Толщина конверсионных покрытий, полученных в растворах, разработанных фирмой “Atotech”, и содержание соединений хрома в них

Раствор, цвет покрытия	Содержание Cr(VI) в растворе, г/л	Толщина покрытия, мкм	Содержание в покрытии, мг/м <sup>2</sup>		
			Cr	Cr(III)	Cr(VI)
Corro Tribble, голубой	0	0,1	30–35	30–35	<0,1
Corro Tribble Ultra, голубой	0	0,2	35–40	35–40	<0,2
Eco Tri, голубой	0	0,3	70–80	70–80	<1
Corro Yellow, радужный	1,3	0,3	140–150	60–80	70–90
Corro Black, черный	10,5	0,8	300–400	200–300	90–110



**Рис. 1. Зависимость массы пассивирующего покрытия от времени обработки в растворе "Chemeta AP-7E" (1) и "Chemeta AP-8" (2,3). pH растворов 2,2. Концентрация композиции (мл/л): 1 – 40; 2 – 80; 3 – 100**



**Рис. 2. Зависимость коррозионной стойкости цинковых покрытий от времени их пассивирования в растворе "Chemeta AP-8" во вращающихся установках. Концентрация композиции "Chemeta AP-8" (мл/л): 1 – 80; 2 – 100; 3,4 – 120; pH растворов: 1,2,3 – 2.1 4 – 2,4**

крытия замедляется скорость растворения цинка и соответственно скорость образования продуктов этой реакции, которые и образуют данное покрытие. Увеличение времени обработки в 2 раза (с 2 до 4 мин) увеличивает вес покрытия примерно на 15% в случае "Chemeta AP-7E" и примерно на 30% в случае "Chemeta AP-8". Допустив, что удельная масса покрытия составляет 2 г/см<sup>3</sup>, получим, что в случае продолжительности процесса пассивирования 1,5–2 мин вес покрытия примерно 0,12 мкм (AP-7E) и 0,2 мкм (AP-8).

Исследования коррозионной стойкости покрытий, проведенные как в лабораторных, так и в производственных условиях показали, что в случае проведения пассивирования в растворе "Chemeta AP-7E" во вращательных установках коррозионная стойкость покрытий не всегда является стабильной, т.е. наблюдался значительный разброс результатов. Вероятной причиной этого можно считать механическое повреждение пассивирующего покрытия из-за передвижения деталей во вращающемся барабане.

Аналогичные исследования были проведены, применяя раствор "Chemeta AP-8". Было

найден, что наиболее стабильные результаты, показывающие наилучшую коррозионную стойкость покрытий, получаются при прерывистом вращении барабана, т.е. после одного оборота следует пауза продолжительностью 10–15 с. По-видимому, во время паузы образовавшееся покрытие не повреждается сквозными царапинами из-за передвижения деталей при последующем вращении барабана. Некоторые результаты исследований представлены на рис. 2.

Из данных, приведенных на рис. 2, следует, что оптимальное время обработки в указанных условиях составляет от 1,5 до 2 мин. Дальнейшее повышение времени обработки не улучшает, а в некоторых случаях ухудшает коррозионную стойкость покрытий. Покрытия имели слабовыраженную радужность, что является типичным при "толстослойном" пассивировании. Таким образом, результаты проведенных работ на ОАО БелЗАН показывают на возможность применения исследованных растворов пассивирования для получения цинковых покрытий, отвечающих требованиям автомобильной промышленности. Работы намечено завершить в 2006 году.

#### Библиографический список

1. Окулов В.В. Экологические, технологические и экономические аспекты замены шестивалентных растворов хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2005. № 5. С. 35–40.
2. Гарднер А., Шарф Д. Эффективная замена хроматных растворов пассивирования гальванических покрытий цинком и его сплавами // Гальванотехника и обработка поверхности. 2002. № 4. С. 39–45.
3. Пат. 4349392 США.
4. Пат. 4359345 США.
5. Пат. 5393354 США.
6. Пат. 5415702 США.
7. Исследование коррозионной стойкости цинксиликатных защитных покрытий / Александров Ю.Я., Шекунова В.М., Яблокова Н.В., Бирюкова Т.Г. // Защита металлов. 1998. № 6. С. 652–655.
8. Jelinek T.W. Galvanisches Verzinken. Leuze Verlag, Sauglau, 1982.
9. Пат. 907762 В 1 Европа.
10. Sonntag B., Vogel R. Chrom (VI) freie Passivierungen fuer die Automobilindustrie// Galvanotechnik. 2003. Н. 10. S. 2408–2413.
11. Добровольский П.-Р., Гоуфек И., Юзикис П. Пассивирование цинковых покрытий в растворах, не содержащих Cr(VI) // Гальванотехника и обработка поверхности. 2002. № 4. С. 35–38.



УДК 621.922

В. В. Райт, А. Б. Чаплыгин, В. Н. Дятлов, А. Е. Медведев

## ПРОЧНОСТЬ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА БАКЕЛИТОВОЙ СВЯЗКЕ

При разработке рецептурно-технологических параметров абразивного инструмента важно знать его прочностные свойства, т.к. это связано с безопасной работой. Особенно это актуально применительно к шлифовальным кругам низкой (М2-СМ2) твердости.

Известна из [1] зависимость разрывной скорости шлифовального круга от его прочности, плотности и геометрических параметров, см/с

$$V_{разр} = \sqrt{\frac{g \cdot \sigma_6}{\gamma}} \cdot \sqrt{\frac{3}{1 + \alpha + \alpha^2}}, \quad (1)$$

где  $g=981 \text{ см/с}^2$  – ускорение силы тяжести;  $\sigma_6$  – предел прочности при растяжении,  $\text{г/см}^2$ ;  $\gamma$  – плотность материала круга,  $\text{г/см}^3$ ;  $\alpha=d_{кр}/D_{кр}$  – коэффициент формы, т.е. отношение диаметров внутреннего к наружному.

В свое время Талеманн [2] исследовал прочности образцов и кругов на бакелитовой связке на растяжение, изгиб, сжатие и скорость разрыва. В этой работе установлено, что самым надежным прочностным показателем является прочность материала шлифкруга на изгиб.

В этом случае формулу (1) можно представить в общем виде:

$$V_{разр} = K \cdot \sqrt{\frac{\sigma_u}{\gamma(1 + \alpha + \alpha^2)}}, \quad (2)$$

где  $K$  – эмпирический коэффициент;  $\sigma_u$  – статическая прочность на изгиб,  $\text{кгс/см}^2$ ;  $\gamma$  – плотность образца,  $\text{г/см}^3$ ;  $\alpha$  – коэффициент формы круга.

Задача настоящего исследования – экспериментально определить численные значения показателей  $K$ ,  $\sigma_u$ ,  $\gamma$  для прогнозирования разрывной и допустимой рабочей скорости кругов зернистостью от 16 до 40 твердостью от М2 до СМ2.

Для определения физико-механических свойств изготавливались и испытывались образцы в виде брусков  $150 \times 90 \times 20$  по 6 штук каждого рецептурного варианта с трехкратной повторностью.

Твердость ( $h_n$ ) определялась на пескоструйном приборе мод. 910 по ГОСТ 18118.

При испытаниях на статический изгиб определялось напряжение (МПа), возникающее в момент разрушения образца, по формуле из [3]:

$$\sigma_u = \frac{3FL_o}{2BH^2}, \quad (3)$$

где  $F$  – нагрузка в момент разрушения образца, Н;  $L_o$  – расстояние между опорами, мм;  $B$  – ширина образца, мм;  $H$  – толщина образца, мм.

Испытания на изгиб проводились на испытательной машине мод. П-10, обеспечивающей равномерную скорость относительного движения нагружающего наконечника и опор ( $100 \pm 20$  мм/мин) и позволяющей производить измерение нагрузки с погрешностью  $\pm 1\%$ .

За результат испытания принималось среднее арифметическое значение изгибающего напряжения при разрушении образцов и среднее квадратическое отклонение.

Звуковой индекс образцов определялся при помощи прибора «Импульс» измерением скорости прохождения ультразвука ( $C$ ) по таблице звуковых индексов [4].

Плотность образцов ( $\gamma$ ) определялась измерением линейных размеров и взвешиванием.

Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Из табличных данных следует, что с увеличением твердости прочность образцов увеличивается, а с увеличением зернистости – уменьшается.

Для определения величин эмпирического коэффициента  $K$  в формуле (2) были изготовлены шлифовальные круги 200×16×32 14А16 твердостью М2, М3, СМ1, СМ2 по 9 штук каждой степени твердости. Круги имели первый класс неуравновешенности по ГОСТ 3060. Коэффициент

Таблица 1

Результаты испытаний образцов

Характеристика	Физико-механические показатели				
	Плотность $\gamma$ , $\text{г/см}^3$	Глубина лунки $h_n$ , мм	Скорость $УЗ C$ , м/с	Звуковой индекс ЗИ	Прочность на изгиб $\sigma_u$ , $\text{кгс/см}^2$
14А16 М2 6 Б	2,11	5,1±0,5	2600±130	23–25	163±12
14А16 М3 6Б	2,12	4,4±0,45	2720±120	25–27	200±17
14А16 СМ1 6Б	2,14	3,5±0,4	2840±110	27	229±23
14А16 СМ2 6Б	2,16	2,9±0,3	2980±90	27–29	238±11
14А25 М2 6 Б	2,08	5,2±0,4	2440±120	23	130±13
14А25 М3 6Б	2,09	4,3±0,4	2640±120	25	158±14
14А25 СМ1 6Б	2,11	3,3±0,35	2760±110	25–27	206±19
14А25 СМ2 6Б	2,13	3,0±0,3	2810±100	27	216±18
14А40 М2 6 Б	2,10	3,9±0,4	2530±100	23–25	130±12
14А40 М3 6Б	2,11	3,2±0,35	2590±100	25	148±14
14А40 СМ1 6Б	2,12	2,7±0,2	2660±90	25	168±13
14А40 СМ2 6Б	2,14	2,2±0,2	2760±80	25–27	199±16

Таблица 2

Показатели	Ед. изм.	Степень твердости			
		M2	M3	CM1	CM2
Плотность $\gamma$	г/см <sup>3</sup>	2,11	2,12	2,14	2,16
Неуравновешенность статическая	г	3,4±1,3	3,3±1,2	3,2±1,2	3,1±0,8
Прочность бруска при изгибе $\sigma_u$	кгс/см <sup>2</sup>	163±12	200±17	229±23	238±11
Скорость разрушения круга фактическая $V_{разр}$	м/с	78,5±10	83,3±6,8	93,0±7,1	102,0±2,3
Эмпирический коэффициент $K$	–	9,7	9,4	9,8	10,6

формы  $\alpha=d/D=0,16$ . Круги испытаны на испытательном стенде до разрыва. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Эмпирический коэффициент рассчитывался по формуле

$$K = \frac{V_{разр}}{\sqrt{\gamma \frac{\sigma_u}{(1 + \alpha + \alpha^2)}}} \quad (4)$$

Из табл. 2 видно, что эмпирический коэффициент  $K$  лежит в пределах от 9,4 до 10,6. Для дальнейших расчетов скорости разрушения (разрывной скорости) кругов берем минимальное значение, т.е.  $K=9,4$ . В этом случае формула (2) примет вид:

$$V_{разр} = 9,4 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_u}{\gamma(1 + \alpha + \alpha^2)}} \quad (5)$$

Численные значения скорости разрушения под действием центробежной силы с учетом коэффициента формы  $\alpha$  приведены в табл. 3.

Используя табличные данные скорости разрушения с учетом характеристики и размеров круга и вводя коэффициент запаса прочности, который зависит от условий эксплуатации ( $S = V_{разр}^2 / V_{раб}^2$ ), определяется максимально до-

Таблица 3

Расчетная скорость разрушения круга (м/с) в зависимости от коэффициента формы

Характеристика	Значения коэффициента $\alpha$				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
14A16 M2 6 Б	74	70	66	62	59
14A16 M3 6Б	80	75	71	67	64
14A16 CM1 6Б	85	80	76	70	68
14A16 CM2 6Б	90	85	80	75	71
14A25 M2 6 Б	68	64	60	57	54
14A25 M3 6Б	72	68	64	61	57
14A25 CM1 6Б	79	74	70	66	63
14A25 CM2 6Б	86	81	76	72	68
14A40 M2 6 Б	68	64	61	57	54
14A40 M3 6Б	71	67	64	60	57
14A40 CM1 6Б	76	72	68	64	61
14A40 CM2 6Б	84	80	75	71	67

пустимая рабочая скорость круга по условию безопасности.

Для проверки адекватности расчетной формулы (4) применительно к кругам высокой твердости по определенной рецептуре были изготовлены и испытаны бруски (6 штук) и круги 400×13×127 (8 штук) характеристики 14A12Н ВТ-ЧТ Б, класс неуравновешенности 1–2, плотность отвержденного композита  $\gamma=2,64$  г/см<sup>3</sup>, коэффициент формы круга  $\alpha=0,32$ .

Получены следующие результаты:

- прочность при изгибе  $\sigma_u=960\pm20$  кгс/см<sup>2</sup>;
- расчетная скорость разрыва

$$V_{разр} = 9,4 \cdot \sqrt{\frac{960}{2,64(1 + 0,32 + 0,10)}} = 150 \text{ м/с};$$

- скорость разрыва фактическая  $V_{факт}=152\pm4$  м/с.

Задавая коэффициент запаса прочности  $S=3$ , получили значение максимальной рабочей скорости  $V_{раб}=80$  м/с.

Результаты проведенных исследований позволяют с достаточной точностью прогнозировать скорость разрушения круга путем определения прочности образцов на изгиб. С учетом коэффициента запаса прочности обоснованно назначать максимально допустимую рабочую скорость круга на бакелитовой связке в зависимости от его характеристики и размеров.

#### Библиографический список

1. Ивашинников В.Т. Прогрессивное шлифование. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1976. С. 67–71.
2. Талеманн М. Прочностные свойства абразивного инструмента на бакелитовой связке // Internationale Tagung fur Schleiftechnik in Innsbruck. 1970. С. 19–22.
3. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1975.
4. Ультразвуковой контроль абразивного инструмента. Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1988.

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

УДК 621.771

Г. Ш. Рубин

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Специалисты по обработке металлов давлением постоянно обращаются при анализе технологических процессов к системному подходу, позволяющему с высокой степенью обобщения решать поставленные научные задачи [1, 2].

По мере усложнения производственных процессов, развития науки появились задачи, которые не решаются с помощью традиционных математических методов. Последние, как правило, подразумевают моделирование процесса при помощи системы уравнений и дальнейшее его исследование путём анализа математической модели. Таков был путь развития исследований процессов обработки металлов давлением в двадцатом веке. Так же, как и во многих других отраслях науки и техники, бурное развитие получили методы, поддерживаемые численными алгоритмами, реализуемыми на ЭВМ. Обширные возможности вычислительной техники порождали иллюзии неограниченности этих возможностей. Однако, рассматривая итоги развития исследований в области обработки металлов давлением, следует отметить, что они были в значительной мере сосредоточены на исследовании процессов формоизменения, пластической и упругой деформации металлов [1, 2]. Между тем современные технологические процессы обработки металлов давлением характеризуются многоперспективностью, совмещением с подготовкой металлов (травление, термообработка, обдирка и пр.), последующей доводкой проката до требований потребителя (калибровка, шлифовка и пр.). Таким образом, технологический процесс – совокупность технических процессов, различных по своей физической природе: горячее и холодное формоизменение, термическая обработка и т.д. С другой стороны, нельзя учитывать и организационные, экономические и прочие факторы, безусловно влияющие на конечный продукт. Да и само понятие конечного продукта можно трактовать по-разному. Это не только металлическое изделие, но и обширный набор характеристик, которые обычно интегрируются в экономических показателях.

Даже из первичного поверхностного анализа ясно, что комплексное исследование технологи-

ческого процесса обработки металлов давлением требует подходов, выходящих за рамки одной математической модели. Технологический процесс следует рассматривать как нечто целое, состоящее из разнородных составляющих, связанных между собой разнообразными зависимостями, из которых не все поддаются описанию при помощи количественных зависимостей, используемых классической математикой (дифференциальным и интегральным исчислением). Наиболее эффективно такие сложные объекты описываются при помощи теории систем и смежных с ней дисциплин.

Потребность в использовании понятия «система» возникла для объектов различной физической природы с древних времён: ещё Аристотель обратил внимание на то, что целое (система) несводимо к сумме частей, его образующих. В частности, термин «система» и связанные с ним понятия комплексного, системного подхода исследуются и подвергаются осмыслению философами, биологами, кибернетиками, физиками, математиками, экономистами, инженерами различных специальностей.

Определим понятие системы в нашем понимании. Термин «система» используют в тех случаях, когда хотят охарактеризовать исследуемый или проектируемый объект как нечто целое, сложное, о котором невозможно сразу дать представление, показав его, изобразив графически или описав математическими формулами, уравнениями и пр. Понятие системы формировалось поэтапно и сейчас можно использовать определения системы той или иной меры сложности и полноты в зависимости от предмета и цели исследования.

В первых определениях система  $S$  понималась как элементы некоторого множества  $a_i$  и связи между ними  $r_i$ :  $S \equiv \text{def} \langle \{a_i\}, \{r_i\} \rangle$ , где  $a_i \in A$ ;  $r_i \in R$ ;  $R$  – подмножество декартова квадрата  $A$ . Дальнейшее совершенствование понятий позволяет учитывать развитие системы путём учёта некоторой системы целей  $Z$ , регулирующих функционирование системы. Тогда  $S \equiv \text{def} \langle A, R, Z \rangle$ . В некоторых определениях

уточняются условия целеобразования путём учёта наблюдателя  $N$ , интервала времени  $\Delta T$ , т.е.  $S \equiv \text{def} < A, R, Z, \Delta T, N >$ . Для целей настоящего исследования такая детализация понятия представляется удовлетворительной.

Определим основные понятия, необходимые нам для упорядочения понятного смысла задачи. *Элемент* – простейшая, неделимая часть системы. Следует отметить, что свойство неделимости относительное и зависит от глубины и целей исследования, поэтому в качестве более точного определения элемента можно принять, что *элемент* – это предел членения системы с точки зрения аспекта рассмотрения, решения конкретной задачи, поставленной цели.

Об относительности всех понятий, их зависимости от конкретных целей исследования необходимо помнить и при определении всех остальных понятий.

*Подсистема* – относительно независимая часть системы, обладающая признаками системы (элементы, отношения, цель и т.д.). Части системы, не обладающие такими признаками, будем называть компонентами.

*Связь* – понятие, характеризующее возникновение и сохранение целостности системы. Оно характеризует одновременно и строение (статику), и функционирование (динамику) системы. Связь выступает ограничителем степени свободы элементов в том смысле, что, вступая во взаимодействие друг с другом, элементы утрачивают часть своих свойств, которыми они обладают в свободном состоянии, и приобретают новые. Связи можно характеризовать направлением, силой, свободой. Можно различать связи подчинения и порождения. Эти характеристики связей будут раскрыты позже на конкретных объектах.

Понятие *цель* и связанные понятия целесообразности, целенаправленности, эффективности определяют направление и степень развития системы. Это понятие трансформируется в аналогичные в различных теориях. Так, в квалиметрии и в логике оценок [4–6] понятию *цель* соответствует понятие *качество*. Понятие цели также является относительным. Оно зависит от субъекта оценки – по терминологии логики оценок и лица,

принимающего решение – ЛПР, – по терминологии теории полезности [6, 7]. В зависимости от контекста мы в дальнейшем будем использовать оба этих понятия.

Система может быть представлена простым перечислением элементов или «чёрным ящиком». Однако для того, чтобы полнее представить объект, надо понимать взаимоотношения между компонентами и подсистемами. Наряду с отношениями между элементами системы, упомянутыми в начале изложения, эти взаимоотношения образуют *структуру* системы. Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов и процессов, от аспектов рассмотрения, цели создания.

Из ряда понятий, характеризующих функционирование и развитие систем, упомянем одно – понятие *устойчивости*. Под устойчивостью понимают способность системы возвращаться в исходное состояние с фиксированными характеристиками после того, как некоторые воздействия вывели её из этого исходного состояния.

Виды и формы представления могут быть различны, многообразие их неисчерпаемо.

Обычно понятие *структура* связывают с некоторыми графическими образами. Это обусловлено наглядностью такого представления и не исключает множества других способов представления структуры. Сетевая структура или сеть представляет собой декомпозицию системы в пространстве или во времени. Связь отдельных операций в технологическом процессе может быть представлена в виде сети. Основные элементы такой структуры – вершина, ребро. Цепь вершин и рёбер образует путь в сети. Иерархические системы представляют собой декомпозицию системы, отражающую уровень анализа, расчленения системы на подсистемы, компоненты и элементы.

Нами проанализирована технология получения крепежных изделий для автомобилей ВАЗ, предложена конкретная модель расчёта эффективной технологической схемы производства её на ОАО «Белебеевский завод «Авто-нормаль»», выбрана оптимальная схема, успешно внедрённая в производство [8].

#### Библиографический список

1. Рашников В.Ф., Салганик В.М., Шемшурова Н.Г. Квалиметрия и управление качеством продукции: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 184 с.
2. Рашников В.Ф. Развитие технологических систем на основе комплексного моделирования для производства конкурентоспособного стального проката: Дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 1998. 56 с.
3. Пластичность и разрушение / Колмогоров В.Л., Богатов А.А. и др. М.: Металлургия, 1977. 304 с.
4. Колмогоров В.Л. и др. Решение технологических задач обработки металлов давлением на микроЭВМ. Справочник. М.: Металлургия, 1993. 320 с.
5. Гун Г.С. Анализ результативности технологий на основе логики оценок // Научно-технические ведомости СПбГТУ. СПб.: Федеральное агентство по образованию: СПбГТУ, 2005. № 2. С. 127–129.
6. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии / Под ред. А.В. Гличева. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.



7. Рубин Г.Ш., Гун Г.С. Логические законы оценки качества продукции. Магнитогорск, 1988. 23 с. Деп. в ВИНТИ 19.08.1988, № 4105–88.
8. Гун Г.С. Методология оценки металлопродукции и технологических процессов // Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов: Тр. Междунар. науч.-техн. конф. С-Пб.: Изд-во Политех. ун-та, 2005. С. 234–236.
9. Технологический процесс обработки давлением как иерархическая система / Г.Ш. Рубин, Д.М. Закиров, Г.С. Гун и др. // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: Сб. статей II Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2006. С. 16–22.

УДК 658.6

М. Б. Ребезов, С. И. Лукьянов

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПЫТАНИЙ

Испытательная лаборатория нефтепродуктов Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И.Носова (ИЛ МГТУ) создана в июле 2004 г. и аккредитована на независимость и техническую компетентность Федеральным агентством Российской Федерации по техническому регулированию и метрологии в Системе ГОСТ Р – аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21НФ66 от 30 марта 2005 г.

В лаборатории выполняются испытания продукции в соответствии с заявленной областью аккредитации – бензины, дизельные и моторные топлива, а также различные виды масел, мазутов и других нефтепродуктов. Для обеспечения качества испытаний, доверия к результатам испытаний внутри лаборатории при межлабораторных сравнительных испытаниях, а также к качеству анализируемой продукции в лаборатории проводится внутренний оперативный контроль (ВОК) и внутренний статистический контроль (ВСК) качества результатов испытаний нефтепродуктов согласно МИ 2335-2003, МИ 2336-2002.

МИ 2335 предусматривает проведение внутреннего оперативного и внутреннего статистического контроля результатов. Внутренний оперативный контроль (ВОК) качества результатов анализа (сходимость, воспроизводимость, точность) осуществляется с целью получения оперативной информации о качестве анализов и принятия при необходимости оперативных мер по его повышению.

В МИ 2336 изложены методы оценки показателей точности, правильности прецизионности методик КХА.

Основная цель проведения ВОК и ВСК – обеспечение необходимой точности результатов текущих испытаний и подтверждение лабораторией своей технической компетенции, стабильности процесса измерения и поддержание его в подконтрольном состоянии.

Для получения результатов испытаний, соответствующих точностным показателям качества необходимы: проверка средств измерений,

аттестация испытательного оборудования, проверка качества реактивов и дистиллированной воды, наличие СО и поверочных смесей, правильность отбора проб и их доставка в лабораторию, соответствие экспериментальных данных аттестованным характеристикам, а также соблюдение требований нормативной документации на методы анализа.

Показатели качества метода испытаний (сходимость, воспроизводимость и др.) приводятся в нормативной документации на метод, показатели качества испытаний устанавливаются непосредственно в лаборатории. Для обозначения степени близости результатов, полученных в одной лаборатории, но в разных условиях, введено понятие внутрилабораторной прецизионности.

Сходимость (повторяемость) результатов испытания:

– это прецизионность в условиях повторяемости, т.е. результаты единичных испытаний, полученных одним методом на идентичных пробах одним оператором, на одном оборудовании, в короткий промежуток времени.

– это расхождение между параллельными определениями ( $|x_1 - x_2| \leq r$  – предел повторяемости).

Количественной характеристикой правильности результатов в лаборатории является систематическая погрешность результатов при реализации конкретного метода испытаний и оценивается по анализу стандартных образцов с аттестованным значением измеряемой величины ( $|X_{cp} - C_{co}| \leq \Delta$ , где  $X_{cp}$  – среднее значение результатов,  $C_{co}$  – аттестованное значение,  $\Delta$  – точность метода;  $\Delta = \pm 1,96 \cdot \sigma_{\Delta}$ ).

Воспроизводимость результатов:

– это результаты, полученные по одной и той же методике на идентичных пробах, но в разных условиях (разное время, разные операторы, разные лаборатории);

– это расхождения между средними значениями, полученными в разных условиях ( $|X_{cp1} - X_{cp2}| \leq R$  – предел воспроизводимости).

Таблица 1

## Оперативный контроль качества

ГСО	ГОСТ/ определяемый показатель	Аттестованное значение (среднее значение результатов) С	Точность метода Δ	Результаты измерения X	Повторяемость результатов измерений	Средний результат измерения X <sub>ср</sub>	Отклонение среднего результата от аттестованного значения X <sub>ср</sub> - С	Норматив оперативного контроля K <sub>к</sub> =Δ <sub>л</sub>	Предел повторяемости Γ <sub>2</sub>	Предел воспроизводимости R <sub>2</sub>
СН-005ЭК	19121-73 Определение серы ламповым методом	0,05%	0,0099%	0,0502% 0,0498% 0,0505% 0,0507% 0,0508% 0,0502%	0,0010%	0,0504%	0,0004%	0,0008%	0,0085%	0,048%
ВН-01ЭК	2477-65 Определение воды	0,1%	0,142%	0,09% 0,10% 0,11% 0,09%	0,02%	0,098%	0,002%	0,12%	0,1%	0,2%
СН-0,100ЭК	1437-75 Определение серы ПОСТ-2МК	0,1%	0,142%	0,100% 0,098% 0,102% 0,104%	0,006%	0,101%	0,001%	0,12%	0,05%	0,2%
7946 ТЗ-2	20287-91 Температура застывания	-31°C	4,3°C	-31,3°C -31,2°C	0,1°C	-31,2°C	0,2°C	3,6°C	2,0°C	6,0°C
8134 ТВЗТ-50ЭК	6356-75 Температура вспышки	54°C	2,8°C	52°C 53°C 52°C	1°C	52,3°C	1,7°C	2,4°C	2°C	4°C
8637 ИЧ-1 №4	2070-82 Йодное число	1,5 г/100	0,02 г/100	1,43 г/100 1,55 г/100	0,12 г/100	1,49 г/100	0,01 г/100	0,017 г/100	10%	20% (0,029 г/100)
5091 ТОТ-4	4333-87 Температура вспышки	227°C	11,3°C	227°C 229°C	2°C	228°C	1°C	9,5°C	5°C	16°C
8519 ОЧ-2(И)	8225-82 Октановое число	92,3	0,7	92,7	-	92,7	0,4	0,6	0,5	1,0
8518 ОЧ-1(М)	511-82 Октановое число	76,3	1,1	76,6	-	76,6	0,3	0,6	0,5	1,6
8525 ДНП-30-ЭК	1756-2000 Давление насыщенного пара	34,5кПа	3,5кПа	34,2 кПа 34,5 кПа	0,3 кПа	34,35 кПа	0,15кПа	2,5кПа	2,1	4,9
7948 ФС-2-2	2177-99 Фракционный состав	t <sub>нк</sub> 145,0 5% 154,0°C 10% 158,0°C 50% 178,0°C 95% 216,0°C 98% 226,5°C	3,5°C	145,6 145,6°C 154,6 154,6°C 158,6 157,6°C 178,6 178,6°C 216,7 216,7°C 226,2 226,7°C	0°C 0°C 1,0°C 0°C 0°C 0,5°C	145,6°C 154,6°C 158,1°C 178,6°C 216,7°C 226,5°C	0,6°C 0,6°C 0,1°C 0,6°C 0,7°C 0°C	3,0°C	1,5°C 1,0°C 1,7°C	5°C 4,75°C 5,5°C
7556-99 РЭВ <sub>20</sub> -5	33-2000 Вязкость кинематическая	4,982 мм <sup>2</sup> /с	0,084 мм <sup>2</sup> /с	4,99 мм <sup>2</sup> /с 4,95 мм <sup>2</sup> /с	0,004 мм <sup>2</sup> /с	4,97 мм <sup>2</sup> /с	0,012 мм <sup>2</sup> /с	0,071 мм <sup>2</sup> /с	1,2% от ср.	

Таблица 2

**Статистический контроль качества результатов анализа  
дизельных топлив**

Определяемый показатель по НД (ГОСТ)	Определение температуры вспышки в закрытом тигле ГОСТ 6356	Определение температуры застывания ГОСТ 2087	Определение вязкости кинематической ГОСТ 33	Определение йодного числа ГОСТ 2070	Определение серы ламповым методом ГОСТ 19121
Среднее квадратичное отклонение $S_x$	0,84	0,68	0,038	0,046	0,0022
Норматив воспроизводимости $K_b$	1,66	1,66	0,053	0,070	0,0034

Таблица 3

**Статистический контроль качества результатов  
анализа бензинов**

Определяемый показатель по НД (ГОСТ)	Определение бензола ГОСТ 29040	Определение серы ламповым методом ГОСТ 19121	Определение давления насыщенного пара ГОСТ 1756
Среднее квадратичное отклонение $S_x$	0,029	0,0022	1,44
Норматив воспроизводимости $K_b$	0,163	0,0034	1,89

Основное правило контроля представляет собой сопоставление результатов контрольной процедуры с нормативами контроля. Проверка приемлемости результатов единичного анализа рабочей пробы получается в условиях повторяемости при сопоставлении расхождений между наибольшим и наименьшим значениями и параллельных определений с пределом сходимости. ВОК воспроизводимости проводится с использованием рабочих проб стабильного состава, либо СО, либо АС (аттестованных смесей), и сопоставления результатов с пределом воспроизводимости. ВОК точности проводится по СО, АС, методам добавок или методам разбавления, возможно использование другой методики. При оперативном контроле контрольная процедура проводится аналогично испытанию рабочей пробы.

Результаты оперативного контроля представлены в табл. 1.

Обеспечение стабильности процесса измерений проверяется методом внутреннего статистического контроля. При этом используются результаты, полученные при оперативном контроле за определенный отрезок времени, либо результаты, полученные на основе данных специального эксперимента, организованного в лаборатории.

В качестве образцов для контроля используются СО, АС либо рабочие пробы с известной добавкой. Для контроля внутрилабораторной воспроизводимости используются рабочие пробы стабильного состава. Статистический контроль воспроизводимости и правильности проводят с применением методов математической статистики, при этом проверяется соответствие статистических оценок нормативам контроля воспроизводимости и правильности. Для процедуры контроля результатов может использоваться и другая контрольная методика при условии, что нормативы контроля не превышают таковые в контролируемой методике.

При наличии нестабильных во времени проб либо при эпизодичности контроля качество результатов испытаний оценивается по небольшому количеству анализов (ограниченная выборка либо внутренний эксперимент). При этом рассчитывается среднее квадратичное отклонение (СКО) внутрилабораторной прецизионности и показатель правильности, который сравнивают с нормативом контроля внутрила-

бораторной прецизионности и правильности, рассчитанным методами оценки этих показателей, указанными в МИ 2336-2002.

Результаты внутреннего статистического контроля качества результатов анализа, полученных при испытаниях поступивших проб в течение длительного периода, представлены в табл. 2, 3.

Правило контроля:  $S_x \leq K_b$ .

По результатам, представленным в табл. 1–3 можно отметить, что:

1) при оперативном контроле повторяемость результатов анализа стандартных образцов меньше предела повторяемости и средний результат измерений меньше норматива оперативного контроля, равного погрешности метода;

2) при статистическом контроле результатов анализа производственных проб среднее квадратичное отклонение результатов анализов меньше норматива воспроизводимости  $K_b$ .

Полученные данные ВОК и ВСК являются основанием для утверждения, что ИЛ МГТУ выполняет испытания с высоким качеством, обеспечивающим доверие потребителей к результатам испытания, которые соответствуют всем нормативам точности, предусмотренным Ростехрегулированием.

**Библиографический список**

1. МИ 2336-2002. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. Екатеринбург, 2002.
2. МИ 2335-2003. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. Екатеринбург, 2003.

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 658.5

В. Ф. Рашников

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРИОРИТЕТЫ ОАО «ММК» В СРЕДНЕСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» реализует масштабную инвестиционную программу, которая предусматривает обновление производственных фондов и внедрение новых технологий по всем переделам.

Основной стратегической целью реконструкции является освоение выпуска новых для ОАО «ММК» видов продукции и расширение рынков сбыта, а также увеличение доли высококоррентных видов проката, в том числе с покрытием, обеспечение высокого качества выпускаемой продукции, снижение себестоимости производства, снижение выбросов загрязняющих веществ, внедрение энергосберегающих технологий.

Затраты на техническое перевооружение за период с 1996 по 2005 годы составили более 2 млрд долларов.

С 1 марта 2006 года в числе производственных подразделений комбината появился электросталеплавильный цех (ЭСПЦ), созданный на базе бывшего мартеновского цеха. В его состав вошли две новейшие электродуговые печи производства австрийской фирмы «Voest-Alpine AG» суммарной мощностью 4 млн т жидкой стали в год, из которых 2 млн т планируется разливать на сортовых машинах непрерывного литья заготовок и 2 млн т – на машине непрерывного литья слябов.

Сортовые МНЛЗ № 1, 2, агрегат печь-ковш по контракту с этой же фирмой были введены в эксплуатацию в 2004 году.

В 2006 году, кроме электропечей № 1, 2, в цехе введены в эксплуатацию слябовая МНЛЗ № 5 мощностью 2 млн т/г (производства ОАО «Уралмаш – металлургическое оборудование», Россия), агрегат «печь-ковш», агрегат доводки стали, системы водоснабжения, водоподготовки, электро-снабжения, обеспечение кранами и металлическим ломом, комплекс газоочистки для двух электродуговых печей, компрессорная станция.

Реконструкция сталеплавильного производства позволит существенно уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду и сократить количество вредных выбросов примерно на 3 тыс. т/г. Будет сведено к минимуму участие в

технологическом процессе аглококсодеменного производства – чугуна будет составлять лишь 25% в составе шихты, остальное – металлический лом.

Планируемая реорганизация сталеплавильного производства позволит обеспечить:

- увеличение объемов производства жидкой стали (более 13 млн т/г на полное развитие);
- внепечную обработку всего металла на агрегатах доводки стали;
- высокое качество заготовки для сорто-прокатных станов;
- непрерывную разливку всей производимой стали;
- расширение марочного сортамента выплавляемых сталей.

Другим приоритетным направлением в ОАО «ММК» является реконструкция сортопрокатного производства.

Создание современного комплекса по производству сортового проката объемом до 2 млн т завершилось в июне текущего года. Комплекс включает три новых сортовых стана, поставленных ОАО «ММК» по контракту с фирмой «Danieli» (Италия).

Первые два стана были введены в эксплуатацию в 2005 году. Сортовой стан «450» мощностью до 800 тыс. т в год предназначен для прокатки уголка, швеллера, круга в прутках, шестигранника. Мелкосортный стан «370» позволяет выпускать до 600 тыс. т продукции в год, в том числе круг, арматурный прут, шестигранник, уголок.

Ввод в эксплуатацию сортовых МНЛЗ в 2004 году и пуск в 2005 году сортовых станов позволил снизить расход стали на прокат по ОАО «ММК» в целом на 13 кг/т, прибыль от снижения расходного коэффициента составила около 800 млн руб. В 2005 году прибыль от реализации произведенной на данных станах продукции составила более 410 млн руб.

Третий стан «170» проектной производительностью 750 тыс. т катанки и термоупрочненной арматуры малых диаметров в год введен в эксплуатацию в июне текущего года.

Технологическое оборудование фирмы «Danieli» дает ОАО «ММК» ряд преимуществ:



- высокую производительность комплекса и качество конечного продукта;
- полную автоматизацию производственного процесса;
- быстроту переналадки на широкий сортамент продукции;
- высокое качество пакетирования прутка и штабелирования профилей.

В соответствии с программой перспективного развития производства холоднокатаной листовой стали в ОАО «ММК» завершены 1 и 2 этапы реконструкции цеха холодной прокатки и цеха покрытий.

В 2002 году введен в эксплуатацию двухклетевой реверсивный стан холодной прокатки «1700» производства «SMS Demag AG» (Германия). Стан оснащен всеми современными системами, необходимыми для получения высококачественного холоднокатаного листа, в том числе автомобильного листа первой группы отделки поверхности для лицевых деталей автомобилей.

В том же 2002 году был введен в действие агрегат непрерывного горячего цинкования по контракту с фирмой «Danieli». Полностью автоматизированное оборудование агрегата обеспечивает производство оцинкованного листа для стройиндустрии и тонкого оцинкованного автолиста на уровне мировых стандартов.

Дальнейшим этапом развития производства листовой продукции высокой степени готовности явился ввод в действие в 2004 году агрегата полимерных покрытий фирмы «Voest-Alpine AG» и освоение нового вида продукции – проката с полимерным покрытием.

В 2004 году были внедрены новые технологии в цехе холодной прокатки № 5, а именно:

- турбулентное солянокислотное травление на непрерывно-травильном агрегате итальянской фирмы «Techint»;
- отжиг в атмосфере водорода в колпаковых печах фирмы «Ebner» (Австрия).

Это позволило не только увеличить объем товарной холоднокатаной продукции ЛПЦ-5 на 275 тыс. т, горячекатаных травленых рулонов – на 100 тыс. т, дать прирост прибыли на 225 млн руб. в 2005 году, но и вывести из эксплуатации физически и морально устаревшие травильные агрегаты в цехе жести.

В 2004 году была освоена новая технология производства жести из подката двойной ширины. Для ее реализации был закуплен агрегат продольного роспуска итальянской фирмы «Techint». Агрегат предназначен для роспуска полос шириной 1500–1850 мм в рулонах массой до 35 т на две полосы шириной 730–910 мм.

Освоение новой технологии позволило более рационально использовать стан 2000 горячей прокатки и повысить его производитель-

ность на 400 тыс. т.

В июле текущего года в ЛПЦ №5 введен в эксплуатацию агрегат продольного роспуска № 9 производства фирмы «Fimi» (Италия) мощностью 360 тыс. т/год. Реализация проекта позволила увеличить производственные мощности по промасленным холоднокатаным рулонам и расширить сортамент рулонного металла.

Параллельно с реконструкцией основного технологического производства важным направлением для ОАО «ММК» является модернизация энергетического оборудования.

В 2005 году в паросиловом цехе введены в строй два турбогенератора модульного типа производства компании «Siemens» (Чехия), что позволило получить дополнительно 14,8 МВт электрической мощности за счет утилизации низкопотенциального пара, вырабатываемого кислородно-конверторным цехом.

Реализация этого проекта позволила увеличить выработку собственной электроэнергии в ОАО «ММК» до 620 МВт, снизить в 2005 году закуп электроэнергии со стороны и соответственно получить экономию 70 млн. руб.

Из вышесказанного следует, что ОАО «ММК» не снижает темпы реализации программы технического перевооружения.

В целом реализация инвестиционной программы в ОАО «ММК» за период 1996–2005 годы позволила:

- внедрить в производство современные высокотехнологичные комплексы;
- увеличить объемы производства основных видов продукции;
- улучшить структуру товарной продукции в сторону продукции более глубокой переработки за счет увеличения производства плоского проката и изделий 4-го передела;
- освоить выпуск новых высокорентабельных видов проката, повысить качество металлопродукции по точности химического состава, физико-механическим характеристикам, профилируемым и отделке поверхности;
- увеличить выработку собственной электроэнергии;
- снизить уровень вредных выбросов и вывести из эксплуатации экологически неблагоприятные мощности.

Инвестиционной программой комбината на период 2006–2010 гг. предусматриваются капиталовложения на сумму 3,1 млрд долларов США (с НДС).

Помимо вышеперечисленных в 2006 году планируются не менее масштабные капитальные вложения, чем в 2005 году, в следующие мероприятия:

- в горно-обогатительном производстве по контракту с фирмой «Voest-Alpine AG»

- реализуется проект по строительству установки стабилизации агломерата;
- в доменном производстве ведется установка бесконусных загрузочных устройств производства «Paul Wurth» (Люксембург) на 7 доменных печах;
  - в кислородно-компрессорном производстве с целью увеличения выпуска продуктов разделения воздуха для цехов комбината продолжается реализация проекта строительства нового кислородного блока № 4 кислородной станции № 4.

Перечисленные мероприятия позволят уже в 2006 году достигнуть запланированного увеличения объема производства металлопроката до 11,4 млн т (на 12% по сравнению с 2005 годом), значительно снизить удельный расход кокса, а также расширить сортамент продукции.

В среднесрочной перспективе на 2007–2010 годы в ОАО «ММК» планируется реализация следующих крупных инвестиционных проектов.

Для достижения бездефицитного баланса производства и потребления извести и кокса, а также обеспечения возросших требований к экологии производства и к показателям качества в 2007 году запланировано строительство и пуск в эксплуатацию шахтной печи для обжига извести мощностью 140 тыс. т в год и начало строительства коксовой батареи 11-бис мощностью 1 140 тыс. т кокса в год.

Для реализации программы по увеличению производства и улучшению качества горячекатаного листа на стане "2000" г/п в 2007 году запланировано окончание работ по следующим проектам:

- строительство 4-й нагревательной печи по контракту с фирмой "Stein Heurtey" (Франция);
- реконструкция АСУ ТП стана "2000" г/п по контракту с фирмой "Дата Центр" (Россия);
- реконструкция стана "2000" г/п по контракту с ОАО "НКМЗ" (Украина) с целью полу-

чения до 300 тыс. т/г трубных марок стали X-70 толщиной до 18,7 мм.

Для гарантированного обеспечения выхода годного металла первой группы поверхности в 2007 году в ЛПЦ № 5 планируется ввести в эксплуатацию установку системы мокрой дрессировки на стане 2500 по контракту с фирмой "Текинг" (Италия).

С целью организации производства высокоэкономичного толстолистового проката для трубной, нефтегазовой отрасли, судостроения, котлостроения, машиностроения в объеме до 1,4 млн т/г в 2007 году планируется начало инвестиционного проекта строительства комплекса нового толстолистового стана "5000". В перспективе данный проект позволит:

- создать современный высокотехнологичный комплекс по производству толстолистового проката;
- обеспечивать трубную отрасль подкатом для производства труб большого диаметра с классом прочности X100;
- вывести из эксплуатации морально устаревшее и физически изношенное оборудование станов "2350" и "4500";
- снизить издержки производства и повысить рентабельность готовой продукции ОАО "ММК";
- выпускать конкурентоспособную продукцию, отвечающую мировым стандартам.

С целью увеличения производства продукции с высокой добавленной стоимостью в 2007 году запланировано начало строительства нового агрегата горячего цинкования № 2 производственной мощностью 450 тыс. т/г.

Таким образом, в среднесрочной перспективе реализация новых высокотехнологичных проектов позволит ОАО «ММК» создать требуемый производственный и финансовый потенциал и укрепить свои позиции на современном рынке черных металлов.

УДК 669.1

А. Д. Носов

## **РАЗВИТИЕ СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЗОВ ИЗ МЕТАЛЛА ОАО «ММК»**

Обновление сталеплавильного и сортопрокатного производства в ОАО «ММК» позволило по-новому пересмотреть концепцию развития метизного передела Магнитогорского метизно-калибровочного завода «ММК-МЕТИЗ». Существенной составляющей этой концепции явилась возможность обновления и создания новых сквозных технологий производства ме-

тизов: от выплавки стали до получения готового продукта в виде проволоки и проволочных изделий, крепежа и холоднокатаной ленты.

Примером развития сквозной технологии в области производства проволоки в настоящее время можно назвать освоение выплавки и прокатки новых сварочных марок стали, легированных марганцем, молибденом, никелем, хро-

мом, ванадием. Эти марки стали необходимы для изготовления гаммы марок омедненной сварочной проволоки диаметром 3,0–4,0 мм, применяемой для автоматической электродуговой сварки под флюсом газонефтепроводных труб большого диаметра, рассчитанных на высокое рабочее давление. Сварочные стали такого сорта имеют достаточно жесткие требования к химическому составу: например, содержание азота в таких сталях не должно превышать 0,010%, в то время как в стандартных сталях, производимых по ГОСТ 2246-70, содержание азота нормируется до 0,012%. Поэтому выплавка сварочных сталей этого сорта потребовала особого внимания.

В технологии прокатки катанки из таких сварочных сталей немаловажным является получение прочностных свойств катанки, так как при превышении временного сопротивления разрыву катанки, нормируемому при изготовлении проволоки, будет необходим дополнительный передел – термообработка катанки, что существенно усложняет и удорожает технологический процесс метизного передела. Расширение сортамента сварочной проволоки и рост потребности трубной промышленности в сварочных материалах позволил пересмотреть подход к проволочному переделу. Сегодня мы рассматриваем возможность модернизации изготовления омедненной сварочной проволоки, обеспечивающей как прирост объемов ее производства, так и повышение качества медного покрытия, улучшение намотки готовой проволоки и в итоге удовлетворение всего комплекса требований производителей труб.

Переход ОАО «ММК» на непрерывную разливку стали сразу предполагал замену в марочном сортаменте кипящих низкоуглеродистых сталей на более твердые полуспокойные и спокойные, содержащие кремний от 0,12% и выше. Для большей части метизных технологий переход на преимущественное использование спокойных и полуспокойных марок прошел без заметных затруднений. Сейчас весь сортамент проволоки общего назначения, гвоздей, рядового крепежа, сетки производится из спокойных и полуспокойных сталей. Но есть марки стали, не допускающие превышение содержания кремния более 0,03%. Это стали, идущие на производство сварочных электродов: Св-08 и Св-08А. В совокупности производство проволоки из этих марок для собственного электродного производства и для нужд сторонних потребителей составляет значительный годовой объем производства проволоки. В связи с этим была опробована возможность раскисления стали этих марок алюминием. При сохранении содержания кремния в пределах требований

ГОСТа (не более 0,03%) непрерывную разливку стали могли осуществлять при введении алюминия до содержания 0,03–0,05%, в то время как ГОСТ на сварочную сталь не допускает превышение алюминия более 0,01%. Проведенные совместно с Институтом электросварки им. Е.О.Патона (г. Киев) и Российским институтом сварки (г. С.-Петербург) исследования влияния повышенного содержания алюминия в металле стержня электродов на сварочно-технологические свойства и качество сварных соединений показало, что превышение содержания алюминия в стали сердечника электродов возможно только для основных электродов, типа УОНИ, которых в России в целом производится менее 20%. Для сварочных электродов рутиловой группы (80% производства) содержание алюминия в стержнях свыше 0,01% оказалось неприемлемым из-за резкого ухудшения свойств сварных соединений. Совместные исследования и мероприятия, намеченные и проведенные инженерными службами ОАО «ММК» и метизного передела, позволили решить проблему сохранения химического состава сталей, идущих на производство сварочных электродов, сохранить рынок сбыта электродов и товарной проволоки для их производства.

Таким образом, положено начало созданию сквозных технологий: от выплавки стали, ее прокатки и доведения до готового продукта в метизном переделе. Дальнейшее развитие опыта создания сквозных технологий с ОАО «ММК» предполагается развивать в следующих направлениях.

1. Ввод в эксплуатацию на металлургическом комбинате электросталеплавильных агрегатов позволит обратиться к вопросу получения микролегированных высокоуглеродистых сталей. Применение таких сталей, например с микролегированием бором, в производстве канатной проволоки позволит повысить прочностные и эксплуатационные свойства канатов и расширить производимый сортамент канатной продукции. Характерно, что при этом не потребуются модернизация и обновление парка оборудования в сталепроволочно-канатном производстве. Сорбигирированная катанка для производства канатной проволоки и канатов, производимая на ОАО «ММК», должна отвечать требованиям по качеству поверхности (отсутствие раскатанных пузырей и закатов), отсутствию структур подкалки, требуемой макро- и микроструктуре. Высокопроизводительный стан «170» ОАО «ММК» позволяет обеспечить производство канатной проволоки в необходимых объемах.

2. Пуск проволочного стана «170» дает возможность вернуться к проблеме освоения производства холоднодеформированной арматуры

класса В500С диаметром до 10,0 мм. Ранее проведенные на заводе организационно-технические мероприятия, связанные с приобретением инструментальной оснастки к волочильным станам и исследования по получению арматуры такого класса показали реальную возможность производства арматуры класса В500С в условиях метизного передела. Мировая практика показала, что горячекатаный круглый прокат, обеспечивающий всю совокупность свойств для холоднодеформированной арматуры, может быть произведен либо из микролегированной стали, либо из рядовой низкоуглеродистой, прокатанной с технологией двухстадийного охлаждения катанки с прокатного нагрева. При этом у катанки перед ее волочением должен быть обеспечен предел текучести не ниже  $360 \text{ Н/мм}^2$ , а на готовом продукте – свыше  $500 \text{ Н/мм}^2$  с достижением необходимых прочностных и пластических свойств холоднодеформированной арматурной проволоки. Получение такого сочетания свойств потребует дополнительных усилий технических служб ОАО «ММК», связанных с получением равномерной мелкозернистой структуры катанки и с обеспечением заданного углеродного потенциала. В свою очередь, задача технических служб ОАО «ММК-МЕТИЗ» будет состоять в достижении высоких качественных характеристик арматурной проволоки, которые будут решаться применением современного волочильного оборудования, многовалковых клетей с целью нанесения заданного профиля (соответствия критерия анкеровки и других геометрических характеристик), использованием устройств знакопеременной деформации и получения прочностных и пластических характеристик, удовлетворяющих требованиям нормативной документации.

3. Освоение производства арматуры класса В500С позволит значительно расширить сортамент производства сварной арматурной сетки как в рулонах, так и в картах и в дальнейшем расширить номенклатуру армирующих изделий для современной строительной индустрии. На первом этапе планируется заменить устаревшее производство арматурной рулонной сетки на современное высокопроизводительное, с мобильной заменой ячейки, с компактной укладкой карт сетки.

4. Планируемое в 2006 году начало освоения производства высокопрочной стабилизированной арматурной проволоки потребует освоения выплавки высокоуглеродистых сталей марок 80–85 и прокатки кругов диаметром от 6,5 до 18,0 мм. Для получения качественной высокопрочной арматурной проволоки требуется отработка режимов охлаждения горячекатаной круглой стали на станах «170» и «370», обеспечивающих максимальное содержание сорбита в структуре проката и равномерное со-

четание пластических и прочностных характеристик катанки как по длине бунта, так и в бунтах каждой партии катанки. Это позволит при разработке технологий последующего волочения такого подката на многократных прямоточных волочильных станах, а также при осуществлении операции стабилизации добиться получения заданного качества арматурной проволоки, особенно востребованной в настоящее время строительными организациями.

5. В производстве низкоуглеродистой проволоки намечается расширение применения механического удаления окалины с поверхности катанки, которое будет производиться на новом проволочном стане «170». Здесь требуется взаимодействие со специалистами ОАО «ММК» в части подбора режимов охлаждения катанки с прокатного нагрева, обеспечивающих благоприятное отделение окалины от поверхности катанки. При этом необходимо обеспечить максимальное количество прилегающего к основному металлу востита как наиболее хрупкого и наименее абразивного компонента окисленной поверхности катанки.

6. С учетом широкой номенклатуры машиностроительных крепежных изделий, производимых ОАО «ММК-МЕТИЗ», не останется без внимания вопрос обеспечения этого производства подкатом по ГОСТ 10702-78 группы осадки б6, позволяющим обеспечить проведение операций холодной штамповки с получением качественной поверхности болтов и гаек заданного комплекса прочностных и пластических характеристик, требуемой стойкости инструмента. Нарращиваемое производство высокопрочного крепежа и крепежа повышенной прочности, как наиболее ответственных видов продукции, предъявляет особые жесткие требования со стороны потребителей (мостостроителей, строителей металлоконструкций ответственного назначения). В связи с этим актуальным становится обеспечение данного вида металлопродукции подкатом из стали марки 40Х, 40Х «селект», 30ХР, 20Г2Р и др. Борсодержающие стали по сравнению с хромистыми обладают меньшим сопротивлением деформации при холодной штамповке, что обеспечивает хорошую штампуемость и повышение стойкости высадочного инструмента. Борсодержающие стали хорошо прокаливаются при охлаждении как в воде или водных растворах, так и в масле, а крепежные изделия из них после термической обработки обладают прочностными свойствами на уровне крепежа из хромистых сталей при более высоких показателях пластичности и ударной вязкости.

7. Немаловажное значение придается вопросу обеспечения выпуска железнодорожного крепежа на ОАО «ММК-МЕТИЗ» (закладные,



клеммные болты, путевые шурупы, двухвитковые шайбы, пружинные клеммы и др.), доля которых в общем объеме крепежа, производимого предприятием, значительна. С учетом возросших требований обеспечения безопасности, вводимых на федеральном железнодорожном транспорте, эти виды продукции подвергаются обязательной сертификации Регистром сертификации ФЖТ МПС России. Соответственно и требования к качеству этих изделий и к стабильности воспроизводства этого качества на каждой партии изготавливаемых изделий диктуют жесткие нормы входного контроля и приемо-сдаточных испытаний. Работа ОАО «ММК» и ОАО «ММК-МЕТИЗ» должна быть направлена на исключение претензий со стороны потребителей на данные виды продукции. Только постоянно проводимая совместная работа по освоению производства прогрессивных видов крепежа и новых технологий позволит получать конкурентоспособную продукцию для расширения производственных и коммерческих связей, повышения эффективности и объемов производства и увеличения доли предприятий на рынке сбыта.

8. Мелкие крепежные изделия, производство которых начинается на ОАО «ММК»-МЕТИЗ», в частности самонарезающие винты для гипсокартона, также потребуют дополнительных усилий специалистов, так как сталь, используемая для получения этих изделий, должна отвечать повышенным требованиям: подвергаться холодной высадке, нарезке резьбы, формированию качественного острия, обеспечивать после проведения химико-термической обработки (нитроцементации) сочетание прочностных свойств как на поверхности, так и в сердцевине изделий, кроме того должна обеспечить ряд специфических требований по ввинчиваемости и крутящему моменту.

Кроме указанных, реализуются и другие мероприятия по освоению сквозных технологий, такие как расширение сортамента холоднокатаной ленты и калиброванного проката.

Эти мероприятия проводятся одновременно с реализацией программы технического перевооружения Магнитогорского метизно-калибровочного завода «ММК-МЕТИЗ» и позволят выпускать высококачественную, конкурентную метизную продукцию, значительно увеличить долю продаж на рынке.

УДК 669.4:368.036:338.1

А. А. Морозов, Е. С. Ускова

## КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В России управление рисками становится неотъемлемой частью бизнес-процессов не только для финансовых компаний, но и для крупных промышленных предприятий, стремящихся обеспечить тактическую и стратегическую устойчивость своего бизнеса.

Неопределенность среды находит выражение в широком спектре рисков предприятий, способных оказать негативное воздействие как на финансовое положение, так и на компанию в целом.

Управление рисками для большинства промышленных компаний означает лишь страхование. При этом весьма незначительное внимание уделяется рискам, связанным с обеспечением непрерывности производства, финансовым и рыночным рискам, страховать которые для российских промышленных предприятий практически невозможно. Это стало причиной плохой готовности промышленных предприятий к быстро меняющейся экономической среде и возникающим при этом неопределенностям и угрозам.

Как и в большинстве компаний, в ОАО «ММК» первым этапом формирования системы

управления рисками стало применение страхования – по требованию банка-кредитора, желающего избежать риска невозврата выданных компании заемных средств. Заключение договора страхования в 1998 году потребовало создания обособленной структурной единицы, в задачи которой входило обеспечение страховой защиты предприятия.

К 2000 году была уже сформирована комплексная система страховой защиты, включающая три основных направления: страхование имущества, страхование ответственности, личное страхование.

В 2001 году началось внедрение новых, не связанных со страхованием методов снижения рисков. Введение этих механизмов проводилось по мере возникновения осознанной потребности в снижении непредвиденных финансовых потерь в том или ином направлении деятельности компании. Наиболее актуальным в 2001 году явился риск залогового портфеля. В этот период большой кредитный портфель предприятия требовал серьезного залогового обеспечения в форме ос-

новых средств, оборудования, товаров в обороте, что могло, в случае неисполнения обязательств, привести к нарушению финансово-хозяйственной деятельности предприятия. В результате в 2001 году в ОАО «ММК» утверждается положение об оценке и управлении риском залогового портфеля, предусматривающее оптимизацию портфеля по структуре и по объему.

В 2002 году утверждаются процедуры управления рисками инвестиционных проектов (что обусловлено растущими объемами и, следовательно, рисками инвестиционных вложений ОАО «ММК»), а также риском неисполнения обязательств контрагентами ОАО «ММК».

В 2003 году внедряется положение об оценке и снижении валютных рисков компании, необходимость которого была вызвана значительным объемом открытой валютной позиции и, следовательно, валютных рисков.

Таким образом, в период с 1998 по 2003 годы в ОАО «ММК» были внедрены методы минимизации естественных и природных рисков (страхование) и рисков, управление которыми осуществляется при принятии решений на оперативном уровне управления (рыночные риски и риски контрагентов).

Однако риски, которым подвержена компания, взаимосвязаны и зачастую не могут управляться каждый сам по себе. Кроме того, высший менеджмент не обеспечен информацией о рискованности бизнеса в целом, что не позволяет выстраивать долгосрочную стратегию управления рисками и компанией. Особенностью российского подхода к управлению рисками на промышленных предприятиях является то, что менеджеры предприятия начинают работу только с рисками, которые уже возникли в каком-либо бизнес-процессе. Данный подход является фрагментарным и не дает возможность комплексного управления всеми рисками промышленного предприятия.

Отрицательного эффекта можно избежать или значительно снизить потери с помощью комплексной системы управления рисками, которая должна способствовать вовлечению менеджмента организации всех уровней в процесс управления рисками.

В связи с этим в 2004 г. в ОАО «ММК» было принято решение о создании комплексной системы управления рисками.

Комплексная система управления рисками позволяет предупреждать риски, которые на текущий момент еще не являются критическими, однако в будущем могут существенно повлиять на стабильность работы компании. Единая система риск-менеджмента должна обеспечивать возможность обобщения всех отдельных оценок различного рода рисков в единый пока-

затель совокупного риска.

Кроме того, при внедрении комплексной системы управления рисками ОАО «ММК» сможет соответствовать требованиям в области риск-менеджмента регуляторов рынка других стран, а также требованиям законодательства США в случае выхода компании на рынок IPO.

В настоящее время промышленные предприятия как в России, так и за рубежом нуждаются в комплексной системе управления стратегическими рисками. Опыт реализации проектов в области управления рисками в российских компаниях показал, что с организационной стороны многие российские компании уже готовы к внедрению комплексной системы управления рисками. В то же время корпоративная система управления, сложившаяся в России, требует серьезной адаптации западных теоретических и практических разработок в данной сфере. Данные разработки появились на Западе на рубеже XX и XXI вв. Это было обусловлено тем, что именно в это время основными потребителями наработанных в финансовом секторе методик и технологий в области управления рисками становятся промышленные предприятия, которые осознали необходимость внедрения такой системы и объединения различных направлений управления рисками. При этом оказалось, что, несмотря на десятилетия развития теоретической и методической базы, промышленные предприятия не имеют готовых решений для внедрения в повседневную деятельность, а консультанты, разрабатывающие и активно использующие методики, далеко не всегда в состоянии адаптировать их под нужды каждого конкретного предприятия.

В связи с этим на сегодняшний день остро стоит проблема разработки концепции комплексного управления рисками для промышленного предприятия, которая включала бы уже существующие наработки для финансовых институтов и учитывала особенности промышленных компаний.

К настоящему времени, в целях формирования комплексной системы управления рисками в ОАО «ММК», разработан алгоритм построения комплексной системы управления рисками на промышленном предприятии, содержащий ряд этапов, каждый из которых является неотъемлемой частью процесса построения комплексной системы управления рисками на промышленном предприятии.

Первичное исследование опыта внедрения и функционирования систем управления рисками в промышленных компаниях показало, что одной из первых проблем, с которой сталкиваются практикующие специалисты, является нечеткое понимание роли системы управления рисками и задач, которые стоят перед ней в

общей системе управления предприятием. Данный факт приводит к различным трактовкам существующих рисков и толкования самого понятия «управление рисками» и, как следствие, различным подходам к построению систем управления рисками.

Для построения системы управления рисками на первом этапе необходимо декларировать политику по управлению рисками предприятия, которая должна содержать основные цели и задачи управления рисками предприятия:

Цели системы управления рисками – обеспечение стратегической и оперативной устойчивости бизнеса компании за счет поддержания уровня рисков в установленных границах.

Задачи комплексной системы управления рисками:

- целенаправленное и постоянное выявление и контроль рисков, с которыми сталкивается промышленное предприятие в ходе работы;
- формирование методологической базы, которая охватывает все идентифицируемые риски и позволяет количественно оценивать возможные потери;
- формирование и постоянное обновление методов управления рисками;
- оценка вероятности возникновения той или иной неблагоприятной ситуации и величины ее последствий;
- определение лимитов (уровня оценки / значений) для принимаемых промышленным предприятием рисков;
- осуществление обратной связи для соответствующего реагирования на изменения во внешней среде;
- динамичное включение процессов контроля над рисками в существующую корпоративную систему стратегического и оперативного планирования;
- построение организационной структуры управления рисками.

Процесс идентификации рисков является вторым этапом создания комплексной системы управления рисками промышленного предприятия. Его можно разделить на несколько подэтапов:

- Выявление рисков.
- Формирование карты рисков предприятия.
- Ранжирование и выделение критических рисков предприятия.

В результате исследования различных классификаций рисков, приводимых в литературе и действующих на предприятиях, был сделан вывод об отсутствии единой классификации рисков, что связано с отсутствием единого стандарта управления рисками и разнородностью рисков компаний в зависимости от отраслевой принадлежности.

В связи с этим в ОАО «ММК» предложен подход к классификации рисков предприятия черной металлургии:

Операционный риск – вероятность прямых или косвенных убытков в результате неверного построения бизнес-процессов, неэффективности процедур внутреннего контроля, технологических сбоев, несанкционированных действий работников или внешнего воздействия.

Правовой риск – вероятность того, что соглашение между участниками окажется невозможным выполнить по действующему законодательству или соглашение окажется не надлежащим образом оформленным с юридической точки зрения.

Производственный риск – вероятность имущественных и финансовых потерь, связанных с производственным процессом.

Риск (в области промышленной безопасности и охраны труда) – сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба.

Риск ликвидности – риск, возникающий при несоответствии сроков погашения активов и обязательств организации, при появлении затруднений с продажей актива.

Риск логистики – риски при управлении материальными и информационными потоками в сфере снабжения организации сырьем, топливом, материалами, полуфабрикатами, сбыта, распределения и транспортировки готовой продукции.

Риск персонала – риск, связанный с возможными ошибками работников, мошенничеством, недостаточной квалификацией, неустойчивостью штата организации, возможностью неблагоприятных изменений в трудовом законодательстве и т.д.

Рыночный риск – неопределенность будущих денежных потоков организации из-за изменчивости курсов валют, процентных ставок и цен на продукцию, сырье и оборудование.

Проектный риск – совокупность рисков (кредитный, рыночный, производственный, ликвидности, операционный, риски, связанные с изменением технических и проектных решений и т. п.), связанных с реализацией проекта на всех стадиях (прединвестиционная, инвестиционная, эксплуатационная).

Страновой риск – вероятность того, что действия государственных органов власти могут оказать прямое и/или косвенное воздействие на способность контрагента своевременно исполнять свои обязательства.

Также определены факторы, влияющие на каждый тип риска предприятия.

В зависимости от специфики компании состав рисков может быть различным, равно как и степень критичности этих рисков. В целом можно сказать о том, что данные определения

Критерии для определения наиболее критических рисков

Номер риска	Риск	Частота возникновения					Величина ущерба				Изменение вероятности наступления риска со временем
		Более 1 раза в год	1 раз в год	1 раз в 3 года	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет	Минимальный	Средний	Значительный	Критический	

являются «вспомогательной» классификацией рисков для сотрудников предприятия, посредством которой происходит процесс идентификации всех рисков предприятия.

Формирование карты рисков предприятия является средством выявления наиболее критических рисков предприятия, в процесс ее формирования должны быть вовлечены специалисты всех структурных подразделений для максимального охвата рисков предприятия. Для построения карты рисков возможно проведение опросов специалистов предприятия и заполнения ими стандартных форм вопросников критерии для определения наиболее критических рисков представлены в табл. 1.

Как и в любом процессе классификации рисков, ключевым фактором будет его вероятность. Чем больше вероятность проявления данного риска в определенный период и чем больше вероятность тенденции данного риска к увеличению, а не к сохранению стабильности, тем выше будет общая оценка данного риска. В управлении рисками время является ключевым фактором. Если известно предполагаемое время проявления того или иного риска и если предполагается, что хотя данный риск и будет низким, в случае своего проявления он сможет существенно повлиять на работу компании, можно разработать, осуществить и пересмотреть соответствующий план действий в чрезвычайных обстоятельствах. Если же риск должен проявиться в

ближайшем будущем, времени на разработку плана действий нет, и вместо этого следует направить усилия на управление данным риском с целью уменьшения его возможных последствий или полного устранения самой возможности его возникновения.

В результате проведенного анализа все критические риски были разделены по следующим трем секторам карты рисков:

1. Высокая степень вероятности и внешнее воздействие.
2. Высокая степень вероятности и воздействие на рынок / сеть поставок.
3. Высокая степень вероятности и внутреннее воздействие.

По результатом исследования и проведенных опросов сотрудников была построена следующая карта рисков (см. рисунок).

Третьим этапом построения системы управления рисками является количественная оценка рисков, на котором определяется величина вероятности, ожидаемого ущерба и ключевых показателей риска.

Четвертым этапом построения системы управления рисками промышленного предприятия является определение уровня толерантности к риску как способа определения максимальной величины в денежном выражении, которую предприятие может взять на себя без нарушения устойчивости бизнеса.

В результате анализа был определен подход к толерантности к риску как «финансовая способность покрыть убытки из оборота денежных средств и иных быстро реализуемых доступных активов после наступления рисковомго события». Иными словами, толерантность к риску – это объем ухудшения финансового положения, который является приемлемым и не существенно влияет на бизнес.

Определение данного показателя является неотъемлемой частью построения системы управления рисками и дает возможность определить наиболее критические риски промышленного предприятия и сосредоточить финансовые, производственные и людские ресурсы на управ-





Таблица 2

Типовая форма мониторинга и контроля рисков

Бизнес-цель	Категория риска	Фактор риска	Показатель риска	Предшествующий месяц	Текущее состояние риска	Тенденция

ление данными критическими рисками.

Пятый этап – разработка методов управления выявленными рисками.

Шестой этап – это мониторинг и контроль за процедурами управления рисками.

Для того чтобы менеджеры смогли управлять процессом риск-менеджмента по всему предприятию, необходимо установить формальную систему управления рисками. Система будет сопоставлять каждый риск с соответствующими ключевыми показателями риска и критериями их приемлемости, которые будут детализировать текущий статус риска. Данный процесс будет являться как средством мониторинга рисков, так и подходом к оценке эффективности управления рисками.

В результате исследований предложен следующий алгоритм мониторинга рисков:

- Идентификация бизнес-целей на уровне всех подразделений.
- Определение рисков, угрожающих достижению каждой бизнес-цели соответствующих подразделений.
- Установление связей между выявленными рисками и бизнес-целями.
- Разработка ключевых показателей риска (КПР) для каждого риска, привязанного к каждой бизнес-цели подразделения.
- Разработка системы оповещения, т.е. разра-

ботка порогов / пределов для случаев, когда ключевой показатель риска достигает уровня, при котором он вызывает определенное отклонение бизнес-целей подразделения.

Далее предложена типовая форма мониторинга и контроля рисков (табл. 2).

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что система управления рисками позволяет установить влияние рисков на достижение бизнес-целей, а также динамику и тенденцию изменения состояния риска для своевременного информирования менеджеров. Мониторинг рисков помогает своевременно отреагировать менеджерам предприятия и перераспределить ресурсы для управления данным риском.

Таким образом, проблема управления рисками не может быть эффективно решена набором отдельных мероприятий и услуг. Данная задача решается исключительно внедрением комплексной технологии управления рисками, затрагивающей все аспекты деятельности компании. В основе технологии должен лежать принцип, согласно которому ни одно бизнес-решение не может быть принято без осознания степени риска, адекватного принимаемому решению. Комплексное управление рисками должно являться неотъемлемой частью стратегического и оперативного управления любой компанией, стремящейся стать лидером на рынке.

УДК 65.012.2

Г. С. Сеничев, В. И. Шмаков, И. В. Виер, В. М. Салганик, А. М. Песин, В. В. Жлудов

## РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ЛОКАЛЬНОГО ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

Определение объемов и структуры выпускаемой металлопродукции является одним из ключевых направлений производственного планирования для металлургических предприятий. Данное направление предполагает выбор перечня номенклатурных позиций продукции, включаемых в производственный план, и соответствующих им объемов выпуска на планируемый период времени. В условиях благоприятной конъюнктуры рынка металлопродукции оптимизация структуры сортамента становится особенно актуальной и даже на уровне отдельных цехов и прокатных станов позволяет выявить и использовать существенные экономические резервы.

Совместными усилиями ученых Магнитогорского государственного технического университета и специалистов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» была разработана методика оптимизационного планирования, направленная на формирование локальных планов товарного выпуска\*, оптимальных по критерию маржинальной прибыли:

\* Реализация концепции производственного планирования на основе эффективного использования ограниченных / Г.С. Сеничев, В.И. Шмаков, И.В. Виер, В.М. Салганик, А.М. Песин, В.В. Жлудов. М.: Экономика, 2006. 212 с.

$$МП = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n q_{ij} (C_{ij} - ПЗ_{ij}) - СПЗ, \quad (1)$$

где *МП* – планируемая (расчетная) маржинальная прибыль от товарного выпуска для выбранного цеха (объекта локальной оптимизации), руб.; *q<sub>ij</sub>* – планируемый объем выпуска *i*-й номенклатурной позиции проката по *j*-му заказу, т; *C<sub>ij</sub>* – отпускная цена проката *i*-й номенклатурной позиции проката без НДС, руб.; *ПЗ<sub>ij</sub>* – величина удельных переменных затрат для *i*-й номенклатурной позиции проката по *j*-му заказу; *СПЗ* – общая сумма постоянных затрат на товарный выпуск по цеху; *m* – количество заказов на металлопродукцию цеха в плановом периоде; *n* – количество номенклатурных позиций металлопродукции, выпускаемой цехом.

Созданная методика основана на ранжировании номенклатурных позиций проката по показателю удельного маржинального дохода в час работы прокатного стана – «узкого места»:

$$МД_{ij}^{УМ} = МД_{ij} \cdot Пр_i^{УМ} = (C_{ij} - ПЗ_{ij}) \cdot Пр_i^{УМ}, \quad (2)$$

где *МД<sub>ij</sub>* – удельный маржинальный доход по *i*-й номенклатурной позиции проката, соответствующий *j*-му заказу, руб.; *ПЗ<sub>ij</sub>* – величина удельных переменных затрат, затраченных на производство металлопроката *i*-й номенклатурной позиции для *j*-го заказа, руб.; *Пр<sub>i</sub><sup>УМ</sup>* – производительность стана – «узкого места» при изготовлении *i*-й номенклатурной позиции проката, т/ч.

Показатель (2) в отличие от традиционного показателя рентабельности, широко применяемого в настоящее время в качестве критерия приори-

тетности продукции, имеет ряд преимуществ, позволяющих охарактеризовать его как технико-экономический показатель приоритетности:

- во-первых, он учитывает не только экономическую привлекательность изделий, но и производственные возможности предприятия по объемам и структуре их выпуска (через производительность агрегата с наименьшей пропускной способностью – «узкого места»);
- во-вторых, он рассматривает только переменную часть затрат, связанных с производством конкретного изделия, что соответствует принципам маржинального анализа и более адекватно отражает зависимость между объемами выпуска в разрезе сортамента и общей суммой затрат на производство.

Данный показатель используется в рамках разработанного локального оптимизационного алгоритма (рис. 1) в качестве критерия приоритетности включения конкретной позиции металлопроката в структуру планируемого товарного выпуска. При этом учитываются имеющиеся рыночные ограничения и условия действующих договоров с потребителями металлопродукции.

Обозначения:

*ДФВ<sub>УМ</sub>* – доступный фонд рабочего времени стана-«узкого места»;

*ТФВ<sub>УМ</sub><sup>Ф</sup>* – требуемый для производства подката для других цехов фонд рабочего времени стана-«узкого места»;

*ТФВ<sub>УМ</sub><sup>П</sup>* – требуемый для производства товарной продукции цеха фонд рабочего времени стана-«узкого места»;

*ДФВ<sub>УМ</sub><sup>П</sup>* – доступный для производства товарной продукции цеха фонд времени стана-«узкого места»;

*K<sub>УМ</sub><sup>3</sup>* – коэффициент загрузки «узкого места», определяемый как отношение требуемого и доступного фондов времени его работы (в данном алгоритме – фондов времени для производства товарного проката).

В рамках адаптации и внедрения разработанной методики планирования на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» был разработан программный модуль – автоматизированное рабочее место менеджера по сбыту (АРМ менеджера по сбыту). Данный модуль реализует рассмотренный алгоритм локального оптимизационного планирования и дает возможность эффективно управлять структурой планируемого товарного выпуска для выбранного цеха предприятия на основе ранжирования номенклатурных позиций металлопродукции по показателю (2).



Рис. 1. Алгоритм локального оптимизационного планирования ассортимента

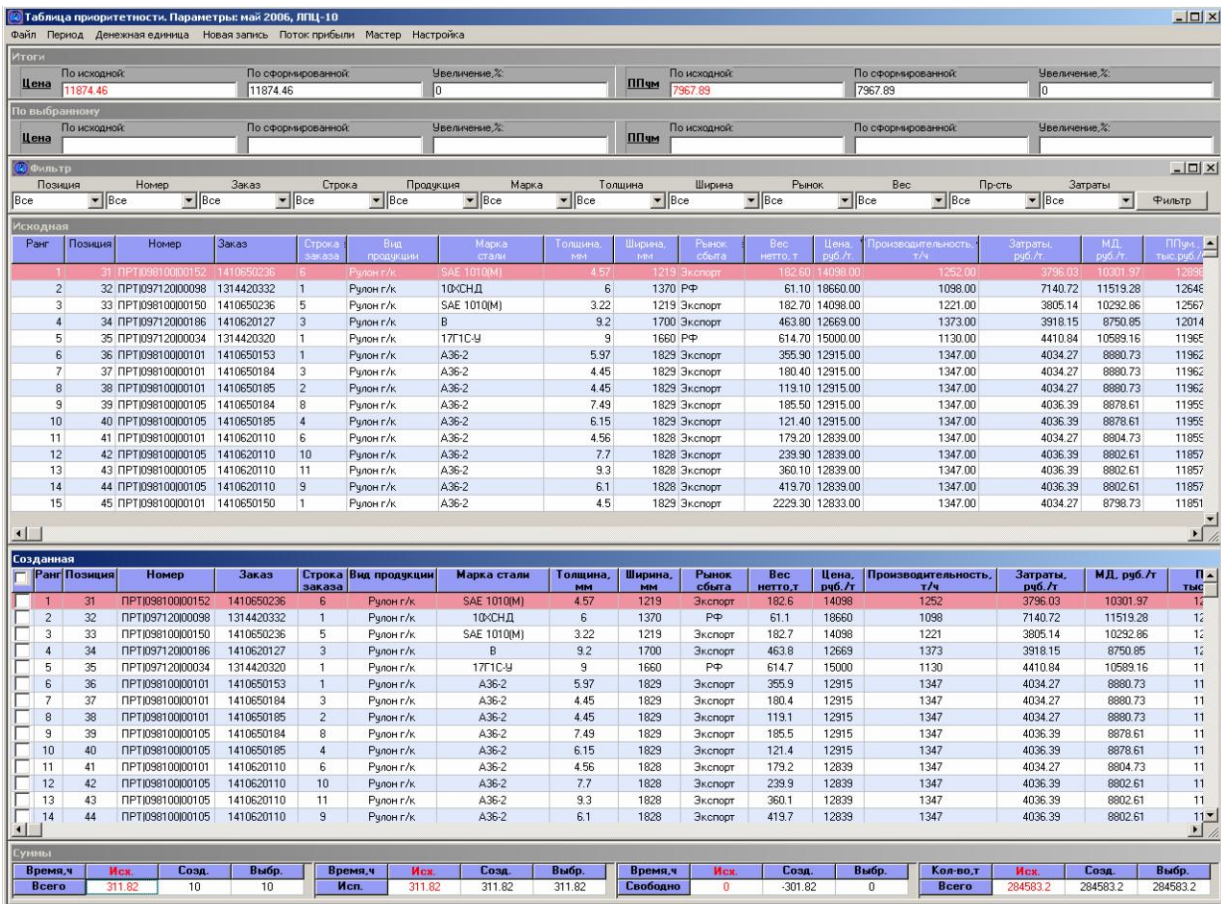


Рис. 2. Интерфейс основного рабочего окна АРМа менеджера по сбыту

Основное рабочее окно программы представлено на рис. 2.

Основные функции, реализуемые программным пакетом:

- расчет показателя (2) для позиций товарного проката, позволяющий количественно определить их сравнительную приоритетность (ранг позиции);
- изменение объемов позиций товарного проката, включаемых в производственную программу цеха (сокращение объема, увеличение объема, добавление новых позиций, удаление позиций), с учетом их сравнительной приоритетности и автоматическим пересчетом времени загрузки стана;
- изменение цен на позиции товарного проката, включаемых в производственную программу цеха (увеличение, уменьшение цены), с автоматическим пересчетом показателя (2) и ранга позиции;
- определение средневзвешенного удельного маржинального дохода по стану – «узкому месту» для оценки эффективности принимаемых решений по изменению объемов и цен отдельных позиций товарного проката:

$$MD_{VM}^{C.B.} = \frac{MP}{ДФВ_{VM}^{TP}}; \quad (3)$$

- автоматический пересчет цен на позиции товарного проката под заданный целевой уровень показателя (3);
- сравнение значений всех показателей текущего месяца с уровнем предыдущего месяца.

Указанные функции могут быть реализованы как для всей совокупности позиций товарного проката анализируемого цеха, так и для любой выделенной с помощью заложенной в программный пакет системы фильтров подгруппы позиций.

В ходе апробации разработанного программного модуля при формировании структуры товарного выпуска листопрокатного цеха № 10 ОАО «ММК» по стану 2000 горячей прокатки была подтверждена полезность и готовность разработанного программного пакета АРМа менеджера по сбыту для внедрения в практику работы сбытовых служб предприятия. Ожидаемый экономический эффект от применения разработанной программы при формировании структуры товарного выпуска только по одному цеху предприятия составляет около 50 млн руб. в месяц.



## ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ, ОБУЧЕНИИ

УДК 378

Г. С. Гун

## О ПРОБЛЕМАХ И ДОСТИЖЕНИЯХ ВУЗОВСКОЙ НАУКИ

Положение отечественной науки в последние годы, на мой взгляд, постоянно и неизменно ухудшается. Основные причины, без сомнения, связаны с политикой правительства и нашего министерства, с одной стороны, и инертностью, безразличием и патологической покорностью со стороны подавляющего большинства вузовских работников.

В этой статье я хочу поделиться с коллегами некоторыми размышлениями о проблемах вузовской науки и, вместе с тем, показать, что наша активная позиция и целеустремленная менеджерская научная деятельность позволяют решать серьезные научные задачи и выпускать качественных специалистов вопреки ухудшающимся с каждым годом финансированием и имиджем вузов страны.

«Сейчас, по данным Минобрнауки, профессию ученого считают привлекательной лишь 9% молодых людей, и только 3% выпускников вузов идут в науку. Средний возраст занятых в ней специалистов составляет 48 лет, средний возраст кандидата наук – 53 года, а доктора наук – 60 лет.

Глава Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Виктор Болотов привел обескураживающие результаты плановой проверки вузов и филиалов, проведенной ведомством в 2005 году: из 400 образовательных учреждений прошли эту процедуру совсем без нареканий лишь 39%. Почти столько же – 38% – получили серьезные замечания, т. е. практически не прошли аттестацию.

Средняя зарплата в образовании составляет сегодня 5959 рублей, или 66,3% от соответствующего показателя в экономике. Расходы на науку гражданского назначения составляют сегодня 1,7% от расходов федерального бюджета.

Посмотрите рейтинги мировых университетов – ТОП-500, так называемый Шанхайский рейтинг, и ТОП-200 – британский рейтинг лондонской Таймс. В первом случае МГУ занимает 67-е место, СПбГУ – 344-е, то есть в четвертой сотне, а во втором МГУ – 79-е, СПбГУ отсутствует, а Новосибирский государственный университет на 169-м месте. И все. Нет ни одного российского технического вуза. А американские Массачусетский и Калифорнийский технологические институты – в первой десятке азиатского и европейского рейтингов. С милли-

ардными бюджетами, сверхсовременным оборудованием, нобелевскими лауреатами и безупречной мировой репутацией. В первой полусотне ТОП-500 35 вузов США; пять вузов Великобритании, по два – Франции, Канады и Японии, а также по одному вузу Швейцарии, Нидерландов, Германии и Швеции. В ТОП-200 почти та же картина, но появились в первой полусотне вузы Австралии, Гонконга, Китая, Сингапура и Индии. Можно предположить, что рейтинги необъективные, но ведь даже при "неправильном" счете в первые 50 попали вузы из Сингапура, Китая и Индии. А российских нет. Поэтому надо признать эту реальность.

Объем финансирования государством бюджетного (бесплатного для обучающихся) образования не соответствует здравому смыслу. 20 тысяч рублей в год на студента (без учета стипендий и трансфертов сиротам и военным) – это откровенно мало. Государство как бы заранее заказывает подготовку плохого специалиста, потому что хорошего за такие деньги не подготовить. Когда у преподавателя есть надбавка в виде пенсии и минимизированы расходы на собственных детей, то еще как-то можно существовать. Но что делать 30–40-летнему доценту? Государству следует хотя бы утроить заработную плату, стипендии и расходы на содержание учебных корпусов и общежитий (включая противопожарные и антитеррористические мероприятия), а также, как минимум, в пять раз увеличить средства на модернизацию лабораторного и научного оборудования.» Я перечислил только несколько примеров, характеризующих ситуацию.

Положение отечественной науки сегодня чрезвычайно осложнилось. И связано это, прежде всего, с каким-то фатальным упорством министерского чиновничества к постоянному реформированию образования и науки. Централизованно финансировать вузовскую науку, как это было прежде, они прекратили фактически уже давным-давно. А то, что вопреки этому обстоятельству она продолжает развиваться, их почему-то не радует. Под предлогом реформирования выдвигаются все новые и новые показатели, которым обязаны соответствовать любые вузы, будь то столица или российская глубинка. И при

\* Данные и цифры – из материалов газеты «Поиск».



этом местные условия, возможности, специфика развития, традиции абсолютно не берутся в расчет. Постепенно возникает ситуация, когда периферийные вузы в сравнении со столичными оказываются в крайне невыгодном положении.

В министерстве, судя по всему, возникло мнение, что, поскольку металлургия сейчас в руках акционеров, то есть в частной собственности, эти предприятия и должны платить «своим» вузам, финансировать их научную деятельность. Хотя механизм, как это должно происходить, государством не разработан. Какова тогда вообще роль государства?

Должна же быть какая-то государственная политика во всем и особенно по основным стратегическим направлениям, которые жизненно важны для страны. А у нас в России, где очень развита металлургия, нет даже теперь министерства по этой отрасли. То, что сегодня вкладываются средства в добывающую и транспортную промышленность, которые могут обеспечить за счет экспорта энергетических ресурсов быстрый доход, – весьма примитивное решение. Это путь слаборазвитых стран, являющихся, по сути, сырьевым придатком крупных государств. А впереди всегда те, кто думают о развитии страны комплексно, как, например, Япония.

При таком комплексном подходе очевидным становится, что, например, культура, образование, наука – это такие инновационные сферы, которые не дают скорого эффекта. Но, в конце концов, именно они приносят самые весомые плоды. Финансирование этих сфер – это, по сути, перспективное вкладывание денег, долгосрочное кредитование благополучия страны. Сегодня может что-то и удастся «выжать» из того, что государство экономит на науке, машиностроении и так далее, зато через десять, пятнадцать лет начнет проявляться то, что придется восполнять столетиями. Разрушается очень быстро, а восполнить это практически невозможно.

В связи с этим мне вспоминается такой пример из недалекого прошлого, когда наша страна, тогда СССР, первой покорила космос, опередив американцев. Президент США, сенат, руководство Америки были в шоке. Они считали свое государство передовой державой, и вдруг коммунистическая страна, что за «железным занавесом», опередила их в самом престижном направлении. Была создана представительная комиссия, чтобы определить, что произошло. Она выяснила, что в то время СССР тратил средств на образование больше американцев. И тогда резко возросли вложения США в образование и науку. Наши же, наоборот, стали постепенно снижать. А сейчас и вовсе.... Американцами, кстати, двигали не только экономические, но и патриотические соображения.

Второй был вывод – наука должна развиваться в различных университетах, а не сосредотачиваться на базе отдельных, избранных. Должна быть создана обстановка нормальной конкуренции, равных условий для всех. Тогда возникает творческий обмен, прорывы какие-то, потому что талантливые люди есть везде.

В нашем правительстве с упорством будируется идея сокращения вузов, полагая, очевидно, что центральных и областных будет достаточно. Но кто из выпускников этих вузов поедет работать в периферийные города? Никто и никогда по доброй воле не поедет! А, во-вторых, вся политика министерства образования и науки сегодня сводится к тому, что все средства перемещаются в центры. Почему вдруг его чиновники перестали признавать своеобразие и преимущества научной деятельности ученых не только столичных, но и периферийных вузов? Ведь они существуют! В центре, где действуют академические институты, академия наук, где обеспечено профессиональное общение на самом высоком уровне, исторически созданы благоприятные условия для развития научных школ, здесь особенно сильно фундаментальное направление. А наше преимущество в том, что мы на местах хорошо знаем актуальные проблемы конкретных предприятий, постоянно занимаемся их решением. У нас для этого созданы все предпосылки – поскольку мы технический университет, здесь собраны специалисты самых разных направлений, поэтому любую задачу мы можем решить комплексно. Создается творческий коллектив, в котором, исходя из поставленной цели, работают, например, экономисты, металлурги, механики, автоматчики. Такими группами специалистов можно всесторонне изучить и решить любую проблему. Причем к такой работе, как правило, мы подключаем и студентов. Это лучшая школа для молодых, и кроме вуза нигде больше так организовать научное исследование невозможно. Неслучайно поэтому наш вуз во всероссийском рейтинге специальностей занял первое место по «электрометаллургии и литейному производству» и «обработке металлов давлением», второе – по «стандартизации и сертификации» и третье – по «порошковой металлургии». Это все чисто металлургические специальности, и основные показатели здесь были научные. А сейчас их хотят изменить, «подогнать» под Москву, и мы не сможем с ними конкурировать. Просто хотят отовсюду «оттолкнуть» периферию. А в результате страна может оказаться у «разбитого корыта». Ну какая в самом деле, например, в вузах Москвы металлургия?! Их выпускники не идут по специальности – они там по банкам, по фирмам столичным «разбегаются».

А нам знание актуальных проблем производства позволяет квалифицированно вести и обра-

зовательный процесс. Наши студенты фактически проходят подготовку целевую, настоящую, то есть они сразу ориентированы на решение актуальных проблем, которыми занимаются вначале в курсовой, затем в дипломной работе. А если поступают в аспирантуру, то продолжают ее решать на уровне кандидатской диссертации. Поэтому когда наши выпускники идут молодыми специалистами на предприятия или остаются у нас, в вузе, то они уже всесторонне подготовлены по определенной проблеме: у них есть и широкая вузовская подготовка, и узкая направленность по конкретному кругу злободневных вопросов. Это идеальный вариант, оптимальное сочетание, к которому все стремятся, но не везде для этого есть соответствующие условия. Это бесспорное наше преимущество перед Москвой и другими центрами, и его нельзя игнорировать. Существовала, например, такая практика ведения государственных программ. Министерство поручало выполнение той или иной программы головному по этой тематике вузу. Но обязывало при этом работать в творческом содружестве с учеными соответствующих периферийных вузов, которые ближе к практике и проблеме знают, как говорить, изнутри. Таким образом, мы, представители таких вузов, как соискатели получали определенный процент средств на выполнение своей части работы по программе. Это хорошее, проверенное временем сочетание, от которого все выигрывали – мы в процессе общения профессионально обогащали друг друга, рационально деля между собой какие-то функции. При этом столичным ученым не приходилось по каждому поводу ездить на место – все необходимое делали мы. Это очень хорошая форма работы, и почему бы ее ни продолжить? Только все это государство должно регулировать. А когда оно фактически отдает деньги центру, тогда при наличии нескольких тем размером в четыре–пять, а то и более миллионов такой вуз может жить припеваючи, безбедно. В то время как мы на местах за каждый мизерный научный хозяйственный договор бьемся. А получив, не знаем, как делить эти «смешные» деньги между исполнителями. Причем в наше время все растет: цены на товары, услуги, заработки, но неизменными остаются расценки на хозяйственные научные договоры с предприятиями. Более того, экономисты некоторых предприятий требуют от нас – обоснуйте, мол, каждый этап, а мы заплатим вам через год после того, как вы тему сделаете. Без авансов, предоплат.... Кто же сегодня так работает? Да никто и нигде! Существуют естественные неизбежные затраты при выполнении темы, начиная с канцелярских расходов и заканчивая лабораторными установками. Где на все это деньги брать?

Другие додумываются предложить – вы все сначала сделайте, а мы потом посмотрим, как оплатить. И вот мы бьемся, объясняем, доказываем – за совершенно смешные деньги, честное слово. Тем более, что такое отношение исходит не от верхнего эшелона менеджеров, они-то, как раз, наоборот, демонстрируют нормальный, государственный масштаб мышления. Не склонные на непродуманную трату средств, они очень внимательно участвуют в обсуждении наших предложений, вдумываются в наши объяснения, и в конце концов мы приходим к соглашению. Но, когда опускаемся на уровень служб некоторых предприятий, встречаемся с непомерным апломбом, отсутствием понимания и даже желания понять.

Министр А.А. Фурсенко просто не слышит нас. Министерские чиновники. Оказывается, лучше нас знают о наших плюсах и минусах, бедах и проблемах, путях выхода из них. Они готовы диктовать нам во всем, в каждом шаге, совершенно не считаясь с нашим мнением, с конкретными условиями, с интересами страны, с национальными традициями, наконец. Они хотят создать для периферийных вузов невозможные для нормальной жизнедеятельности условия – разработать такую шкалу аттестационных показателей, которая для нас оказалась бы невыполнимой. Так, уже убрали такой критерий, как наличие докторантуры, намерены отказаться от уровня эффективности работы диссертационных советов и аспирантуры, которые в нашем вузе традиционно выше средних по России. В то же время в ряде московских вузов эффективность аспирантуры по некоторым специальностям нулевая, а защит в советах проходит мизерное количество. Не поэтому ли сейчас муссируется идея вообще «перетасовать» все советы в центр? Но ведь защищаться в «чужих» вузах – это тяжело психологически и дорого. Я уже не говорю о том, что у нас накоплен богатейший опыт по подготовке кадров высшей квалификации в своих стенах. Мы очень тщательно работаем над диссертациями, чрезвычайно требовательны и к содержанию, и к оформлению. У нас опытные, профессионально действующие многие годы советы, разве разумно от них отказываться?

В нашем вузе реализована стройная эффективная система повышения квалификации работников предприятий – подготовка докторов и кандидатов наук. Основными подразделениями, которые занимаются этой работой, являются отдел аспирантуры, докторантуры и диссертационных советов и впервые созданный в вузах России факультет послевузовской профессиональной подготовки. В МГТУ разработана и реализована специальная аттестационная система аспирантов, последние годы эффективность аспирантуры находится на уровне 42–45% (против указанного Ми-

нобразования РФ науки – 25,4%). Только в ОАО «ММК» – основном потребителе специалистов МГТУ защитили докторские и кандидатские диссертации свыше 100 специалистов. Темы диссертаций, в отличие от большинства защищаемых в московских вузах, актуальны, максимально приближены к реальности, приносят внушительные экономические эффекты при внедрении результатов.

Меня, как и моих коллег, просто потрясла телевизионная встреча министра Минобразования и науки с Президентом В.В. Путиным. Фурсенко на полном серьезе заявил, что вузы приоритетно должны заниматься бизнесом. Дальше – больше: он изрек, что существующие критерии аттестации, среди которых есть такие, как число опубликованных монографий, количество преподавателей, имеющих ученые степени и звания и др., следует пересмотреть. И ввести, например, в оценочный показатель вуза уровень заработной платы его выпускников в первые три года после его окончания. Но разве этот критерий может свидетельствовать о качестве подготовки специалистов? В таком случае в «штрафниках» окажутся все вузы, выпускники которых идут работать в бюджетную сферу, где уровень заработной платы крайне низок. И кто в этом виноват? Наш министр создает впечатление о себе, как о человеке, далеком от науки и образования. Концепция реформы, как нам известно, разрабатывалась московским частным вузом экономического профиля. Но ведь это люди, работающие совершенно в иной сфере, нежели государственные учебные учреждения. По всему, что сейчас делается Министерством, чувствуется непрофессионализм, а ведь это серьезнейший показатель уровня развития всей страны. С 2007 г. набор в вузы на инженеров прекращен, будем готовить бакалавров по направлениям в течение 4-х лет. Если их массово готовить, то где они будут работать? На производстве? Но заказчики не имеют понятия, что такое «бакалавр».

А вместе с тем, союз ректоров, учитывая и Болонские декларации, и национальные традиции, предлагает ввести многоуровневую подготовку: бакалавр–специалист–магистр. Это более гибкая система – бакалавр после завершения обучения может пойти работать, если будет востребован, либо продолжит обучение по заинтересовавшему его направлению как специалист. Тогда и магистратура, и аспирантура для него – уже не заоблачные мечты, а осязаемая реальность. Специалист – он всегда будет востребован нашей промышленностью. И не надо будет ставить подготовку такого штучного «товара», как магистр, на поток, а как и положено выпускать их только для будущей научной и преподавательской деятельности.

Болонский процесс не имеет цель разрушить национальные образовательные традиции, а лишь привести в соответствие по определенным общим критериям выпускные документы для их свободного хождения в создаваемом общеевропейском пространстве высшего образования. Поэтому непонятно такое буквальное его понимание нашими министерскими чиновниками. Ведь что для России значит специалитет? Это и все специальные выпускающие кафедры, и прикладная наука, и широкая когорта маститых ученых. Перечеркивая же специалистов, тем самым министерство перечеркивает и это национальное достояние.

Все больше проблем у «периферийных» вузов становится с аспирантурой. Не секрет, что в ряде ведущих вузов Москвы и С.-Петербурга по многим специальностям эффективность аспирантуры нулевая или близкая к нулевой. Это и естественно, где же, скажем, выполнять исследовательские работы по актуальным проблемам металлургии, как не в Магнитогорске, Череповце, Липецке, Новокузнецке. Кто может лучше оценить такие работы, чем члены диссертационных советов – металлурги, сами постоянно занимающиеся и владеющие информацией о состоянии производства. Закрытие советов либо перенос их в столичные вузы, без сомнения, ухудшит уровень диссертационных работ. В последнее время резко усилилась тенденция централизации научных государственных средств (программы, гранты) в столичных вузах, мы видим это на примере ряда вузов и «периферийных» городов. Это не способствует развитию прикладной науки. Правильнее было бы подключать больше научных школ к решению проблем производства, от этого были бы в выигрыше все.

Вот некоторые показательные примеры нововведений сверху.

По требованиям ВАК (Высшая аттестационная комиссия, утверждающая диссертации), результаты докторских работ должны быть опубликованы в нескольких статьях в утвержденном ВАК списке журналов и изданий; результаты кандидатских диссертаций должны быть опубликованы хотя бы в одной статье того же перечня. Теперь простые наглядные рассуждения. В 2005 году защищено в России 35 тысяч кандидатских и докторских диссертаций. В настоящее время перечень изданий, утвержденный ВАК, содержит 1050 наименований по всем специальностям. Дано указание сократить количество изданий в 2006 г. втрое, т. е. до 350. Значит, в каждом журнале, выходящем 12 или 6 раз в году, а то и меньше, должно быть примерно 100 публикаций только жаждущих защиты. Это нереально и смешно. Возникает ситуация – подготовлена добротная диссертация



ция с проработанными идеями, экономическим эффектом, но не смог (не успел, не заплатил, не дождался очереди и т.п.) соискатель опубликовать хотя бы одну работу в «злополучном перечне» и жди. Это что же таким образом мы стимулируем науку и поднимаем качество исследований?

Второй пример. В 2006 году введен новый аттестационный показатель – отношение количества аспирантов на 100 студентов приведенного контингента, который должен быть равен 4 (до 2006 г. – 2). Этот показатель практически недостижим для подавляющего числа вузов и не зависит от нашей работы, ибо план по приему аспирантов нам спускают сверху и каждый год сокращают.

Вот некоторые сведения из приказа № 449 от 26 мая 2006 г. о контрольных цифрах приема в аспирантуру вузов. Возьму только некоторые родственные технические университеты: Липецкий – 24 человека. Череповецкий – 48, Пермский – 52, Московский авиационно-технологический (МАТИ) – 49, МИСиС – 89, Красноярский – 6, МГТУ им. Г.И. Носова – 69.

А у наших коллег из МаГУ еще хуже ситуация. Вот только некоторые классические университеты: ЮУрГУ (г. Челябинск) – 90 человек (сейчас бывший ЧПИ – самый крупный вуз России – 55000 студентов), Челябинский государственный университет – 71, Уральский государственный университет (г. Екатеринбург) – 78, Оренбургский государственный университет – 76, МаГУ – 26.

Разве можно выполнить новый аттестационный показатель, не сократив в несколько раз контингент студентов?

Если же у государства сегодня нет необходимых средств на финансирование высшего образования, и оно не желает тратить деньги на подготовку специалистов для предприятий, которые в большинстве своем стали частными, то можно найти другие способы. Например, позволить включить расходы на подготовку кадров в затратную часть предприятий или ввести целевое распределение выпускников с оплатой их обучения потребителями, или предоставлять беспроцентные кредиты, или что-то другое. Главное, попытаться сохранить гордость российского образования – подготовку квалифицированных инженерных кадров. Ведь не отказываются от этого такие страны-участницы Болонского соглашения, как Германия, Бельгия, Австрия, Польша и другие! Истинно демократический подход должен позволять вузу самому выбрать стратегию и тактику образования, ибо сам вуз отвечает за качество своей продукции – выпускников.

Вопреки реальной ситуации в образовании и науке России наш вуз продолжает динамично

развиваться и укреплять свои научные рубежи.

Прежде всего, МГТУ сохраняет и улучшает кадровый состав научно-педагогического коллектива. Научная элита университета – В.М. Салганик, В.Д. Черчинцев, Ю.С. Артамонов, В.В. Чукин, В.А. Харитонов, С.П. Васильев, Ю.В. Жиркин, М.В. Чукин, И.Ю. Мезин и многие другие ученые показывают прекрасные научные результаты, эффективно проводят исследовательские работы.

Востребованность выпускников МГТУ и процент работающих по специальности достаточно высоки, чем не могут похвастаться большинство столичных вузов и вузов областных городов. Мы гарантированно выполняем требования заказчиков (свидетельство – опыт совместной работы с Магнитогорским металлургическим комбинатом по оценке выпускников) по качеству подготовки, набору изучаемых дисциплин, знанию иностранного языка. Один из основных потребителей выпускников МГТУ – ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» в составе своего инженерного корпуса имеет 93% выпускников МГТУ.

Университет ежегодно выполняет большой объем научно-исследовательских работ по хозяйственным договорам с промышленностью. В целом по вузу он составил: в 2002 году – 8398,75 тыс.руб.; в 2003 году – 10100 тыс.руб.; в 2004 году – 18600 тыс.руб.; в 2005 году – 30800 тыс.руб.; в 2006 году – 60000 тыс. руб., т. е. за 5 лет объем работ вырос в 7 раз.

Высокий уровень научных исследований и энергичная работа позволила университету выиграть с 2002 года более 260 грантов по различным разделам фундаментальных исследований, в том числе 200 грантов, учрежденных Правительством Челябинской области.

В Магнитогорске работал ВНИИМЕТИЗ – единственный в СССР исследовательский институт, обслуживающий десятки метизных заводов страны. Университету при развале ВНИИМЕТИЗа удалось перевести в вуз и сохранить кадры и нормативно-техническую документацию, а затем организовать единственную в России по метизному направлению «Ассоциацию стандартизации, сертификации, контроля качества продукции и услуг», в рамках которой организованы аккредитованные государством подразделения, осуществляющие контроль качества в металлургической отрасли, а также совместную деятельность в этой сфере с Украиной и Белоруссией через Межгосударственный технический комитет по стандартизации «Метизы», аккредитованный при МГТУ. Наличие при МГТУ органов государственного уровня позволило открыть специальность 200503 «Стандартизация и сертификация» на двух кафедрах со специализацией «Металлургия»





и «Машиностроение». По рейтингу качества 2003 года среди всех 59 кафедр России, выпускающих эту специальность, МГТУ занял 2-е место. Открыта специальность «Стандартизация и сертификация (в пищевой промышленности)».

Издательский центр университета вошел в тридцатку лучших издательств и издающих организаций учебных заведений России, выпускающих 100 и более названий книг и брошюр.

В отличие от столичных вузов нам достаются крохи от федеральных средств и мы зарабатываем деньги сами с высокой инновационной эффективностью.

Согласно стратегической программе развития вуза в МГТУ развернута деятельность 69 научно-инновационных структур, в том числе 55 подразделений (80%) создано в 2005–2006 гг. Из 69 подразделений системы научно-инновационной деятельности 25 структур (36,5%) работают на международном, федеральном и региональном уровне, 29 структур (42%) – на городском) (см. рисунок).

Приоритетные области инновационной деятельности:

- качество образования, НИР, промышленной продукции и услуг населению;
- экологическая ситуация в городе, регионе, стране, оказывающая крайне неблагоприятное воздействие на здоровье нации и техническое состояние автомобильного парка страны.

По инновационным разработкам, ноу-хау специалистов университета с кадровым обеспечением деятельности в 2006 году работает 31 фирма, образованные и возглавляемые в основном профессорско-преподавательским соста-

вом МГТУ, с количеством рабочих мест непосредственно в фирмах – 2000.

Инновационные разработки университета в 2006 году награждены 19 медалями и дипломами Международных салонов инноваций и инвестиций, в том числе 5 серебряными медалями (г. Москва), бронзовой медалью лауреата (г. Женева), дипломом «Золотой Архимед» (г. Москва), 2 дипломами Роспатента первой и второй степеней. В рамках областной целевой программы «Развитие инновационной деятельности Челябинской области на 2005–2007 годы» ГОУ ВПО «МГТУ» выиграло 6 грантов. В октябре 2006 года на XI Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» мы выступили очень успешно. В конкурсе на лучший инновационный проект из 15 наших разработок участвовало восемь. И все они вошли в призеры: три получили дипломы I степени и золотые медали, а пять – дипломы II степени и серебряные медали!

Кроме того, при университете успешно функционируют электротехническая лаборатория, лаборатория автомобильного транспорта.

Большую значимость приобрела испытательная лаборатория нефтепродуктов (аккредитована в 2005 году), которая осуществляет мониторинг качества нефтепродуктов, участвует в проведении арбитражных споров.

При поддержке Магнитогорского металлургического комбината, администрации и предприятий города градообразующее высшее учебное заведение – Магнитогорский государственный технический университет остается ведущим отраслевым вузом страны.

УДК 316.354.001573:658.01:669.013

В. В. Бринза, В. В. Хван, А. В. Коровин

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВНУТРЕННИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗВИТИЯ ИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ**

Современный металлургический комплекс страны объединяет не только собственно совокупность производств по выпуску металлопродукции широкого марочного и профилевого сортамента, поставщиков сырья и оборудования, рынки потребителей, но и отраслевую науку, а также инфраструктуру подготовки кадров. В сфере металлургии и смежных направлениях экономики трудятся многие сотни тысяч работников. Большинство отечественных металлур-

гических предприятий являются градообразующими. Масштабы социальной ответственности отрасли требуют соответствующего развития ее социальных структур.

В настоящее время к исследованию сложных социальных систем и социальных организаций, как правило, привлекаются методы гуманитарных и социально-экономических исследований. При этом общепринятыми, наиболее часто применяемыми подходами являются экономический, со-

циологический, психологический и политико-правовой [1]. Разносторонние результаты, полученные на основе перечисленных подходов, характеризуют многосоставную сущность рассматриваемых сложных систем, однако в силу различий понятийного аппарата, требований к характеру и объему информации, отображающей их функционирование, существования значительной неопределенности в описании систем объединенное междисциплинарное представление о закономерностях их развития затруднено. Это существенно сдерживает возможности системного анализа социальных организаций, получение прогнозов их развития и, как следствие, достижение условий наиболее эффективного функционирования. С другой стороны, специфика системобразующих факторов социальных систем [2], определяемая субъективным действием коллективного человеческого фактора (наличие общей цели для всей совокупности составляющих элементов, осознание элементами своих задач и понимание общей цели, выполнение каждым элементом своих функций, обусловленных поставленными задачами, наличие субординации и кооперации между компонентами системы, существование обратных связей между управляющей и управляемой подсистемами и т.д.), ограничивает их однозначное отображение прямыми объективными количественными индикаторами. Отмеченные особенности не позволяют в полной мере использовать возможности не только гуманитарного подхода, но и наиболее часто используемых в ходе системного анализа сложных структур методов многомерной статистики, имитационного моделирования, исследования операций, социодинамики и других. Квалиметрия, метод управления качеством и процессный подход, обеспечивая решение практических задач повышения конкурентоспособности, пока еще не нашли широкого применения в программах перспективного развития социальных систем, открытыми для этих подходов остаются и вопросы учета разнородных влияний на сложные социальные системы со стороны факторов внешней среды.

На этом фоне перспективным для комплексного исследования сложных социальных систем представляется метод качественного моделирования [3]. Достоинствами метода являются небольшой объем необходимой информации о механизмах взаимодействия отдельных составляющих в моделируемой системе, возможность рассмотрения данной системы в целом, простота описания динамических процессов изменения ее элементов, использование различных типов переменных величин (имеющих как числовую, так и нечисловую природу), быстрота получения результатов, удобство их интерпретации, гибкая структура модели, легкость ее дополнения и перестроения. Метод базируется на аппарате взвешенных ориентированных графов с импульсной составляющей, рас-

сматриваемых в дискретной математике. В рамках данного метода учет вышеуказанных особенностей социальных систем обеспечивается привлечением экспертной информации для построения графов. При этом объективизация получаемых экспертных знаний достигается за счет привлечения к экспертизе высококвалифицированных специалистов, в наибольшей степени информированных о рассматриваемой сложной социальной системе, максимальной формализации процедуры извлечения экспертной информации, обеспечения конфиденциальности результатов работы экспертов, объединения частных экспертных мнений в согласованные коллективные оценки, количественной интерпретации результатов, исключения условий непосредственного влияния экспертов на результаты моделирования. Примеры приложения метода к моделированию сложных социальных и организационно-технических систем, имеющих отношение к производственной, научной и образовательной составляющим металлургического комплекса, приведены в [4–7]. Практические результаты этих работ достаточно полно характеризуют среднесрочную прогнозную динамику развития основных составляющих исследуемых систем как для действующего, так и для множества альтернативных сценариев. Однако отображение особенностей структуры каждой системы при реализации метода во многом ограничено ее когнитивной картой [8], которая представляет прямые влияния отдельных составляющих элементов друг на друга, наличие или отсутствие контуров взаимосвязанных элементов, степень устойчивости всей системы. Вскрытие внутренних закономерностей совместного изменения рассматриваемых элементов затруднено из-за наличия их взаимосвязанных временных трендов. В этой связи для расширения возможностей метода качественного моделирования целесообразным является его дополнение процедурой устранения трендов и преобразования выделяемой при этом информации, характеризующей остаточное изменение факторов рассматриваемой системы относительно трендов, с целью определения внутренних закономерностей во взаимодействии ее структурных составляющих. Содержательность информации распределения остатков величин различной природы, изменяющихся во времени, убедительно продемонстрирована в [9].

В данной работе преимущества подобного дополнения к методу качественного моделирования оценены по отношению к одной из ключевых социальных структур металлургического вуза – студенческому городку. Ведущие отечественные высшие учебные заведения металлургического профиля традиционно привлекательны для молодежи многих промышленных регионов, что формирует повышенную востребованность вузовских общежитий. С другой стороны, качество условий проживания в общежитии студентов, аспирантов,

докторантов, а зачастую и сотрудников организаций – партнеров, полнота предоставляемого им сервиса во многом определяют конкурентоспособность учебных институтов на рынке высшего профессионального образования. Поэтому определение внутренних закономерностей во взаимодействии составляющих данной социальной системы, устранение их негативных взаимовлияний и усиление позитивных связей, способствующих повышению эффективности ее функционирования, является актуальной задачей.

Рассмотрение особенностей функционирова-

ния общежитий ряда ведущих российских вузов показало, что в наиболее развитых студгородках наряду с направлениями непосредственно текущего обслуживания проживающих (работой инженерной службы и материально-технического обеспечения) серьезное внимание уделяется организации питания проживающих, профилактике заболеваний, спортивным и физкультурно-оздоровительным услугам. Развита культурно-воспитательная работа. Активна служба психологической поддержки. Практикуются многочисленные мероприятия по обеспечению безопасности проживающих и сохранности имущества общежитий. Совершенствуется коммунально-бытовое обслуживание, учебно-информационные услуги и другие. Достаточно полный перечень основных элементов инфраструктуры студгородка Московского государственного института стали и сплавов (Технологического университета) представлен в **табл. 1**.

Разработка математической модели развития студгородка с позиции системного подхода обуславливает включение в ее структуру влияний внешней среды, к которым в литературе по теории и системологии организаций относят воздействие руководства этих организаций, поставщиков ресурсов, потребителей, конкурентов, государственных и муниципальных органов власти, а также общественные связи. Применительно к общежитиям МИСиС список факторов внешней среды приведен в **табл. 2**.

Для построения взвешенного ориентированного графа, отображающего в динамике импульсного процесса взаимовлияние основных направлений деятельности студгородка и влияние на них внешней среды необходимо определить вершины графа (факторы и показатели моделируемой системы), совокупность соединяющих различные вершины дуг и петель (связи между факторами и показателями). Требуется также задать дискретный временной шаг изменения составляющих модели, периоды запаздывания отдельных факторных влияний, а также исходные уровни составляющих и их исходных импульсов (начальные условия). К коллективной экспертизе структуры графа, отображающей деятельность студгородка МИСиС, были привлечены 5 руководителей и ведущих специалистов студенческого общежития. Обработка и обобщение результатов экспертизы показали, что граф моделируемой системы состоит из 36 вершин (факторов и показателей), взаимосвязанных 256-ю дугами и имеющих 23 петли. При этом определено, что безинерционными являются 112 факторных воздействий, инерционность, продолжительность один год присуща 144 воздействиям, два года – 22 воздействиям, а максимальную инерционность, равную трем годам, продемонстрировало 1 воздействие. Получено, что среди всех воздействий 15% имеет отрицательный характер, а 85% –

**Таблица 1**

**Перечень основных элементов инфраструктуры студгородка МИСиС**

Наименование групп составляющих элементов	Обозначение элемента	Наименование элемента
Административный потенциал студгородка	X1	Централизованное управленческое воздействие руководства студгородка
	X2	Финансовые ресурсы студгородка
	X3	Система менеджмента качества
	X4	Развитие форм самоуправления и другой деятельности на общественных началах
	X5	Нормативно-правовое обеспечение
	X6	Информатизация бизнес-процессов в студгородке
Кадры	X7	Численность работников студгородка
	X8	Квалификация персонала
	X9	Мотивация персонала
Обеспечение жилищно-бытовых условий	X10	Уровень текущего обслуживания проживающих (в т.ч. функционирование инженерной службы, материально-техническое обеспечение и т.д.)
	X11	Организация питания проживающих
	X12	Профилактика заболеваний, в т.ч. на базе профилактория
	X13	Объем предоставляемых спортивных и физкультурно-оздоровительных услуг
	X14	Организация досуга, культурно-воспитательная работа, деятельность службы психологической поддержки
X15	Мероприятия по обеспечению безопасности проживающих в студгородке и сохранности имущества	
Материальная база	X16	Объем студенческого гостиничного хозяйства и уровень гостиничных услуг
	X17	Ресурсы студгородка по площадям
	X18	Аренда помещений и оборудования студгородка
	X19	Внедрение мероприятий по ресурсосбережению и повышению комфортности проживания (автономные скважины, котельные и т.д.)
Дополнительная инфраструктура услуг	X20	Коммунально-бытовое обслуживание (ателье, химчистка, магазины, парикмахерские, камера хранения, связь и т.д.)
	X21	Уровень учебно-информационных услуг (библиотека, Интернет, комнаты для занятий и т.д.)
Имидж студгородка	X22	Имидж студгородка



положительный характер. Экспертные оценки интенсивности факторных воздействий, исходных уровней факторов и показателей, а также их исходных импульсов преобразовывали в количественный вид с использованием специально разработанных тарировочных графиков, имевших вид логистических кривых. При этом среднему уровню оцениваемых факторов и показателей присваивали значение 1,00, уровни «выше среднего» или «ниже среднего» в числовом виде соответственно принимали значение больше или меньше единицы. Среди составляющих моделируемой социальной системы исходный уровень, превышающий 1,00, имели 18 факторов, характеризующих направления деятельности студгородка и воздействия внешней среды, уровень развития 1,00 – 1 фактор, а уровень меньше 1,00 – 16 факторов. Положительные исходные импульсы получены для 21 фактора, а отрицательные импульсы – для 9 факторов. Для остальных 5 факторов выявлены нулевые импульсы.

Перечисленные характеристики построенного взвешенного ориентированного графа свидетельствуют о многозначности связей между различными направлениями деятельности моделируемой им социальной системы, существенных отличиях уровней развития составляющих, множественности различных по характеру воздействий на нее факторов внешней среды. Необходимость принятия эффективных управляющих решений обуславливает высокие требования к уровню руководства рассматриваемой системой. В этой связи представляется важным, что математическая модель, базирующаяся на построенном ориентированном взвешенном графе, может быть использована не только для определения структурных особенностей моделируемой сложной социальной системы, но и в качестве средства поддержки управленческой практики ее функционирования.

Однако применение с этой целью результатов моделирования должно проверяться доказательством адекватного отображения ими реальной динамики развития рассматриваемого социального вузовского комплекса. Учитывая фактическую невозможность прямого определения степени достоверности прогнозов, получаемых на основе математической модели, о достоверности результатов в данном случае можно достаточно уверенно судить по совокупности косвенных признаков. В данной работе подобными признаками служили:

- непротиворечивость получаемых прогнозных результатов очевидным взаимовлиянием элементов рассматриваемой организационной структуры;
- сходимость значений результатов для заданного периода прогнозирования при уменьшении интенсивности дополнительных корректирующих изменений исходных данных;

- устойчивость модели, оцениваемая абсолютными приращениями результатов или относительными приращениями их значений по отношению к приращению факторов.

Исследования подтвердили реалистичность получаемых с помощью разработанной математической модели прогнозов развития студенческого вузовского городка, что открывает широкие возможности для системного анализа данной социальной системы.

В этой связи результаты моделирования показали существенную зависимость основных структурных составляющих в пределах среднесрочного прогнозного периода от времени (табл. 3). Большинство из направлений деятельности студгородка при сохранении действующих особенностей менеджмента и характера влияния факторов внешней среды демонстрирует монотонный рост

Таблица 2

**Список факторов внешней среды, оказывающих влияние на вузовский студгородок**

Наименование групп факторов внешней среды	Обозначение фактора	Наименование фактора внешней среды
Влияние руководства вуза на деятельность студгородка	X23	Степень управленческого воздействия на студгородок руководства института
	X24	Система менеджмента качества института
Поставщики ресурсов	X25	Разовые поставщики
	X26	Постоянные поставщики
Потребители	X27	Постоянные потребители, проживающие в студгородке (студенты очного обучения)
	X28	Постоянные потребители, проживающие в студгородке (аспиранты, докторанты, семейные студенты)
	X29	Разовые потребители жилья в студгородке (студенты заочного отделения, абитуриенты, слушатели краткосрочных курсов)
	X30	Удовлетворение дополнительных потребностей сотрудников организационных партнеров вуза в услугах, предоставляемых студгородком
	X31	Внешние потребители инфраструктуры услуг студгородка
Конкуренты	X32	Московские вузы, имеющие студгородки
	X33	Частный рынок свободного жилья
Государственные и муниципальные органы власти	X34	Действующая законодательная и нормативно-правовая база, регламентирующая деятельность студенческих общежитий
	X35	Сотрудничество с городскими властями и властью муниципальных образований по вопросам, связанным с функционированием и развитием студгородка

вне зависимости от уровня, зафиксированного в начале моделирования. К ним относятся элементы  $X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{21}$ . При этом в наибольшей степени прогнозируется развитие системы менеджмента качества ( $X_3$ ), квалификации персонала ( $X_8$ ), организации питания проживающих ( $X_{11}$ ) и уровня учебно-информационных услуг ( $X_{21}$ ). Соответственно отмечается и значимая перспективная положительная динамика интегрального показателя эффективности деятельности студгородка – его имиджа ( $X_{22}$ ). Однако отмеченный рост не для всех перечисленных составляющих деятельности является гарантией их высокого уровня к концу прогнозируемого среднесрочного периода. Итоговая прогнозная величина элементов  $X_6, X_{12}, X_{14}$  свидетельствует о необходимости изыскания дополнительных возможностей для их более интенсивного роста. Интенсивное развитие перечисленных составляющих элементов инфраструктуры рассматриваемого социального комплекса обуславливает значимое увеличение расходов, что проявляется в уменьшении уровня величины  $X_2$ , скорость изменения которого в течение краткосрочного периода отмечена достаточно умеренной, но в дальнейшем ускоряется и к концу среднесрочного прогноза снижается до критической величины. Наряду с повышением в перспективе уровня большинства составляющих студгородка отдельные элементы его инфраструктуры демонстрируют существенное снижение. К ним

относятся  $X_5, X_{17}$  и  $X_{18}$ . Последние два из них отражают нарастание дефицита в площадях общежитий, которые уже в настоящее время не обеспечивают в полной мере возрастающих потребностей в жилье иногородних студентов и аспирантов вуза. Очевидно, решение этой проблемы выходит за рамки возможностей руководства студгородка. Следует также отметить, что ряду составляющих элементов характерно постоянство ( $X_1, X_{20}$ ) или незначительная немонотонная динамика изменения ( $X_{16}, X_{19}$ ). При этом, если для значений  $X_1$  и  $X_{19}$  отмечается устойчиво высокий достигаемый уровень, значительно превышающий среднюю величину, равную 1,00, то  $X_{16}$  и  $X_{20}$ , напротив, имеют уровень ниже среднего.

Приведенный анализ дает возможность рассмотреть основные особенности развития моделируемой социальной системы в рамках действующего сценария, определить несоответствия изменений различных составляющих, выявить резервы дополнительного роста. Аналогичные результаты могут быть получены при использовании математических моделей и для сочетаний факторов внешней среды, отличающихся от совокупности их значений, зафиксированных в настоящее время. Однако попытки определить статистически значимые отличия в изменении прогнозных значений различных составляющих инфраструктуры студенческого общежития и классифицировать составляющие, а также факторы внешней среды по близкой динамике, ожидаемой

в течение перспективного среднесрочного периода, демонстрируют очевидные результаты и практически не приносят дополнительной полезной информации. Действительно, расчет матрицы корреляций между значениями составляющих элементов структуры студгородка и факторов окружающей среды в пределах среднесрочного периода показал наличие тесных, статистически значимых множественных взаимосвязей между абсолютным большинством структурных переменных моделируемой системы. Среди них 65% связей являются положительными, а 35% – отрицательными и подтверждают тенденции относительного роста или уменьшения текущих значений различных переменных друг относительно друга, следуемых из табл. 3. При этом, как правило, коэффициенты корреляции по абсолютной величине имели значения, превышающие 0,9, тогда как соответствующее критическое значение корреляции для 10%-го уровня значимости и 6-ти степеней свободы равно 0,621. Среди составляющих студгородка относительно независимое изменение отмечено лишь для  $X_{16}$  и  $X_{20}$ , а среди групп факторов внешней среды, включающих влияние руководства вуза на деятельность студгородка, поставщиков

Таблица 3

Среднесрочный прогноз развития основных составляющих элементов инфраструктуры студгородка МИСиС

Наименование групп составляющих элементов	Обозначения элементов	Годы прогнозирования:							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Административный потенциал студгородка	X1	1,163	1,171	1,173	1,172	1,162	1,160	1,153	1,148
	X2	1,027	0,961	0,894	0,821	0,745	0,658	0,558	0,476
	X3	0,962	1,011	1,035	1,106	1,160	1,212	1,269	1,333
	X4	0,914	0,925	0,956	1,012	1,036	1,079	1,113	1,156
	X5	0,875	0,874	0,869	0,869	0,862	0,852	0,839	0,829
	X6	0,800	0,807	0,815	0,834	0,844	0,859	0,874	0,893
Кадры	X7	1,042	1,070	1,108	1,180	1,201	1,238	1,271	1,294
	X8	1,063	1,135	1,171	1,218	1,271	1,336	1,409	1,465
	X9	0,982	1,010	0,993	1,042	1,051	1,055	1,081	1,092
Обеспечение жилищно-бытовых условий	X10	1,034	1,097	1,117	1,128	1,192	1,224	1,247	1,267
	X11	1,157	1,207	1,266	1,285	1,349	1,402	1,443	1,486
	X12	0,523	0,572	0,605	0,639	0,675	0,700	0,743	0,785
	X13	1,094	1,111	1,117	1,127	1,139	1,145	1,148	1,159
	X14	0,860	0,879	0,897	0,912	0,921	0,946	0,954	0,967
	X15	1,056	1,065	1,085	1,099	1,115	1,131	1,133	1,143
Материальная база	X16	0,899	0,938	0,940	0,946	0,960	0,954	0,949	0,937
	X17	0,714	0,668	0,607	0,544	0,486	0,418	0,339	0,266
	X18	1,035	0,984	0,924	0,903	0,853	0,814	0,751	0,697
	X19	1,157	1,170	1,173	1,173	1,150	1,142	1,133	1,116
Дополнительная инфраструктура услуг	X20	0,700	0,699	0,695	0,697	0,698	0,694	0,702	0,705
Имидж студгородка	X21	0,997	1,023	1,073	1,140	1,175	1,232	1,276	1,333
	X22	1,172	1,293	1,350	1,410	1,458	1,533	1,628	1,712

ресурсов и потребителей, практически независимо от других изменяется только величина  $X_{25}$ .

Полученные закономерности взаимосвязанного изменения основных составляющих сложных социальных систем при прогнозировании их развития подтверждаются и результатами других работ, реализованных в данном направлении [5, 10].

Нетрудно убедиться, что существование тесных взаимосвязей в динамике изменения элементов моделируемой структуры вузовского студгородка, как и в других подобных социальных системах, в основном является следствием преимущественного действия на них временного тренда. Отсюда следует, что исключение временных воздействий позволяет выявить информацию о внутренних закономерностях развития составляющих рассматриваемой социальной системы. В соответствии с общепринятыми рекомендациями данная процедура реализуется путем определения временного тренда значений составляющих элементов, вычитания вносимого им вклада из текущих уровней элементов, представленных в табл. 3, и выделения остатков (рис. 1). Анализ прогнозируемого изменения составляющих деятельности студгородка указывает на линейный характер их тренда и существенно нелинейное знакопеременное изменение остатков.

Ниже рассмотрено совместное изменение остатков различных составляющих моделируемой структуры, полученных вычитанием из исходных значений величины трендов, для которых в течение прогнозируемого периода отмечены наиболее значимые абсолютные колебания.

Получено, что изменение административного воздействия на инфраструктуру студгородка его руководства происходит практически синхронно с имеющимся финансовыми ресурсами (рис. 2, а). Коэффициент корреляции между составляющими остатками составил 0,824. Однако наблюдающаяся амплитуда для  $X_1$  в среднем примерно в два раза меньше, чем для  $X_2$ . Из этого следует, что процесс повышения эффективности административного воздействия не в полной мере использует прирост поступления финансовых средств, однако в случаях снижения финансовой составляющей административный ресурс «демпфирует» возможные негативные последствия, которые могут быть вызваны недофинансированием деятельности общежитий. С другой стороны, изменение влияния на инфраструктуру студгородка его действующей системы менеджмента качества происходит в «противофазе» интенсивности прямого административного и финансового воздействия со стороны руководства. Отрицательным остаткам  $X_1$  и  $X_2$  соответствуют положительные остатки  $X_3$ , а положительным остаткам  $X_1$  и  $X_2$  – отрицательные остатки  $X_3$ . Данную закономерность подтверждают и соот-

ветствующие выборочные коэффициенты корреляции:  $R(X_1; X_3) = -0,753$  и  $R(X_2; X_3) = -0,678$ . Величина последнего из двух приведенных коэффициентов указывает, что совершенствование внедренной в условия студгородка системы менеджмента качества требует дополнительных финансовых средств. Следует также отметить, что изменения факторов  $X_1$  и  $X_2$  имеют значимые отрицательные статистические связи и с приращением степени управленческого воздействия на студгородок со стороны ректората

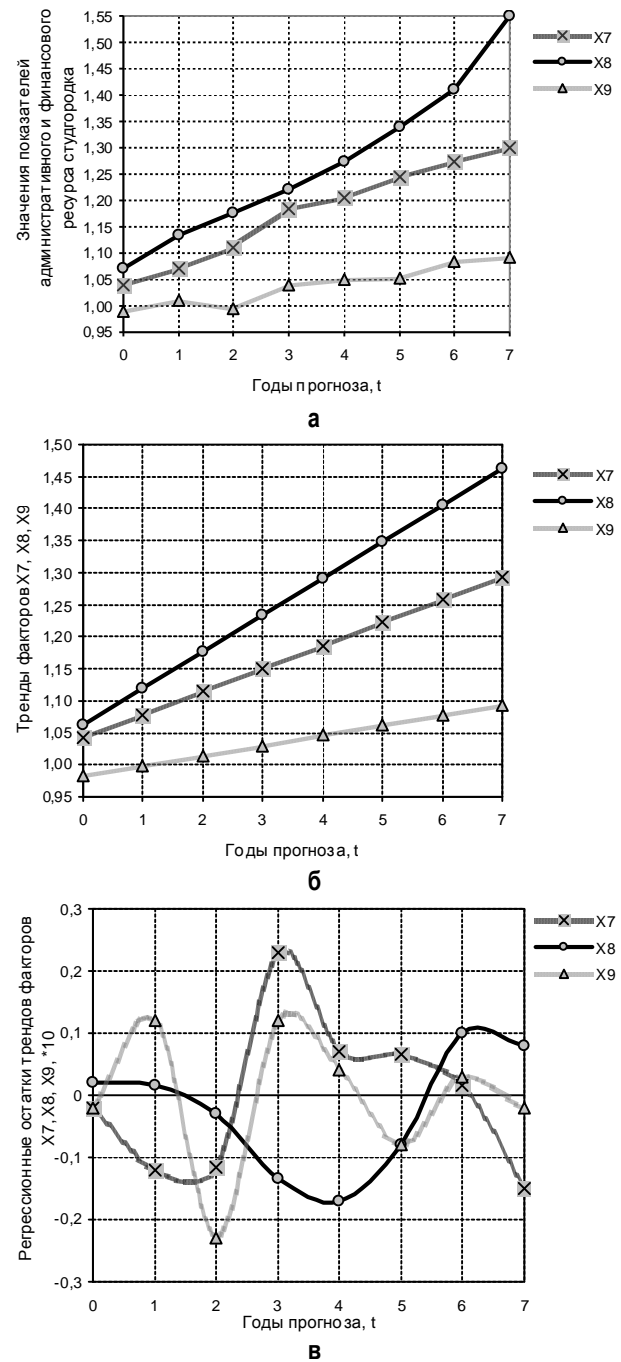


Рис. 1. Пример реализации процедуры выделения из совокупных прогнозных значений изменения составляющих деятельности студгородка (а), временного тренда (б) и получения их остатков (в) применительно к факторам кадрового потенциала



( $X_{23}$ ), а также с приращением влияния системы менеджмента качества всего вуза. Соответствующие коэффициенты корреляции находятся в пределах от  $-0,934$  до  $-0,800$ .

Таким образом, уровень существующего административного потенциала руководства рассматриваемой социальной системы достаточно высок (см. табл. 3) и демонстрирует выраженную стабильность, которая обеспечивается, во-первых, неполной зависимостью от выделяемых финансовых ресурсов, во-вторых, обладает компенсирующими обратными связями со стороны действующей системы менеджмента качества и, в-третьих, при возможном снижении уровня получает дополнительное поддерживающее влияние от руководства вуза.

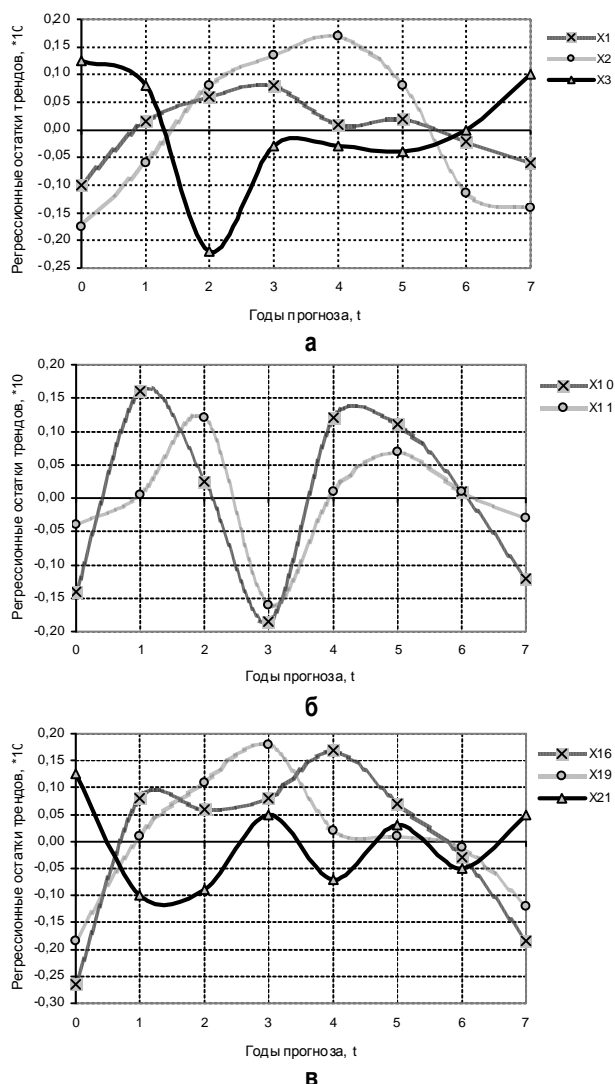
Среди различных составляющих кадрового потенциала коллектива сотрудников студгородка необходимо отметить существование противоположных тенденций в характере изменения остат-

ков, определяемых при вычитании из прогнозируемых моделью значений факторов  $X_7$  (численности работников) и  $X_8$  (квалификации персонала) их трендов, что подтверждается величиной коэффициента корреляции между ними, равного  $-0,715$ . Определено, что прирост численности персонала сопровождается некоторым снижением его потенциала, а снижение численности работников при прочих равных условиях стимулирует их повышать квалификацию (см. рис. 1, в). Возможна и другая интерпретация полученных результатов: именно повышение квалификации работников в данном случае делает возможным снижение их численности без потери качества в выполнении своих служебных обязанностей. На этом фоне приращение фактора  $X_9$ , характеризующего мотивацию персонала, демонстрирует рост, соответствующий увеличению  $X_7$  или  $X_8$  вне зависимости от исходного уровня последних. Таким образом, для действующей системы управления студгородка мотивационный механизм достаточно эффективно используется с целью стимулирования дифференцированного роста каждой из составляющих кадрового потенциала.

Рассмотрение характера изменения остатков ряда функциональных направлений деятельности студгородка (рис. 2, б, в) показало согласованность приращений уровня текущего обслуживания проживающих ( $X_{10}$ ) с приращением ( $X_{16}$ ) – уровня студенческого гостиничного хозяйства гостиничных услуг (комплекса услуг, обеспечивающих повышенную комфортность проживания в специально выделенном комплексе помещений). Близкими к приращениям  $X_{10}$  явились и остатки от трендов фактора  $X_{11}$ , отображающего организацию питания проживающих. Однако в этом случае изменение остатков  $X_{11}$  относительно  $X_{10}$  реализуется с временным сдвигом, равным 0,5 года, что позволяет считать деятельность по текущему обслуживанию проживающих одной из причин обеспечиваемого уровня организации их питания (см. рис. 2, б).

Степень изменения уровня учебно-информационных услуг, предоставляемых проживающим в студгородке (библиотека, интернет, комнаты для самостоятельных занятий и т.д.), практически не зависит от составляющих его административного потенциала  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , а определяется непосредственно вниманием ректората, что является отражением разграничения функциональных обязанностей руководства данного социального комплекса и общего руководства вузом.

В отличие от остатков  $X_{21}$ , приращение уровня мероприятий по ресурсосбережению и повышению комфортности проживания в общежитии ( $X_{19}$ ) испытывает со стороны руководства студгородка максимальное внимание (см. рис. 2, а, в), что подтверждается величиной коэффициента корреляции между ними, равной  $0,983$ . Проявляется и однозначная связь  $X_{19}$  с финансовым



**Рис. 2. Сопоставление остатков прогнозных значений различных групп составляющих элементов инфраструктуры вузовского студгородка:**  
 а – административного потенциала студгородка; б – жилищно-бытовых условий; в – материальной базы дополнительных услуг



ресурсом студгородка –  $R(X_2; X_{19}) = 0,797$ , наличие которой свидетельствует об эффективности ресурсосбережения для приращения финансов рассматриваемой организационной структуры.

В процессе своей деятельности руководство социального комплекса вуза активно сотрудничает с поставщиками ресурсов, часть из которых является постоянными ( $X_{26}$ ), другая – разовыми ( $X_{25}$ ). Организация работы с постоянными поставщиками достаточно стабильна и зависит только от уровня менеджмента в студгородке, на что указывает величина  $R(X_1; X_{26}) = 0,736$ . Активность постоянных поставщиков способствует широкому использованию мероприятий по ресурсосбережению и повышению комфортности проживания в корпусах общежития (рис. 3, а, 2, в), коэффициент корреляции между их регрессионными остатками  $R(X_{26}; X_{19})$  равен 0,818. Кроме того, контакты с постоянными поставщиками требуют увеличения численности персонала студгородка, о чем свидетельствует синхронность изменения остатков величин  $X_7$  (см. рис. 1, в) и  $X_{26}$  (см. рис. 3, а). В противоположность первой категории поставщиков ресурсов степень привлечения разовых поставщиков во многом взаимосвязана со всеми составляющими административного ресурса рассматриваемой социальной системы и требует с их стороны дополнительных усилий, хотя и экономит финансовые ресурсы:  $R(X_1; X_{25}) = 0,889$  с  $R(X_2; X_{25}) = 0,926$ . При этом увеличение количества разовых поставщиков вносит дополнительные сложности в ход стремящегося к стационарности процесса управления студгородком, снижая эффективность системы его менеджмента качества (см. рис. 2, а, 3, а). Этот факт подтверждается соответствующим коэффициентом корреляции  $R(X_3; X_{25})$ , равным – 0,885. К другим отрицательным воздействиям расширения доли разовых поставщиков среди партнеров студгородка корреляционный анализ относит снижение уровня информатизации его бизнес-процессов ( $X_6$ ), квалификации персонала ( $X_8$ ), коммунально-бытового обслуживания проживающих ( $X_{20}$ ). Однако следует отметить, что в настоящее время привлечение разовых поставщиков является необходимым, так как контакты с ними способствуют дополнительному повышению уровня большинства составляющих деятельности комплекса студенческих общежитий, связанных с их материальной базой и жилищно-коммунальным обслуживанием. Этот факт подтверждает статистически значимая положительная величина коэффициентов корреляции фактора  $X_{25}$  с  $X_{13}$ – $X_{17}$  и с  $X_{19}$ . В целом, полученная информация о взаимодействиях инфраструктуры студгородка с поставщиками ресурсов свидетельствует о желательности дальнейшей отработки контактов с данными внешними факторами для установления оптимального соотношения в объемах поставок, осуществляемых на постоянной и разовой основе.

Обобщенно эффективность функционирования таких сложных социальных систем, как студгородок может быть установлена по степени удовлетворения ими требований широкого круга потребителей. Рассматриваемая в работе социальная система предоставляет услуги для нескольких групп потребителей. Группировка факторов  $X_{27}$ – $X_{31}$  (см. табл. 2) по статистической близости их регрессионных остатков, оцениваемой величиной коэффициентов их корреляции, показала существование трех из них, каждая из которых особым образом взаимосвязана с основными направлениями деятельности студгородка. К первой группе отнесены постоянные потребители, проживающие в студгородке ( $X_{27}$  и  $X_{28}$ ), а также внешние потребители его услуг ( $X_{31}$ ), вторая группа включает разовых потребителей ( $X_{29}$ ), а третья – сотрудников организаций – партнеров вуза, получающих дополнительные услуги студгородка ( $X_{30}$ ) (см. рис. 3, б и в). Сопоставление

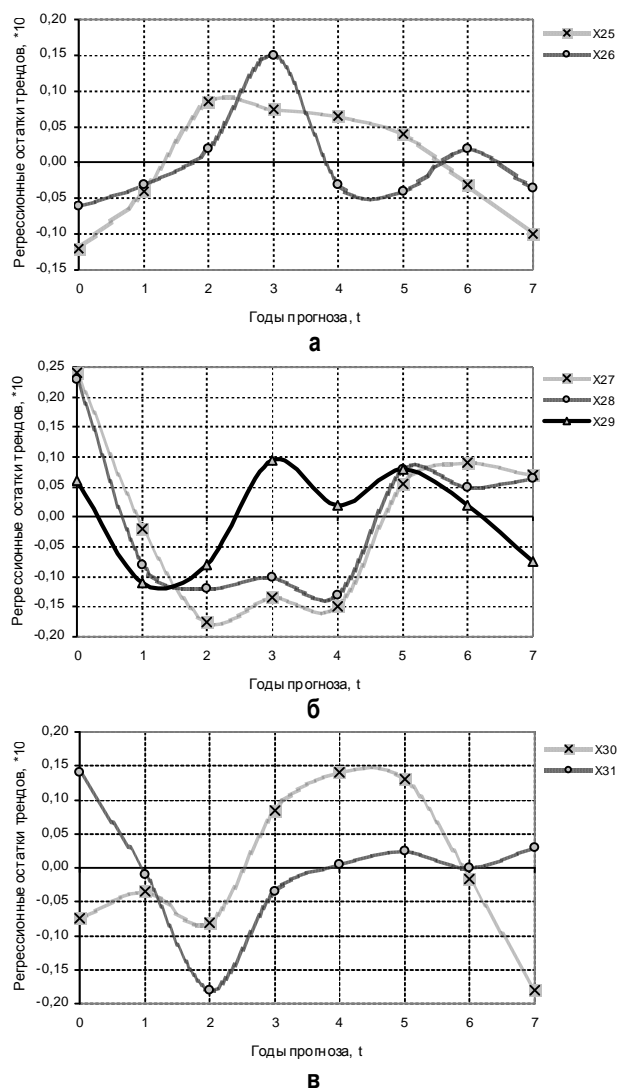


Рис. 3. Сопоставление остатков прогнозных значений различных групп факторов внешней среды вузовского студгородка:  
а – поставщиков резервов; б – поставщиков услуг;  
в – потребителей услуг

характера изменения регрессионных остатков, изменения удовлетворенности выделенных групп потребителей с аналогичными величинами, характеризующими составляющие инфраструктуры услуг в студгородке, показывает существующие и прогнозируемые в течение среднесрочного периода проблемы в обслуживании потребителей, которые выявляются по величине отрицательных коэффициентов корреляции между ними (табл. 4). Определено, что неполная удовлетворенность различных групп потребителей проявляется по отношению к следующим направлениям услуг в студгородке:

- профилактике заболеваний ( $X_{12}$ );
- спортивным и физкультурно-оздоровительным услугам ( $X_{13}$ );
- объемам студенческого гостиничного хозяйства и уровню предоставляемых им гостиничных услуг ( $X_{16}$ );
- ресурсам студгородка по площадям ( $X_{17}$ );
- мероприятиям в области ресурсосбережения ( $X_{19}$ );
- коммунально-бытовому обслуживанию проживающих в студгородке (работы ателье, химчистки, магазинов, парикмахерских, камеры хранения, связи и т.д.) ( $X_{20}$ ).

Ряд перечисленных составляющих инфраструктуры рассматриваемой социальной системы ( $X_{12}$ ,  $X_{16}$ ,  $X_{17}$ ,  $X_{20}$ ) в отличие от большинства ее направлений деятельности имеет в настоящее время и среднесрочной перспективе относительно низкий уровень (см. табл. 3). При этом ограниченная развитость перечисленных направлений инфраструктуры, удовлетворяя одних потребителей, не может соответствовать в полной степени другим их группам. Некоторые из выделенных направлений деятельности студгородка объективно ограничивают комфорт постоянно проживающих потребителей, к таким элементам относятся  $X_{17}$  и  $X_{19}$ . Очевидно, дальнейшее повы-

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между регрессионными остатками, характеризующие в среднесрочной перспективе неполную удовлетворенность различных групп потребителей уровнем отдельных услуг, предоставляемых в студгородке\*

Номер группы потребителей	Обозначение различных групп потребителей	Составляющие инфраструктуры услуг, предоставляемых в студгородке					
		X12	X13	X16	X17	X19	X20
I	X27		-0,752	-0,810	-0,791	-0,852	
	X28	-0,669	-0,802	-0,875	-0,795	-0,833	
	X31					-0,798	
II	X29	-0,706					
III	X30			-0,739	-0,813		-0,705

\* Затемненные столбцы обозначают моделируемое состояние соответствующего направления деятельности студгородка, оцениваемое как "ниже среднего".

шение эффективности функционирования инфраструктуры студгородка, в первую очередь, зависит от изыскания возможностей дополнительного увеличения уровня перечисленных в табл. 4 ее элементов. Это обусловило включение в программу развития социальной системы вуза раздела, посвященного коренной реконструкции законсервированного в настоящее время основного корпуса университетского студгородка – «Дома Коммуны».

Представленный в данной статье пример демонстрирует реальные возможности содержательного исследования методом качественного моделирования внутренних неочевидных закономерностей развития различных по масштабам социальных систем металлургического комплекса и других объектов социально-экономической сферы.

#### Библиографический список

1. Теория и методология исследований социальных проблем / Отв.ред. Р.С. Гринберг, Т.В. Чубарова / Ин-т междунар. экон. и полит. исследований. М.: Наука, 2005. 189 с.
2. Беляев А.А., Коротков Э.М. Системология организаций. М.: ИНФРА-М, 2000. 182 с.
3. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986. 496 с.
4. Бринза В.В., Коровин А.В., Рябова А.В. Математическое моделирование процесса организации научно-исследовательского комплекса в вузе // Изв. вузов. Черная металлургия. 1999. № 11. С. 72–77.
5. Прогнозирование результатов технического перевооружения металлургических предприятий / Бринза В.В., Юрьев А.Б., Коровин А.В., Кузнецов И.С. // Национальная металлургия. 2002. № 4. С. 59–66.
6. Технический комплекс металлургического завода: моделирование перспектив развития / Бринза В.В., Коровин А.В., Лосицкий А.Ф. и др. // Национальная металлургия. 2003. № 1. С. 87–94.
7. Моделирование развития основных направлений деятельности вуза / Хван В.В., Бринза В.В., Соловьев В.П. и др. // Качество, инновации, образование. 2004. № 3. С. 18–27.
8. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Бычков, А.В. Дементьев и др. М.: Горячая линия. Телеком, 2002. 154 с.
9. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ, М.: Мир, 1981. 693 с.
10. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н.. М.: СИНТЕГ, 2004. 296 с.

# ФИЛОСОФСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ МИРОВОЗЗРЕНИЯ

УДК 1

А. М. Арзамасцев

## ЛИЧНОСТЬ КАК ЦЕННОСТЬ ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА

*Личность* – философское понятие, выражающее идеал человека, стремящегося к совершенству. В прошлом, вплоть до Канта и Гердера, между личностью и индивидом не делалось различия. И сегодня на уровне житейских представлений сохраняется их отождествление. Часто можно слышать: *личность* ребенка, *личность* преступника и т.д. Для современной философии личность – духовное существо, а индивид – биологическая особь, имеющая неповторимые психофизические различия. До личности необходимо подниматься, а индивидом человек является от рождения. Наши меньшие братья различаются по индивидуальным качествам, но не по духовным, поскольку последние им не свойственны.

Личностью является человек, поднявшийся до определенной нравственной и интеллектуальной зрелости, которая характеризуется способностью и потребностью анализировать собственное сознание и поступки, спрашивать себя: не нанес ли я какого-либо ущерба другим людям? Почему другие поступают иначе и не чувствуют "уколов" совести за нанесение обиды? и т.д. Эта способность носит название "философская рефлексия".

Основная составляющая личности – высоконравственное поведение. Интеллектуальная составляющая не менее важна, чем первая, поскольку способность к саморефлексии возникает при наличии развитого интеллекта, высокой грамотности и широкого мировоззренческого кругозора. Однако обе составляющие не находятся между собой в идиллической гармонии. Часто бывает так, что высоколобые интеллектуалы совершают не только неблагоприятные поступки, но и уголовные преступления. Здесь, по-видимому, вступает в свои права непредсказуемая иррациональность человеческого поведения, уходящая своими корнями в область подсознания, и потому возможность ее исправления ничтожно мала. С другой стороны, нравственно приемлемое поведение, не подкрепленное и необлагороженное философской рефлексией, хотя и заслуживает одобрения, но является, если можно так выразиться, неглубоким, поверхностным, интеллектуально и эстетически непривлекательным.

Поэтому деление людей на поднявшихся до уровня личности и на тех, кто пребывает в не-

развитом состоянии (человек массы), является довольно условным. Личность и массовый человек – полярные точки, и между ними существует большое количество оттенков, когда трудно обнаружить, где кончается одно и начинается другое. Условность названного деления не отменяет реального существования, как и необходимости изучения того и другого, поскольку за ними скрывается нечто большее.

Массовый человек и личность есть внешнее проявление осознанной и неосознаваемой борьбы плоти и духа и всех возникающих между ними коллизий, в том числе и трагических (революции, войны, террористические акты и пр.). Эта борьба началась при переходе предчеловека от животного состояния к цивилизованному и будет продолжаться, пока не закончится исторический век человека. Дух без плоти существовать не может, плоть без духа, хотя и может, но не в качестве разумного существа. Дух, как организующая сила по отношению к плоти, находит воплощение в личности. Массовый человек, как пассивная дремлющая сила, олицетворяет, как это ни грустно констатировать, слепую животную стихию. Оба эти понятия считаются для философов и вузовских преподавателей философии приоритетными. Задача тех и других – побудить молодых людей подняться до уровня личности, чтобы получить признание пригодности для человеческого общежития и отвлечь их от прозябательно-пассивного существования.

Нам представляется, что в иерархии ценностей интеллигентного мира на первом месте в качестве целевого ориентира должно находиться понятие *личность*, выполняющее функцию идеала совершенного человека, способного встать на защиту гражданского общества. В таком случае все другие духовные ценности (добро, свобода, счастье, смысл жизни, прекрасное, красота, честь, власть, собственность и др.) будут входить в единый скоординированный ансамбль, обеспечивающий становление личности. Важность и самодостаточность любой ценности от такой соподчиненности не страдает. Каждый исследователь волен углублять содержание выбранной для анализа ценности (она, являясь "вещью в себе", сущностью, – неисчерпаема), но при этом не должен забывать, ради чего "все это" делает. Адресная

нацеленность на формирование личности как ценности придаст читаемым в вузах гуманитарным дисциплинам необходимую стройность и дополнительную значимость не только в глазах преподавателей, но и руководителей всех рангов, обеспечивающих учебные процессы.

Рассмотрим подробнее понятия "индивид" и "личность".

Понятие "индивид" (от лат. *individuum* – неделимое) впервые было введено в литературный и философский оборот римским философом Цицероном как латинский аналог греческого термина "атом". Речь идет, конечно, не о физическом, а о социальном атоме как об отдельно взятом представителе человеческого рода, общества, народа, класса, социальной группы. Социальный атом, подобно физическому, неразложим, неделим и является последним "кирпичиком" социального мироздания, обладающим своеобразными, но неизменными качествами. В послеримский период понятие "индивид" стало обозначать единичного человека в отличие от массы, коллектива, социальной группы, общества в целом. Такое противопоставление послужило появлению различных концепций индивидуализма и коллективизма. В основе этого противопоставления лежала борьба между сторонниками частной собственности и сторонниками общественной (государственной). Названное изменение не привело к каким-либо новым представлениям о природе индивида. Индивид, рассматриваемый в его специфических особенностях, не сводимых к каким-либо родовым и всеобщим характеристикам, стал синонимом индивидуальности.

В разных науках понятие "индивид" получает различный смысл в зависимости от той или иной его конкретизации. В биологии это понятие может быть принято для высших животных, включая человека. Оно характеризует специфические черты данной особи, данного организма, заключающиеся в своеобразии сочетания наследственных и приобретенных свойств. В психологии индивид трактуется как представитель человеческого рода, обладающий своеобразными психофизиологическими особенностями, устойчивостью психических процессов, собственной мерой активности и гибкости в реализации этих свойств в повседневной жизни. В социологии понятие "индивид" заменяется термином "респондент" (от лат. *responsare* – отвечать, реагировать), который обладает свойством быть носителем социальности. В качестве респондента индивиду приписываются следующие признаки: быть носителем определенного типа сознания (обыденного, специализированного, профессионального и т.д.); обладать компетентностью, т.е. определенной информацией и знаниями; иметь индивидуальные черты (уровень интел-

лектуального развития, память, воображение) и др. В педагогике воспитательная работа строится на принципе учета индивидуальных особенностей воспитанника.

Несмотря на разнообразие интерпретаций сущности индивида и обнаружение у него новых и новых граней, свойств (в этом плане он неисчерпаем и это обнаруживается при появлении каждого нового вида деятельности), его природа остается неизменной. Индивидуум как единичная особь неделим, неразложим, особенен, а в своих внешних отношениях является носителем общечеловеческих достоинств. Эти качества очаровывают многих исследователей, что приводит к отождествлению понятий "индивид" и "личность". Хотя каждый индивид имеет собственную индивидуальность, но все они в своей совокупности образуют неразличимую массу людей, которая похожа на массу высших животных, где каждая отдельная особь имеет индивидуальные отличия. Но ни одно из высших животных не может подняться до уровня личности. Следовательно, отождествление индивида и личности несостоятельно.

Вдумчивого читателя не может удовлетворить простая констатация отличия одного индивида от другого. У него возникают вопросы: почему между ними нет тождественности, каковы глубинные основания такого явления, как далеко распространена нетождественность, заканчивается ли она растительным и животным миром или уходит в мир космических объектов (планеты, галактики, магнитные, гравитационные поля), в мир элементарных частиц? Нет числа вопросам.

Платон, зная учение Демокрита о нетождественности атомов по конфигурации, величине и прочим различиям, выдвинул понятие "инакость" и поставил вопрос о точном определении какой-либо вещи (чего-то одного) и ее отличие от иного (см.: "Парменид" и "Тимей"). Его ученик Аристотель в трактате "О небе" ввел понятие "габитус" (т.е. постоянно присущее данной вещи свойство или устойчивое состояние). Инакость, габитус (лат. *habitus* – внешний вид живого организма, кристалла и т.д.) – разные термины, совпадающие по содержанию.

Линию Платона и Аристотеля продолжили неоплатоники, которые за инакость по отношению к "одному" приняты "нус" (греч. *nus* – ум, мысль, разум) как божественный источник различий между вещами. Наличие инакости в самом Боге они не допускали. Пантеист Николай Кузанский посвятил иному и инакости трактат "О неинном". "Все существующее, – говорил Н. Кузанский, – есть не что иное, как оно само, постольку оно... не получает этого от чего-либо иного; следовательно, оно получает от неино-



го"<sup>1</sup>. Неиное – неименуемый, беспредельный Бог или универсальная сущность, сущность сущностей, форма форм и основание вещей. Для философов-атеистов такое объяснение габитуса неубедительно.

Казалось бы, что Ч. Дарвин (1809–1882) в трактате "Происхождение видов путем естественного отбора" даст более убедительное объяснение об источнике различий между видами живых существ. Однако этого не произошло. В главе V названного трактата – "Законы изменчивости" он утверждает: "Какова бы ни была причина каждого ничтожного различия между родителями и их отпрысками... мы имеем полное основание полагать, что именно неуклонное накопление благоприятных различий породило существенные изменения организации, стоящие в связи с образом жизни каждого вида"<sup>2</sup>. Трудно поверить, что «ничтожные различия между родителями и их отпрысками» вызываются «образом жизни каждого вида».

В XX в. понятие "габитус" использовал немецкий философ О. Шпенглер (1870–1936). Он применил его к "великим организациям истории", габитусам индийской, египетской, античной, западной культур. Их габитусы сходны с габитусами человека, бабочки, рыбы, растения, каждому виду которых присущ свой способ внешнего проявления: продолжительность жизни, непохожесть, способы размножения, формы и размеры и т.д. Габитус культур охватывает всю совокупность их жизни: "выбор определенных видов искусства (объемной пластики, фрески эллинами, контрапункта, масляной живописи на Западе) и решительное отклонение других (пластики арабами), склонность к эзотерике (Индия) или популярности (античность), к речи (античность) или письменности (Китай, Запад), где выражения эти оказываются формами духовной коммуникации типов соответствующих чайний, административных систем, способами общения и поведенческих норм". Приведем еще одну яркую характеристику габитуса, относящуюся к внешнему виду городов. "Каждый античный мировой город, от Сиракуз Гиерона до императорского Рима, будучи воплощением и символом одного и того же жизнеощущения, глубоко отличается по самому своему плану, виду улиц, языку частной и социальной архитектуры, по типу площадей, переулков, дворов, фасадов, по красочности, шуму, толкотне, по духу своих ночей от группы индийских, арабских, западных мировых городов"<sup>3</sup>.

Шпенглер обошел молчанием природу инакости, ограничившись одним весьма примечательным заявлением: "Продолжительность жиз-

ни поколения – безразлично, каких существ – есть факт почти мистического значения"<sup>4</sup>. Сказанное, конечно, относится ко всем другим проявлениям инакости.

Наряду с понятиями "инакость", "инаковенние", "неиное" существует понятие "качества", идентичное перечисленным понятиям. Единственного мнения относительно природы качества не существует. Аристотель признавал только объективные качества, присущие всем вещам. Дж. Беркли и Д. Юм утверждали, что качества являются только состояниями субъекта. Дж. Локк подразделял качества на "первичные" (объективные) и "вторичные" (субъективные). И. Кант называл локковские объективные качества "априорными" (идеальными), а субъективные – "апостериорными" (реальными). Для рационалиста Г. Гегеля качественные изменения происходят в лоне абсолютного духа, а качественные различия в природе есть проявления инобытия духа. Если отбросить реальность гипотетического абсолютного духа и признать, что только мыслям человека (деятели искусства, философа, ученого, изобретателя) присущи качественные изменения, то названную идею великого немецкого философа следует признать весьма и весьма плодотворной. Все произведения искусства, научные открытия и их техническая реализация (художественные произведения, философские трактаты, машины, станки, субмарины, компьютеры и т.д.) есть действительно инобытие мысли. Для К. Маркса и Ф. Энгельса качества вещей, процессов и т.д. являются продуктом объективной диалектики (количество порождает новое качество под воздействием борьбы противоположностей), а субъективная диалектика, будучи вторичной, отображает эти изменения.

Вопросы о том, почему мир качественно разнообразен, повторяет ли он в неизменном виде свое разнообразие, возможно ли появление новых качественных образований во Вселенной, меняет ли она свой облик при условии своей вечности и бесконечности, функционирует ли она как целостная система – относятся к числу мировоззренческих, практически и экспериментально не проверяемых и поэтому остаются без окончательных ответов. Сказанное не означает, что следует прекратить мировоззренческие поиски по этим вопросам. Не найдя каких-либо новых подходов к их решению, трудно объяснить, что представляет индивид как неповторимая психобиологическая особь, как основной фигурант человеческого сообщества, как возможный кандидат на высокое звание "личность". По какой, образно говоря, клавише этой особи следует ударить, чтобы получить от индивида нужный обществу нравственный отклик. Как ему помочь, для того чтобы он мог преодолеть барьер, отде-

<sup>1</sup> Кузанский Н. Сочинения. Т. 2. М., 1980. С. 190.

<sup>2</sup> Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. М., 1935. С. 260.

<sup>3</sup> Шпенглер О. Закат Европы. Т. 1. М., 1993. С. 267.

<sup>4</sup> Там же. С. 268.

ляющий рассудочное мышление от абстрактного, рассудок от разума, чтобы подняться до уровня личности.

Индивид становится личностью, как уже было сказано выше, когда у него появится способность анализировать собственное сознание и поступки и осознанно соблюдать нравственные и правовые нормы. Инакость за ним как индивидом сохраняется. Однако переносить ее на личность, по-видимому, не следует. Умственная одаренность таких людей связана с их природными габитусами. И. Кант называет гениального человека “баловнем природы”<sup>5</sup> и дает ему такое определение: “гений – это прирожденные задатки души (*ingenium*), через которые природа дает искусству правила”<sup>6</sup>. Несколькоими строчками ниже он добавляет, что “гений сам не может описать или научно показать, как он создает свое произведение ... сам не знает, каким образом у него осуществляются идеи для этого, и не в его власти произвольно или по плану придумать их сообщить их другим, которые делали бы ... подобные произведения”<sup>7</sup>. Единственными, по Канту, кто удостоен чести называться гениями, могут быть только деятели искусства, но не ученые, не философы. Следуя этому рассуждению, можно добавить: не политики и тем более не идеологи – “спасители” рода человеческого.

Понятию “гениальность” близко понятие “мудрость”. Но эти понятия не тождественны. Гениальность, как это отмечено Кантом, проявляет себя в полной мере в области искусства, мудрость же не только предполагает высокую степень разумности человека, но характеризует его прежде всего со стороны нравственного совершенства. К числу мудрых следует отнести великих философов, которые дают сущностное понятийное обоснование необходимости соблюдения нравственных и правовых норм, свободы мысли, гуманности, толерантности и которые собственным примером убеждают других в реальной выполнимости своих рекомендаций. Собственно на этой почве в свое время родилась философия и приняла форму учения о том, как правильно жить, как можно сделать человека добродетельным и ответственным за свое поведение. Античные греки не случайно назвали такое учение мудростью (гр. *sophia*), а любовь и доброе расположение к ней – “философией”.

Что касается образованных людей, не имеющих высокой умственной одаренности, то из их числа можно считать мудрыми только тех, кто поднялся до уровня личности. Мудрость и личность – синонимы. Казалось бы, что все, обладающие средней одаренностью в зрелый, трудоспособный период жизни – условно от 20-ти до 50-ти лет, все, имеющие более или менее одина-

ковый уровень образования и культуры, семейного благополучия и пр., должны преодолеть “барьер”, отделяющий рассудочное мышление от абстрактного и перейти от неосознанного нравственного поведения к осознанному. К сожалению, переходят далеко не все. Большой беды в этом нет, если это относится к законопослушным гражданам. И, тем не менее, необходимо ориентировать этот контингент образованных людей подняться на уровень личности. Только такие люди способны без усталости гнаться за растущими знаниями и выдвигать собственные нестандартные идеи, обеспечивать научно-техническое развитие, облагораживать нравственно-правовой климат и социально-политическую стабильность общества. Названный барьер преодолим. Речь идет ведь не о том, чтобы стать гением, а о том, чтобы стать мудрым.

Для преступников понятий “личность”, “мудрость”, “гражданин” не существует. Они живут и добывают средства на прокорм примерно так же, как и все особи животного мира, в которых нет каких-либо нравственных и правовых норм. Поскольку их нет, то и нет преступлений. Понятие “преступник” появляется в период возникновения социальных общностей, которые пришли на смену кровнородственным. В новых условиях регуляция политической жизни и поддержание общественного порядка стали осуществляться государством и его институтами, а нравственная жизнь перешла под опеку церкви и учебных заведений. Зоологическая жизнь для большинства людей стала уходить в прошлое, и только грабители, воры, взяточники продолжают оставаться в поле ее притяжения. Они не являются умственными аутсайдерами. Среди них есть не меньше талантливых, изобретательных, находчивых, чем среди тех, кто поднимается до уровня личности. Но это не основание считать их мудрыми. Словосочетание “мудрый грабитель или взяточник” – бессмысленный оксюморон. Словом, если брать умственную деятельность преступника как таковую, вне связи с правовой и нравственной сторонами, то вряд ли можно обнаружить существенную разницу между его умом и умом инженера-исследователя и ученого. Как первые, так и вторые используют одинаковые методологические приемы (анализ, синтез, сравнение, дедукцию, индукцию и др.). Это свидетельствует, что мышление не является продуктом общественной жизни. Оно зародилось и развивалось на уровне инстинктов в связи с необходимостью поиска пищи, партнера для спаривания, безопасных укрытий. Появление языка у человека первобытных времен послужило предпосылкой возникновения абстрактного мышления. Реализацию этой предпосылки осуществили философия и наука.

Противоположным гениальности и мудрости состоянием души является глупость. Если гениальность есть дар природы, то и глупость ее – “подарок”. Глупость оценивается философами и

<sup>5</sup> Кант И. Сочинения. Т. 5. М., 1996. С. 335.

<sup>6</sup> Там же. С. 323.

<sup>7</sup> Там же. С. 323–324.

теологами по-разному. Глупость, по библейским представлениям, – дар божий как проявление божественной премудрости. В Святом благовествовании от Матфея говорится: "Блаженны нищие духом, ибо их есть Царство Небесное" (Библия, Книги нового завета, гл. 5, 3). Гениальность же, как высшее проявление творческого ума, заслуживает порицания, поскольку является своего рода негласной претензией на божественность. В послании к Колоссянам Святого апостола Павла говорится: "Смотрите (братия), чтобы кто не увлек вас философиею и пустым обольщением, по преданию человеческому, по стихиям мира, а не по Христу" (Библия, Книги нового завета, гл. 2, 8). Словом, Бог – совершенная гениальность, глупость – удел всех людей. А их короткая жизнь – предусмотренная Богом преграда, не позволяющая им подняться до божественной мудрости.

Для философии человеческая глупость – одно из проявлений природного габитуса, сохраняющего животный строй психики. В массовом проявлении она присуща трем возрастным периодам: глупость детская, подростково-юношеская, старческая. Глупость периода зрелости свидетельствует не столько об отсутствии развитого ума, способного анализировать свой мыслительный процесс, сколько – мудрости. По Канту, "Глупец тот, кто жертвует тем, что имеет ценность, ради целей, которой никакой ценности не имеют"<sup>8</sup>. Поскольку совершенных людей не су-

ществует, то можно сказать, что глупость присуща всем: не только человеку массы, но в той или иной мере гениям, талантам и мудрецам.

Умственное и нравственно-правовое состояние мирового сообщества существенно не меняется на протяжении двух-трех тысячелетий с тех пор, когда оно стало подниматься и достигло цивилизационного уровня. Количество гениальных, талантливых, умных, глупых и людей с преступными наклонностями не уменьшается и заметно не возрастает, хотя образовательный уровень населения поднимается от века к веку. Это говорит о том, что ему (образованию) не под силу изменить природный габитус человека. Но об этом не стоит сожалеть. Названное состояние является удовлетворительным. Элитная часть общества успешно обеспечивает появление научных открытий, технических изобретений, произведений искусства, философских учений, а власти более или менее успешно поддерживают общественный порядок. Эта оценка не будет казаться преувеличенной, если принять во внимание иррациональность и объективную бессмысленность жизненного процесса – бесконечные войны, революции, перевороты, экономические, политические и другие кризисы, обманы, убийства и другие преступления, алкоголизм и наркоманию, семейные конфликты ... в этом ряду нет последнего числа извращенным поступкам, диким заблуждениям и глупым ошибкам.

УДК 1

С. Ю. Юрский

## POWER!\*

В спектакле «Вечерний звон» («Ужин у товарища Сталина» Иона Друца) Сергей Юрский играет Сталина. На первый взгляд, простая история – один вечер из жизни вождя народов. Сталин решает культурно отдохнуть и приглашает на дачу артистку. Однако за этой простой историей – трагедия России.  
(Из театральной программки.)

За перо когда-то взялся, потому что захотелось обратиться к зрителям письменно. Подумать вместе. Может быть, и поспорить... Конкретно с каждым, кто захочет вступить в диалог...

А сейчас разговор о нас, о нашем сегодняшнем дне и о том, как отчитаться нам перед внуками за XX век, в котором прожили мы большую часть своей жизни.

...Сталин в нашем спектакле после ухода певицы Надежды Блаженной, сделав намек понимающим его людям, что, видимо, скоро с этой слишком самостоятельной молодой женщиной должно случиться несчастье, помолчав,

<sup>8</sup> Там же. Т. 6. С. 45.

\* Power – сила, могущество, власть, в т.ч. государственная (англо-русский словарь).

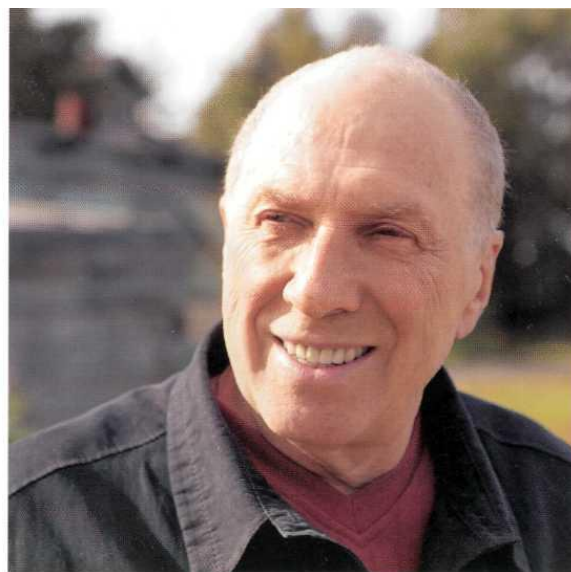


Фото Павла Коломиева

пошагав взад-вперед по кабинету, вдруг взрывается криком: «Никогда! Никогда не построим мы великое государство. Если не сумеем про-



никнуть внутрь этой... ягодки!» – и отбрасывает виноградину, которую держал в пальцах.

Это так! Это правильная фраза. Это хорошая фраза!

Душа бессмертна. Душа открыта. И при этом она – непроницаема.

Непроницаема! Отсюда гнев Сталина.

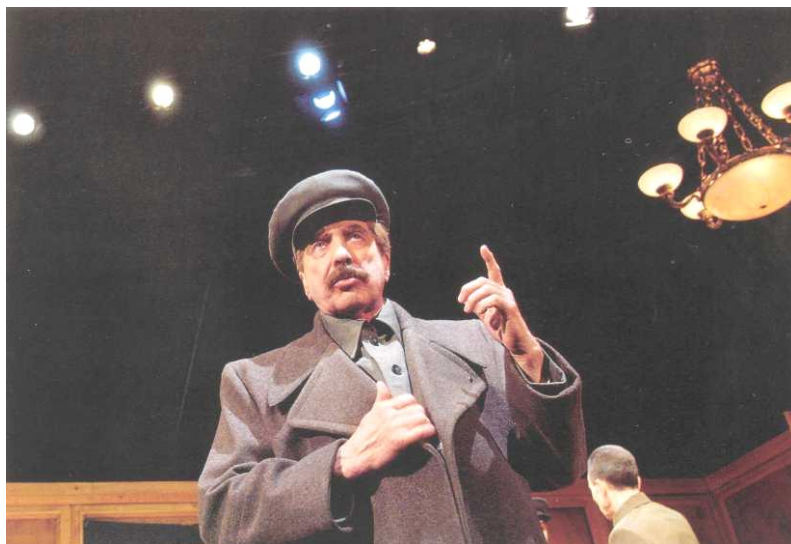
Власть стремится к увеличению самой себя. Любая власть – государственная, власть денег, духовная власть, власть авторитета... Любая. В некоторых обществах (такая у них наследственность) стремлению власти к безграничному расширению ставят границы, находят противовесы. Там, где этого нет, образуется диктатура, тирания, тоталитаризм. Диктатура начинается с требования подчинения. Но обязательно переходит ко второму этапу – требованию ее (диктатуры) прославления. Любить надо диктатуру! Процесс углубляется – нужны не знаки любви, а искренняя любовь. За этим надо следить! Возникает служба проверки на лояльность. – Да, мы знаем, что ты говоришь правильные слова, но!.. Надо проверить, ВЕЗДЕ ЛИ ты их говоришь и ВСЕГДА ЛИ? Наконец, ОТ ДУШИ ЛИ ты так говоришь? Есть ходячее выражение: «Не лезьте ко мне в душу!» О-о! Еще чего! Именно в душу к тебе и лезем. Именно за этим создаются дорогостоящие спецотделы, структуры наблюдения, органы слежения, институты психологического контроля.

«Никогда не сможем построить мы великое государство, если не проникнем ВНУТРЬ этой ягодки!»

Противостояние двух несопоставимых сил – мощь государства и то зернышко внутри человека, которое делает его существом по образу и подобию Божию...

Разговор днем в церкви, когда службы нет и совсем пусто. Женщина лет сорока покупает две свечки. Женщина простодушно спрашивает у причетницы:

– Скажите, а когда было сотворение мира?



– Если не путаю, то пять тысяч восемьсот с чем-то лет. Около того. Можно у батюшки спросить.

Женщина:

– О-о, не так давно!

Я, оказавшийся третьим в этот момент:

– Ну, это фигурально. В Библии ведь сказано: «У Бога один день, как тысяча лет, и тысяча лет, как один день».

Женщина:

– Подождите, так когда же всё-таки всё было создано?

Я:

– Давно. Находят же следы, которым десятки тысяч лет.

Причетница:

– Ой, не путайте! Спрошу у батюшки. Как он скажет, так и есть. Но только я знаю – около шести тысяч лет, а всё другое от лукавого.

Эх, славно бы жить в такой ясности! Но не обидно ли столько отдавать лукавому? «Всего другого» – ой как много! Куда больше половины. Что ж Богу-то останется?!

Бог, Он землю и небо создал или вселенную тоже? Или земля и небо есть, а вселенной вовсе нет, она от лукавого?

Что вначале: яйцо или курица?

Человек великолепно и разнообразно научился уничтожать жизнь и сейчас стоит на пороге рукотворного сотворения жизни (генетика, клонирование, роботы, виртуальное пространство и прочее). Свершится ли это? Возможно ли это?

Это не схоластика. Это вопросы сегодняшнего дня. Вопросы для тех, кто думает не только о времяпрепровождении в сегодняшний вечер, но и о завтрашнем утре.

Что раньше и что сильнее – СТАЛИН или СТАЛИНИЗМ?

И это тоже не вчерашний, это сегодняшний вопрос. Откуда он взялся, сталинизм? Из воли и коварства одного человека, бывшего семинариста, сына грузинского сапожника?

Мы уже позабыли былую эмблему времени – четырехголовый портрет: Маркс – Энгельс – Ленин – Сталин. В нем было прочерчено происхождение нашего социализма. Марксизм – мощное теоретическое ИНОСТРАННОЕ, переведенное в том числе и на русский язык, учение. Ленинизм – практика бунта в мировом масштабе, главный принцип которого – интернационал. Сталинизм – могучий российско-имперский общественный строй, распространившийся на громадной территории с очень жестко замкнутыми при этом гра-



ницами и, в силу своих размеров и возможностей, имеющий огромное международное влияние – и как пугало, и как остережение, и для определенных кругов – как светоч.

В пьесе «Вечерний звон» реальный Иосиф Виссарионович Сталин в расцвете своего могущества и своих возможностей хочет на пару часов организовать НОРМАЛЬНЫЙ вечер для себя. Надоели заседания, хитросплетения международной и внутренней политики. «Надоели их рожи», – говорит он о своих соратниках по вечной борьбе. «Как грузин, обожающий вокальное искусство» (так он себя называет), он хочет организовать маленький классный концерт с единственной солисткой. Пусть будет маленькая сцена, будет маленькая арфа и струнное трио. Пусть, как положено, объявят солистку, пусть ее наградят Сталинской премией со всеми вытекающими благами. И пусть поет! А? Простое дело?! Благое дело?! Душевное дело?! А?

НИЧЕГО НЕ ПОЛУЧАЕТСЯ! Получается «балаган, цирк!» (как кричит в гневе вождя). И заканчивается всё опять-таки созывом политбюро, списками врагов народа, взрывом подозрительности, параноидальным ощущением, что «сама земля саботирует». На вершине своей власти Сталин НЕ МОЖЕТ создать ничего человеческого. Он может создавать ТОЛЬКО СТАЛИНИЗМ как угнетение, давление, уничтожение. Сталинизм СИЛЬНЕЕ Сталина.

Этот парадокс – внутренний смысл спектакля.

Так на чем же держится эта сила? Вопрос! И куда девалась эта сила? Исчезла со смертью вождя? Вопрос! – Ведь и при жизни его она существовала отдельно и превыше него. Где она? Сталинизм – когда он родился? И УМЕР ЛИ ОН? Большой вопрос!

Вот слепая позиция, которая весьма прижилась в нынешнее время.

Была великая, благополучная страна, которая кормила себя и полмира и вот-вот должна была перегнать по всем показателям все страны и при этом принести им благодать. Страну эту мы потеряли. Пришли чужие дядьки, большей частью евреи и другие инородцы, на немецкие деньги купили они несознательных русских солдатиков и матросиков. На те же деньги убили русского царя, порушили церкви, и семьдесят лет эти душегубы разбойничали на русской земле. Теперь кончилась их власть. Трудно, но стараемся восстановить то бывшее, имперское благоденствие и, если не помешают злые внешние силы, опять будем великой державой и если не пупом, то во всяком случае одним из полюсов мира.

На мой взгляд, это позиция слепых, глухих, лишенных памяти, но весьма говорливых людей.

Высказавшись столь категорично, я вынужден далее (и обещаю – не очень долго) формулировать свои мысли в виде прямых утверждений. Я не буду каждый раз оговариваться, что, дес-

кать, это мое личное мнение, что возможны другие точки зрения, что, с одной стороны, это так, но с другой – может быть совершенно иначе. Пожив некоторое количество часов в теле Вождя, я хотел бы взять себе право, сохраняя собственные убеждения, воспользоваться его манерой абсолютной безапелляционности. Прошу поверить, что позволяю себе это заимствование только в целях ясности и краткости изложения.

Итак! Один из коренных вопросов: Россия страна нормальная, как другие европейские страны, как, скажем, Франция, Швеция, Португалия, или она всё-таки особенная?

Ответ. Нет, она не как все европейские страны, она особенная. Она отличается (и всегда отличалась) даже от своих бывших окраин – Финляндии, Польши, Прибалтики.

Вопрос. Это хорошо или плохо?

Ответ. Это так есть. Я вовсе не собираюсь умалять достоинств моей родины и низкопоклонствовать перед всем иностранным, но это факт: Россия – другая. ВСЕ ОНИ психологически ближе друг к другу, чем к нам.

Почему???

Потому что буквы разные. У всех у них латинский алфавит. С некоторыми отклонениями, но всё же единый – латинский.

Второе и важнейшее, – религия как внутренняя генетическая традиция шкалы ценностей, как тайный код смысла жизни. И опять заметим – католицизм и протестантизм со всеми ответвлениями вроде англиканской церкви – ВСЕ ОНИ ближе друг к другу, чем к нам.

Великий наш современник Папа Иоанн Павел II сказал, что католицизм и православие – два легких, которыми дышит единый организм Европы. Прекрасная мысль. Если речь идет о поддержании мира и равновесия в мире, то так и есть. Можно бы то же сказать о двух полушариях мозга – оба необходимы, оба божественны. Но! Соединиться им не дано! И всегда одно полушарие будет порождать образы, а другое логику. И различие здесь не Византии и Рима – это слишком древнее, а России и Европы. Потому что, скажем, Греция по происхождению более Византия, чем мы. Но Греция – Европа, а мы – Россия.

И третье – исторические несовпадения.

Языческая культура Древнего Рима и Древней Греции с их законами, с их идеалами играла образующую роль при создании европейских наций. Христианство пришло из Иудеи, распространилось, как пламя, и стало второй образующей. В противоречиях этой смеси шли взлеты и упадки разных частей Европы.

Языческая Русь приняла христианство в его византийском варианте. В одной упаковке пришло всё сразу – константинопольская тень римской культуры, Ветхий Завет и Христово Евангелие.

Тогда и началось несовпадение циклов.

По многим источникам, Киевская Русь была могущественным и культурным государством.

В это время большая часть Европы погрязла в упадке и распрях.

Далее, скакнув через несколько веков, – в Европе началось нечто, именуемое эпохой Возрождения. Расцвет искусств, создание университетов как центров свободной мысли. Именно в это время Россия несла на себе тяжесть татаро-монгольского ига и дичала.

Рабами в Европе были побежденные и захваченные в плен иноплеменники. Так же, видимо, было и в Древней Руси. Но к тому времени как в Европе образовались нации, с рабством было покончено. А в России в это же время постепенным закрепощением превратили в рабов СОБСТВЕННЫХ, ПРЕЖДЕ СВОБОДНЫХ, КРЕСТЬЯН. И длилось это рабство 500 (пятьсот!) лет – аж до нового времени, когда в Европе была разработана теория и осуществлена практика свободы личности.

Смена верховной власти всегда и везде была серьезной проблемой. В Европе власть колебалась от монархий до республик, от единодержавного до коллективного и даже народного правления. В России всегда князь, царь – безоговорочно верховный правитель. (Краткие исключения – Новгородская республика и смуты междоусобия.) Более того, в России всегда власть была близка к обожествлению.

В Европе император Константин крестился, когда значительная часть населения его страны были уже христианами. Путь христианства СНИЗУ ВВЕРХ.

В России великий князь выбрал религию и крестил своих подданных. А начиная с Петра Великого и формально главой церкви и предстоятелем перед Богом стал император. Путь христианства СВЕРХУ ВНИЗ по вертикали.

(«Православие, самодержавие, народность» – на этом триединстве прочно стало правление в России в XIX веке, когда Европа, независимо от форм правления, окончательно разделила светскую и духовную власти. Нынешнее фундаменталистское крыло православия прямо возводит убиенного большевиками царя не только в святые, но почти в распятого Христа, как и саму революцию в иудейский синедрион.)

А теперь взглянем на русскую историю глазами светлых умов, составивших мировую славу России и именуемых классиками. Отнесемся к ним просто как к частным, честным свидетелям и увидим, что к этому времени сочетание слов «самодержавие и православие» превратились в полицейскую удавку, а говорить о «народности» в стране, где высший класс даже изъяснялся на другом языке и где откровенное рабство большей части населения было законом, – кощунственно. «Россия, которую мы потеряли» явлена нам не только умилением перед

царем, купцами-благотворителями и крестьянами, любящими своих господ, но свидетельствами и оценками Пушкина, Герцена, Белинского, Гоголя, Достоевского, Толстого, Некрасова, Салтыкова-Щедрина, Чехова, Горького, Короленко. И это Россия, изнемогающая под гнетом несправедливости, муки, страданий, голода.

Социальная революция набухла во всех странах. Но чудовищным обвалом рванула она в России, потому что здесь неестественность жизнеустройства дошла до последнего края. И только на этой волне могли большевики найти поддержку чудовищному перевороту жизни. Поддержку! Она была! Потому что ни на какие деньги, будь их хоть триллионы, нельзя купить всё население гигантской страны. И никаких евреев не хватило бы, чтобы одурочить и закабалить 150 000 000 неевреев.

Был переворот, бунт, революция. Жесточайший взрыв уничтожения прошлого. Энергия, подобная атомной, сметающая всё и вся. Но сильнее даже этой энергии злобы, мести, надежды был тысячелетиями созданный КОД СОЗНАНИЯ. Эта особенность страны, где рабами было собственное население, где богом был царь, где свет и истина шли только сверху, где вместо креста – пересечения вертикали и горизонтали – была одна только вертикаль – палка, которой грозят и бьют.

Царя свергли и убили, Бога нет, и храмы разорены. Но генетический код требует вертикали власти и вертикали безоговорочной веры. Только поэтому в кратчайший срок из пустоты, из полного незнания, возникла сходная система, только в вывороченном виде. И уже казалось, сбылось речение Откровения Иоанна Богослова и явился антихрист – сразу со всем воинством.

Может быть, вовсе неосознанно, но случилась для русского человека подмена. И борода Карла Маркса совершенно сгодилась для богатоца, а бог-сын – Ленин. И потому уже в 24-м году (всего 7 лет после великого обвала!) простились с ним как с богом и тайно ждали воскресения. Воскресения не последовало. И тогда – точно следуя логике нового культа и так сходно с древним фараонским культом Египта – его забальзамировали в ожидании восстания из мертвых. Бессмертие было объявлено в лозунгах и стихах. И десятки лет ходило население стотысячными очередями глядеть: не ожил ли?

Был и третий сочлен антихристовой триады (чтобы не сказать – трицы) – святой дух Армагеддона – тот самый «непорочный, неприкасаемый», исходящий от отца и сына, но в результате САМ ВСЁ ТВОРЯЩИЙ и НАД ВСЕМ ВИТАЮЩИЙ. И это был Сталин.

В последнем акте нашего спектакля Вождь размышляет вслух и поучает своего загробного оппонента психиатра Бехтерева: «Много веков Россия хотела стать Третьим Римом. И не ста-

ла, потому что русские цари плохо учили историю. Из знаменитого латинского постулата «Разделяй и властвуй!» они умудрились усвоить только вторую часть – «Властвуй!». А надо было учить первую – «Разделяй!». Тогда вторая придет сама собой».

Сталин прекрасно умел разделять для того, чтобы властвовать, и властвовать для того, чтобы разделять. Одних барски награждать, других арестовывать. А потом еще взять и поменять местами. Поставить на людей клеймо классовой принадлежности и противопоставить один класс другому. Диктатура пролетариата должна уничтожить прежде господствовавший класс и все его производные. А сомнительное крестьянство – бывших недавних рабов – разделить на кулаков, середняков, бедняков и всех натравить друг на друга. Выселять целые нации и помещать их внутри других, с которыми они несовместимы.

А лозунгами этой общности, стоящей на насилии, сделать – «Народ и партия едины», «Партия и Ленин близнецы-братья», «Сталин это Ленин сегодня». И вот простой силлогизм дает сумму: «Сталин это народ» и «Народ это Сталин».

«За Родину, за Сталина!» – поднимали командиры солдат в атаку. Сегодняшние скептики говорят, что это была пустая пропаганда, в которую никто не верил. Это неправда. Лозунг был внятен людям и вместе со «ста граммами» помогал преодолевать страх смерти. Была неосознанная религия – социализм, был бог – Сталин, и был загробный рай для потомков – коммунизм.

Конечно, не все в это верили. Естественно, существовала прослойка самостоятельно мыслящих, были люди, по разным причинам не приемлющие и строй, и его лозунги. Но ведь и в православной России Романовых тоже жили среди других и богоотступники, и богоборцы, и цареубийцы. И была огромная масса, которая, как при любом строе, жила, чтобы выжить, погруженная в ежедневные тяготы; формально выполняла требуемые обряды, а сама маленько хитрила, маленько веселилась, размножалась – и всё, и только! Но особый психологический код, вне их воли и разума, заряжен был в них столетиями неподвижного рабства. И при этом тоже был объявленный монолит – тот самый, тройственный – «Православие, самодержавие, народность!». И тоже было сознательное (которое строго блюли!) РАЗДЕЛЕНИЕ. Название было другое – делили не на классы, а на сословия. Державная философия того времени тоже говорила: именно сословное разделение – опора самодержавия, рабы должны оставаться рабами, инородцы должны оставаться инородцами. И даже великий Гоголь в полубезумии своих последних лет восславил крепостное право как благо для господ и для крестьян, ибо «так Господь установил». Таков взгляд сверху – от господ.

А чеховский Фирс из «Вишневого сада» го-

ворит: «Перед несчастьем то же было: и сова кричала, и самовар гудел бесперечь. – Перед каким несчастьем? – Перед волей». Это взгляд снизу – от крепостных.

Чехов скорбел и смеялся над этим, но писал правду – Фирс-то говорил не для смеха. Он так думал. А потомки его и по сию пору так чувствуют. Воля – это беда! Потому что «от людей». А крепостное состояние – от Бога. Надо терпеть. Терпением и свята Русь.

Подмена Христа на антихриста иногда была принята даже жертвами этой подмены. В кругах эмиграции после ужасов Гражданской войны и первых лет советской власти, вызвавших решительное отрицание, позднее решительность поуменилась. А еще позднее некоторые стали в позицию «нового великодержавия»: коли есть держава и сильна империя, то даже без креста, даже с застенками – это наша Русь. Только поэтому ГПУ и КГБ могли столь успешно вербовать сотрудников в среде, казалось бы, враждебной. И в непостижимых покаяниях и самооговорах бывших соратников – Бухарина и других – на чудовищных процессах, кроме страха, был еще и религиозный момент – восторг самобичевания в вывернутой наизнанку вере в высшее существо. И в прославляющих власть речах Мейерхольда, Немировича-Данченко, в поэмах Маяковского (людей, несомненно, великих) был не только, и даже не столько страх, сколько вера или попытка веры в новую религию.

И снова поставим вопрос: Сталин умер более полувека назад. Умерло ли с ним явление, которое мы называем сталинизмом? Когда родилось оно? Чуждо ли оно генетическому коду нашего народа? Или сталинизм эксплуатировал некоторые психологические черты, органически нам присущие?

Почему еще недавно портрет Сталина можно было видеть на лобовых стеклах многих грузовиков? Почему старые люди с красными флагами толкуются на площади и раздают листовки с портретом Сталина? Мне скажут: не обращайтесь внимания! Это дураки, выжившие из ума, или им заплатили гроши за эту суету вокруг пустоты.

Может быть. А может, стоит вслушаться в эти голоса? И поговорить с этими людьми? А? Они ведь тоже наш народ, и тоже потомки двух империй – той, дальней, романовской, и этой, недавней, сталинской. Это потомки рабов и надсмотрщиков, которые в генах несут тяготение к хлысту, правящему жизнью, которые готовы все стерпеть и непрерывно призывать других терпеть и смиряться. С ними надо говорить не для того, чтобы набраться их духа, нет! Для того чтобы понять: пока раздаются эти голоса (и это «пока» будет длиться довольно долго), демократия и свободное волеизъявление народа будут давать поразительный результат. Народ вроде

голосует, чтобы ему же было хуже. Мы потерпим, лишь бы государству вреда не было. Да, бедствуют, да, недовольны, да, говорят – обижают нас ЧИНОВНИКИ. А особо всякие чужаки гадят, от них всё. Надо бы такого крепкого Большого хозяина, чтобы погнал их всех. За такого мы горой, вот за такого мы всё стерпим, всех по решим... и при этом мухи не обидим. Господи! Что это? Интеллигентам только и остается воскливать: «Россия, ты сошла с ума!»

И правильно ли вычеркивать из учебников истории 70 лет советской власти как черный пропуск? Так нас, школьников 40-х годов, обя-звали заливать чернилами в учебнике портрет очередного арестованного бывшего вождя.

Мы ищем идейную опору для нашего народа, для себя. Мы хотим воспитать в народе и в себе патриотизм. Слова эти стерлись до полной невесомости. Нельзя быть патриотом страны, в истории которой просто залиты черной тушью

несколько поколений – жизнь отцов, дедов и прадедов тех, кто начинает жизнь сейчас. То, что было в те годы, не тогда началось и не тогда кончилось.

В эту жизнь нужно взглядеться и попытаться понять ее. Никуда не деться – это часть нашей истории. И не злые ветры занесли эти семена. Корни надо искать в нашей земле, чтобы понять самих себя.

Мне скажут: а вот другие нации... вот немцы... вот японцы... там тоже был тоталитаризм, так они...

Немцы и японцы, наверное, тоже думают о себе – ищут, находят, ошибаются, снова ищут. И мы подумаем о них – не вредно. Но в другой раз.

А сейчас разговор о нас, о нашем сегодняшнем дне и о том, как отчитаться нам перед внуками за XX век, в котором прожили мы большую часть нашей жизни.

Многоточие...

УДК 141.333

В. Н. Урцев, Н. В. Урцев

## **ОБ АНТРОПНОМ ПРИНЦИПЕ И НЕОЖИДАННЫХ СООТНОШЕНИЯХ**

Антропный принцип (АП) – от греческого *anthropos* (человек) – один из принципов современной физики и философии, постулирующий обусловленность возможности появления Человека физическими параметрами Вселенной. В частности, фундаментальными физическими константами, такими как постоянная Планка, скорость света, масса протона и электрона и т.д. Неоднократно показано, что незначительного изменения любой из этих констант достаточно для того, чтобы белковая жизнь не могла бы возникнуть.

Существует множество формулировок АП. Пожалуй, чаще всего используют формулировки профессора Б. Картера – отца АП, выдвинутые им в 1973 г. Картер сформулировал два утверждения – слабый АП и сильный АП.

Слабый АП констатирует, что имеющиеся во Вселенной условия не противоречат существованию человека. «То, что мы ожидаем наблюдать, должно быть ограничено условиями, необходимыми для нашего существования как наблюдателей», иными словами: «Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей». Сильный АП выдвигает жесткую взаимосвязь параметров Вселенной с необходимостью появления в ней Разума: «Вселенная (следовательно, и ее фундаментальные параметры) должна быть такой, чтобы

в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей» [1].

Сильный АП является глубоким эвристическим принципом, постулирующим взаимосвязь появления Разумной Жизни и строения Вселенной, согласно которому Жизнь и Разум – закономерное следствие развития Вселенной, устроенной так, что ее эволюция с необходимостью ведет к появлению Разума.

Поскольку мы упомянули о множестве формулировок АП, приведем еще две. Первая принадлежит профессору М. Кацнельсону с соавторами и цитируется по [2], вторая выдвинута авторами настоящей статьи (вернее, одним из них) в конце 80-х годов прошлого века.

Утверждение М. Кацнельсона: «Вселенная устроена так, чтобы жить в ней было не только можно, но и интересно». Наше утверждение: «Основное свойство Вселенной – быть познаваемой».

В мировоззренческом плане АП – воплощение идеи взаимосвязи человека и Универсума, выдвинутой еще в античности, а в эпоху Возрождения ставшей частью парадигмы антропоцентризма.

Суть идеологии антропоцентризма впервые сформулировал итальянский философ-гуманист, современник Леонардо да Винчи, Пико дела Мирандоло, в трактате «О достоинстве человека» (далее цитируется по [3]).



«В мире нет ничего более ценного, чем человек. Человек – это прекрасный и совершенный «малый мир», микрокосм. Не только душа, но и тело человека представляют собой высшую ценность и самое прекрасное из того, что существует в мире. Любовь – эрос есть самое великое чувство из испытываемых человеком.

Но любовь – эрос возможна лишь к прекрасному телу, поэтому телесная красота как источник всякой жизни представляет собой идеал. Что же касается души, то ее величие состоит в свободе и стремлении к знанию».

Именно стремясь к знанию и занимаясь в лаборатории ИТЦ «Аусферр» исследованием различий кинетики эвтектоидного превращения в стали при температурах выше и ниже температуры Кюри ( $T_K$ ) феррита, авторы 26.08.2006 года в г. Магнитогорске записали соотношения, приведенные ниже.

Соотношения удивительным образом связывают температуры плавления ( $T_{пл}$ ) и температуры перехода в ферромагнитное состояние при охлаждении – температуры Кюри Fe, Co и Ni (3d-переходных металлов) с критическими температурами (температурой плавления и температурой кипения) воды ( $T_{плH_2O}$ ,  $T_{кипH_2O}$ ).

Подразумевая, что имеет место эвристическая запись, мы намеренно ставим знак точного равенства, хотя имеются незначительные расхождения при расчете констант по данным выражениям в сравнении со справочными значениями.

Справочное значение параметра записано внизу слева от выражения, расчетное – справа.

Кроме того, чтобы не загромождать запись, мы сознательно опускаем индекс магнитной фазы (например, ОЦК Fe), оставляя только символ элемента (Fe).

Еще одна особенность приведенной ниже записи состоит в том, что соотношения выражены тремя разными способами, хотя любого из них достаточно для того, чтобы вывести остальные.

Итак, для 3d-переходных металлов и воды справедливы следующие соотношения.

$$\begin{array}{lcl}
 T_{плFe} = 2T_{KFe} - T_{плH_2O} & & \\
 \mathbf{1812} & & \mathbf{1811} \\
 T_{плCo} = T_{KCo} + T_{кипH_2O} & & \\
 \mathbf{1766} & & \mathbf{1767} \\
 T_{плNi} = T_{KNi} + 4T_{плH_2O} & & \\
 \mathbf{1726} & & \mathbf{1723} \\
 T_{KFe} = \frac{1}{2}(T_{плFe} + T_{плH_2O}) & & \\
 \mathbf{1042} & & \mathbf{1042.5} \\
 T_{KCo} = T_{плCo} - T_{кипH_2O} & & \\
 \mathbf{1394} & & \mathbf{1393}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 T_{KNi} = T_{плNi} - 4T_{плH_2O} & & \\
 \mathbf{631} & & \mathbf{634} \\
 T_{плH_2O} = 2T_{KFe} - T_{плFe} & & \\
 \mathbf{273} & & \mathbf{272} \\
 T_{плH_2O} = \frac{1}{4}(T_{плNi} - T_{KNi}) & & \\
 \mathbf{273} & & \mathbf{273.75} \\
 T_{кипH_2O} = T_{плCo} - T_{KCo} & & \\
 \mathbf{373} & & \mathbf{372}
 \end{array}$$

Остановимся немного на избранной нами форме представления. В каждой из трех групп соотношений в двух выражениях (для Fe и Ni) используется  $T_{плH_2O}$ , а в одном (для Co)  $T_{кипH_2O}$ .

Учитывая, что  $T_{кипH_2O}$  и  $T_{плH_2O}$  связаны простым соотношением

$$T_{кипH_2O} = \frac{\sqrt{3} + 2}{\sqrt{3} + 1} T_{плH_2O},$$

можно было бы оставить в записи только один из указанных параметров (либо  $T_{плH_2O}$ , либо  $T_{кипH_2O}$ ).

Мы не сделали этого, поскольку считаем, что тем самым была бы снижена эвристическая ценность записи.

Авторы должны честно признаться, планируя данную статью, мы были намерены после предыдущего предложения перейти к обсуждению и выводам. Однако в процессе работы над текстом нами было получено еще одно удивительное соотношение, заслуживающее того, чтобы остановиться на нем подробнее. Соотношение имеет следующий вид:

$$\frac{T_{кипH_2O} - T_{челH_2O}}{T_{челH_2O} - T_{плH_2O}} = \sqrt{3}.$$

Сделаем необходимые пояснения.

$T_{челH_2O}$  – температура воды в человеческом теле, или просто физиологическая температура человеческого тела:  $36.6...^{\circ}C$  ( $309.6...K$ ).

Что означает обсуждаемое соотношение в геометрическом понимании, иллюстрирует **рис. 1**.

$T_{челH_2O}$  разбивает «водный отрезок» [ $T_{плH_2O}$   $T_{кипH_2O}$ ] таким образом, что отношение большего из двух, полученных в результате разбиения отрезков ( $n$ ), к меньшему ( $v$ ) равно  $\sqrt{3}$ . Отметим, что, приняв отрезок [ $T_{плH_2O}$   $T_{кипH_2O}$ ] за единичный, получим  $v=0.36602540...$ ,  $n=0.63397459...$

По аналогии с «золотой пропорцией» для «водного отрезка» справедливы следующие соотношения:

$$u = \frac{1 + \sqrt{3}}{2} = 1.36602\dots$$

$$u = 1 + \frac{1}{2u}$$

$$u^2 = u + \frac{1}{2}$$

$$u^n = u^{n-1} + \frac{u^{n-2}}{2}$$

Отметим, что представленные выше выражения приведены только для того, чтобы подчеркнуть аналогию с «золотой пропорцией». В данной статье они использоваться не будут.

Поскольку  $\sqrt{3}$  – число иррациональное, приведем значение  $T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}}$ , получаемое из рассматриваемого соотношения:

$$T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}} = 309.602540\dots \text{К.}$$

Представленный результат позволяет говорить, что соотношение  $\frac{T_{\text{кип}_{\text{H}_2\text{O}}} - T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}}}{T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}} - T_{\text{пл}_{\text{H}_2\text{O}}}} = \sqrt{3}$

выполняется точно (в том смысле, что мы можем определить параметры, входящие в соотношение, с любой, нужной нам точностью).

На рис. 2 вы видите **треугольник**, катетами которого являются малые отрезки «водного отрезка».

Именно к изображенному на рис. 2 треугольнику относятся слова Платона: «Среди множества треугольников есть один, прекрасный, ради которого мы оставим все прочие, а именно тот, который в соединении с подобным ему образует третий треугольник – равносторонний» (цитируется по [4]). Соглашаясь с Платоном, мы в настоящей работе будем называть данный треугольник «красивым».

«Красивый треугольник» обладает рядом замечательных свойств, но в данной работе мы подчеркнем только одно из них. Длина окружности, описанной вокруг «красивого треугольника», равна  $2\pi$  (это справедливо при  $v=1$ ,  $n=\sqrt{3}$  и  $m=2$ ). Таким образом, можно говорить,

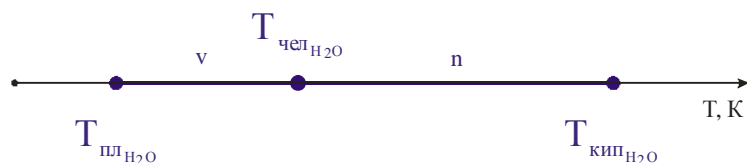


Рис. 1. К геометрической интерпретаций соотношения

$$\frac{T_{\text{кип}_{\text{H}_2\text{O}}} - T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}}}{T_{\text{чел}_{\text{H}_2\text{O}}} - T_{\text{пл}_{\text{H}_2\text{O}}}} = \sqrt{3} \text{ . «Водный отрезок»}$$

что соотношение температур воды, записанное нами, «задает» число  $\pi$ .

Немного забегаая вперед, отметим, что возможно и другое утверждение. «Поскольку  $\sqrt{3}$  и  $\pi$  в этой Вселенной такие, какие они есть, то критические температуры воды и температура человеческого тела таковы, какими мы их наблюдаем».

В продолжение темы геометрической интерпретации соотношения для температур воды нами сделано предположение о соответствии физиологических пропорций человеческого тела пропорции, заданной «водным отрезком». К этому нас, в немалой степени, подтолкнули афоризм немецкого мыслителя Новалиса, много сделавшего для понимания природы воды: «Нет сомнения, что наше тело – это река, принявшая форму тела», и монография Теодора Швенка «Чувствующий хаос: Образование движущихся форм в воде и воздухе» [5].

Эстетические пропорции при изображении тела человека, как известно, задают «золотым» сечением (единичный отрезок разбивается «золотым делением» на отрезки с длинами 0.618... и 0.382...).

В XIX веке немецкий исследователь Цейзинг, измерив около двух тысяч человеческих тел, показал, что основная пропорция мужского тела среднестатистически составляет  $13:8=1.625$ , а среднее значение основной пропорции тела женщины выражается как  $8:5=1.6$ .

Пропорция, получаемая из золотого сечения, составляет 1.6178....

Однако по нашим данным, основная пропорция гармонично сложенного женского тела составляет  $\approx 1.7$ , что гораздо ближе к  $\sqrt{3} \approx 1.7320\dots$ , чем к 1.6178....

Пропорцию тела, соответствующую «водному отрезку», иллюстрирует рис. 3.

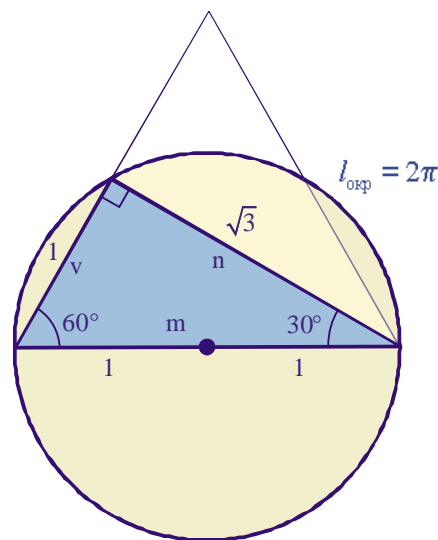


Рис. 2. «Красивый треугольник»

На этом мы хотели бы завершить тему геометрической интерпретации Соотношения и вернуться к антропному принципу.

Итак, в настоящей работе представлены: Запись соотношений для критических температур воды и 3d-переходных металлов; и Соотношение, связывающее значения критических температур воды с физиологической температурой человеческого тела.

В Записи неожиданно для нас оказались связанными параметры веществ, исключительно важных как для возникновения Жизни ( $H_2O$ ) [5], так и для развития Человеческой Цивилизации (Fe) [2].

Игра чисел (мировых констант) или Замысел Творца приводит к согласованию  $T_K$  и  $T_{пл}$  металлов, отвечающих за земной магнетизм (ядро Земли в основном состоит из Fe и Ni), с критическими температурами воды, причем согласование это выражено на редкость простыми соотношениями.

Может быть, это необходимое условие того, чтобы земной магнетизм «включился вовремя» (без магнитного поля развитие жизни на Земле было бы невозможно). Может быть, необходимость такого согласования кроется в другом??

В любом случае само обстоятельство согласования вызывает восхищение. Если это Игра констант – то игра захватывающая; если Замысел – то замысел гениальный.

Поразившее нас своей красотой и прогнозическим потенциалом Соотношение для температур воды, на наш взгляд, – яркое свидетельство того, что человеку обеспечены исключительно комфортные условия. Мы живем в Удобной Вселенной, которая к тому же еще и Красива. В заключительной части статьи, будучи сторонниками сильного антропного принципа и именно с этих позиций трактуя представленный в работе материал, мы хотели бы сформулировать два эвристических утверждения.

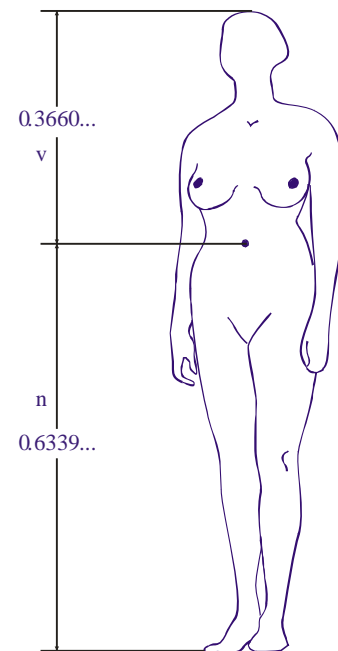
#### Утверждение 1

*Согласование параметров, выраженное в Записи соотношений критических температур воды и 3d-переходных металлов, необходимо для возникновения белковой жизни.*

#### Утверждение 2

*Соотношение критических температур воды с физиологической температурой человеческого*

$$\frac{n}{v} = \sqrt{3}$$



**Рис. 3. Основная пропорция человеческого тела в предположении ее связи с соотношением для критических температур воды**

*тела является принципиально важным для построения человеческого организма.*

На этой эмоциональной ноте можно было бы и закончить настоящую статью, если бы не одно обстоятельство. Обстоятельство это заключается в том, что, нисколько не претендуя на оригинальность и глубину, мы хотели бы сказать несколько слов, акцентирующих наше отношение к феномену Творчества.

Творчество – свойство космическое, и результат его обусловлен, в том числе, близким окружением вовлеченного в творческий процесс индивидуума. Мы благодарны близким нам людям Юрию Горностыреву, Евгению Мокшину, Наталье Шмаковой, Марине Урцевой за то, что они с нами, за креативность и плодотворные дискуссии.

Авторы благодарят Диму Хабибулина и Сергея Воронкова за помощь при подготовке рукописи к изданию.

Особая благодарность профессору МГТУ Геннадью Гуну за понимание, терпение и ценные советы.

#### Библиографический список

1. Картер Б. Совпадение больших чисел и антропологический принцип в космологии // Космология: теория и наблюдения. М., 1978.
2. Кацнельсон М.И., Лихтенштейн А.И. Проблема железа // Фазовые и структурные превращения в сталях: Сб. науч. тр. Вып. 3 / Под ред. В.Н. Урцева. Магнитогорск, 2003. 576 с.
3. Лупандин И. Анализируя код. Роман Дэна Брауна «Код да Винчи»: попытка философского анализа // Что нового в науке и технике. 2006. № 6. С. 78–83.
4. Стахов А., Слученкова А., Щербаков И. Код да Винчи и ряды Фибоначчи. СПб.: Питер, 2006. 320 с.
5. Швенк Т. Чувствующий хаос: Образование движущихся форм в воде и воздухе. М.: Новый Центр, 2003. 215 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абдрахимов Урал Туткабаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры горных машин и оборудования, ректор Рудненского индустриального института, Казахстан.

**Алин Шиель** – инженер-технолог по защитно-декоративным покрытиям, менеджер по продажам “Atotech Skandinavien AB”, Швеция.

**Анциферова Ирина Владимировна** – доктор технических наук, доцент ФГНУ «Научный центр порошкового материаловедения», г. Пермь.

**Арзамасцев Александр Михайлович** – доктор философских наук, профессор кафедры философии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Басов Борис Алексеевич** – начальник ЛПЦ-3 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Бахметьев Виталий Викторович** – директор ЗАО «Механо-ремонтный комплекс» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Бигеев Вахит Абдрашитович** – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов, декан химико-металлургического факультета ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Бодяев Юрий Алексеевич** – главный инженер ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Бринза Вячеслав Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заместитель проректора ГОУ ВПО «Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет)».

**Брялин Марат Файзулович** – генеральный директор ОАО «Баймакский литейно-механический завод».

**Будовских Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

**Валиахметов Альсед Хабибуллаевич** – ведущий инженер ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Варшавский Евгений Александрович** – кандидат технических наук, главный специалист управления разработок дирекции по информационным технологиям ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

**Вафин Рашид Каримович** – доктор технических наук, профессор, директор НИИ АПП, г. Москва.

**Виер Игорь Владимирович** – кандидат технических наук, вице-президент ООО «Управляющая компания ММК».

**Воробьев Александр Егорович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного и нефтяного дела РУДН, руководитель отдела экологии и рационального природопользования ГГМ РАН, полковник госгортехнадзора, академик АГН, заслуженный деятель республики Северная Осетия – Алания.

**Гладуш Александр Дмитриевич** – кандидат технических наук, проректор Российского университета дружбы народов, г. Москва.

**Глухарева Ольга Николаевна** – инженер ФГНУ «Научный центр порошкового материаловедения», г. Пермь.

**Гоуфек Иржи** – менеджер по продажам “Atotech-M.A.G. CZ, a.s.”, Чехия.

**Громов Виктор Евгеньевич** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.



**Гун Геннадий Семенович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлургических и машиностроительных технологий, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Дегтярев Василий Николаевич** – начальник экспериментального отдела Исследовательско-технологического центра «Аусферр», г. Магнитогорск.

**Денисов Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, начальник лаборатории горячего проката ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Джаманбаев Мураталы Джужумалиевич** – доктор физико-математических наук, профессор, ректор Кыргызского государственного технического университета им. Исаака Раззакова, Кыргызстан.

**Добровольскис Пронцишикус** – доктор естественных наук, генеральный директор ЗАО «Atotech-Chemeta», Литва.

**Довженко Иван Николаевич** – старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота», г. Красноярск.

**Довженко Николай Николаевич** – доктор технических наук, Первый проректор – проректор по научной работе, профессор ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота», г. Красноярск.

**Дятлов Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, первый заместитель губернатора Челябинской области.

**Егорова Лада Юрьевна** – научный сотрудник лаборатории физического металловедения Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург.

**Жалгасбеков Абзал Зарубаевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой горных машин и оборудования Жезказганского университета, Казахстан.

**Железков Олег Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Сопротивление материалов и теоретическая механика» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Жлудов Виктор Владиславович** – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Закиров Дильфат Минияхметович** – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Белебеевский завод "Автономаль"».

**Зоннтаг Биргит** – доктор, руководитель отдела антикоррозионных покрытий «Atotech Deutschland GmbH», Германия.

**Зуб Вадим Викторович** – ведущий инженер кафедры обработки металлов давлением Донецкого национального технического университета, Украина.

**Илимбетов Азамат Фаттахович** – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и геодезии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Илларионов Илья Егорович** – Президент АН ЧР и ИТА ЧР, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ТКМ и ЛП Чебоксарского института филиала Московского государственного открытого университета.

**Кожугулов Камчыбек Чонмурунович** – член-корреспондент Национальной Академии Наук Кыргызской Республики, доктор технических наук, профессор, директор Института физики и механики горных пород НАН КР, Кыргызстан.

**Колесников Александр Григорьевич** – доктор технических наук, проректор НУК «Машиностроительные технологии», профессор, заведующий кафедрой МТ-10 ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».

**Колокольцев Валерий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, Первый проректор, заведующий кафедрой электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Коровин Александр Валентинович** – старший научный сотрудник Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета)».

**Круглова Александра Анатольевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург.

**Кузьмин Сергей Львович** – доцент кафедры горных машин и оборудования Рудненского индустриального института, Казахстан.

**Куницын Глеб Александрович** – кандидат технических наук, начальник ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Кушнарев Алексей Владиславович** – кандидат технических наук, Управляющий директор ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», вице-президент ООО «ЕвразХолдинг».

**Лейрих Игорь Валентинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры ФМ Донецкого национального технического университета, Украина.

**Лукьянов Сергей Иванович** – доктор технических наук, профессор, заместитель проректора по научной работе, директор Инновационно-технологического центра ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Мазур Игорь Петрович** – доктор технических наук, профессор, директор центра инжиниринга и компьютерных технологий ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет».

**Малофеев Алексей Евгеньевич** – аспирант ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Мальцев Андрей Анатольевич** – кандидат технических наук, ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».

**Медведев Алексей Евгеньевич** – инженер-исследователь ОАО «Уральский научно-исследовательский институт абразивов и шлифования» (УралНИИАШ), г. Челябинск.

**Милкин Дмитрий Алексеевич** – сотрудник лаборатории «Теория проектирования» Института проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва.

**Минаев Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением, ректор Донецкого национального технического университета, Украина.

**Мироненков Евгений Иванович** – ведущий инженер Управления технического обслуживания и ремонтов механического оборудования ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», аспирант кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Мокшин Евгений Дмитриевич** – начальник отдела технического обеспечения Исследовательско-технологического центра «Аусферр», г. Магнитогорск.

**Молева Ольга Николаевна** – ведущий инженер лаборатории жести ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Морозов Андрей Андреевич** – доктор экономических наук, кандидат технических наук, вице-президент ООО «Управляющая компания ММК».

**Ненахов Вячеслав Анатольевич** – аспирант кафедры прокатки ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет».

**Никифоров Борис Александрович** – доктор технических наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Николаев Олег Анатольевич** – начальник сталеплавильного отдела ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Носов Алексей Дмитриевич** – кандидат технических наук, директор ООО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».

**Омуралиев Сагындык Бекишевич** – научный сотрудник Института физики и механики горных пород Национальной Академии Наук Кыргызской Республики, Кыргызстан.

**Пантелеев Антон Владимирович** – аспирант ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Песин Александр Моисеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Петренко Юрий Петрович** – кандидат технических наук, начальник ЦЛК ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат».

**Петрунин Владимир Александрович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

**Платов Сергей Иосифович** – доктор технических наук, профессор, декан механико-машиностроительного факультета, заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки давлением» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Пожидаев Юрий Александрович** – студент механико-машиностроительного факультета ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Радченко Дмитрий Николаевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва.

**Райт Вальтер Вильгельмович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией ОАО «Уральский научно-исследовательский институт абразивов и шлифования» (УралНИИАШ), г. Челябинск.

**Рашников Виктор Филиппович** – доктор технических наук, Президент ООО "Управляющая компания ММК", Председатель Совета директоров ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», профессор кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Рашников Сергей Филиппович** – коммерческий директор ЗАО «Профит», г. Магнитогорск.

**Ребезов Максим Борисович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания, заведующий общеуниверситетской научно-исследовательской лабораторией физико-химических методов исследования ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Рубин Геннадий Шмульевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических и машиностроительных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Рудской Андрей Иванович** – доктор технических наук, профессор, Первый проректор – проректор по научной работе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, заведующий кафедрой «Пластическая обработка металлов».

**Рыбин Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Пластическая обработка металлов» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

**Рыльникова Марина Владимировна** – доктор технических наук, профессор Института проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва.

**Салганик Виктор Матвеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением, декан факультета технологий и качества ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Сарычев Борис Александрович** – заместитель начальника производственного управления ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Семашко Марина Юрьевна** – аспирант кафедры «Машины и технология обработки материалов давлением» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

**Сеничев Геннадий Сергеевич** – вице-президент ООО «Управляющая компания ММК», исполнительный директор ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Сидельников Сергей Борисович** – Первый проректор – проректор по учебной работе, доктор технических наук, доцент ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота», г. Красноярск.

**Ситников Игорь Викторович** – кандидат технических наук, начальник технологического отдела ООО «ЗМИ-Профит», г. Магнитогорск.

**Смирнов Евгений Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Донецкого национального технического университета, Украина.

**Соханчук Денис Валентинович** – инженер-технолог лаборатории жести ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Стеканов Павел Александрович** – инженер лаборатории горячего проката ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Сухов Алексей Владимирович** – кандидат технических наук, начальник лаборатории прокатных станов ВНИИЖТ, г. Москва.

**Счастливец Вадим Михайлович** – академик РАН, доктор технических наук, заведующий лабораторией физического металловедения Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург.

**Сычев Андрей Юрьевич** – директор ООО «ЗМИ-Профит», г. Магнитогорск.

**Сычков Александр Борисович** – доктор технических наук, заместитель начальника технического отдела совместного закрытого акционерного общества «Молдавский металлургический завод», г. Рыбинск, Молдавия.

**Табатчикова Татьяна Иннокентьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физического металловедения Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург.

**Терентьев Дмитрий Вячеславович** – кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Машины и технологии обработки давлением» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Третьяков Владимир Аркадьевич** – доктор технических наук, профессор, директор по инновационным технологиям ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

**Урцев Владимир Николаевич** – генеральный директор Исследовательско-технологического центра «Аусферр», президент Фонда науки и образования «Интелс», г. Магнитогорск.

**Урцев Николай Владимирович** – студент 2 курса колледжа Charterhouse, Англия.

**Ускова Елена Сергеевна** – кандидат экономических наук, экономист управления финансовых ресурсов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Файзулина Римма Вафировна** – кандидат технических наук, начальник лаборатории жести ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Филиппов Георгий Александрович** – доктор технических наук, директор института качественных сталей ЦНИИЧЕРМЕТ, г. Москва.

**Хван Вячеслав Валентинович** – проректор Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета)».

**Цвиркун Оксана Александровна** – аспирантка кафедры физики ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

**Целлермаер Владимир Яковлевич** – доктор технических наук, профессор, проректор ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

**Цеменко Валерий Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Пластическая обработка металлов» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.



**Чаплыгин Александр Борисович** – кандидат технических наук, аспирант кафедры машин и технологий обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск.

**Чекушина Татьяна Владимировна** – главный ученый секретарь Совета по обогащению РАН, г. Москва.

**Чукин Михаил Витальевич** – доктор технических наук, профессор кафедры металлургических и машиностроительных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Шеркунов Виктор Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и технология обработки материалов давлением» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

**Шмаков Антон Владимирович** – студент 4 курса факультета технологий и качества ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Шмаков Владимир Иванович** – кандидат экономических наук, вице-президент ООО «Управляющая компания ММК».

**Щербо Юрий Александрович** – кандидат технических наук, заместитель директора по производству ООО «ЗМИ-Профит», г. Магнитогорск.

**Экк Аркадий Евгеньевич** – аспирант кафедры «Машины и технология обработки материалов давлением» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

**Юрский Сергей Юрьевич** – народный артист России.

**Юрченко Гай Николаевич** – директор ЗАО «Металлпромсервис», г. Магнитогорск.

**Яковлева Ирина Леонидовна** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории физического металловедения Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург.

Годовый отчет за 2006 год

**В** шести диссертационных Советах МГТУ им. Г.И. Носова защитили диссертации 48 соискателей из Магнитогорска, Якутска, Челябинска, Красноярска, Казахстана, в том числе три докторские – Платов С.И., Чернов В.П., Монянова А.Н.

**В** сторонних диссертационных советах защищено 15 диссертаций, в том числе две докторские – Смирнов А.Н., Журавин С.Г.

**З**ачислены в аспирантуру: 69 аспирантов на бюджетной основе; 32 аспиранта на платной основе.

**З**наменены аспиранты на стипендию:

- Президента Российской Федерации – Чикишев Д.Н. (науч. руководитель – д-р техн. наук Песин А.М.);
- Правительства Российской Федерации – Кузнецов А.Н. (науч. руководитель – д-р техн. наук Гаркави М.С.);
- Губернатора Челябинской области: Грдина О.А. (науч. руководитель – д-р техн. наук Корнилов С.И.); Пыталев И.А. (науч. руководитель – д-р техн. наук Гавришев С.Е.); Старостин Е.П. (науч. руководитель – д-р техн. наук Рыльникова М.В.).

**Б**олее 150 студентов приняли участие в областных, Всероссийских и Международных конференциях, олимпиадах и выставках в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург, Казань, Екатеринбург, Томск, Омск, Челябинск, Новосибирск, Новочеркасск и др. 108 докладов отмечены дипломами и грамотами.

**О**бщий объем заключенных научно-исследовательских работ составил 62861,4 тыс. руб. 166 хоздоговорных работ, 60 – госбюджетных, в том числе 57 грантов.

**К**афедрами университета выполняются научно-исследовательские работы для 54 предприятий. Наиболее крупным заказчиком является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – 67 работ на сумму 45600,0 тыс. руб.

**В** марте совместно с промышленными предприятиями города зарегистрировано некоммерческое партнерство «Инновационный технопарк МГТУ».

**З**а инновационные конкурсы различного уровня было подано свыше 80 разработок, из них 32 работы победителей отмечены грантами, медалями и премиями.

**П**одано 15 заявок и получено 8 патентов на изобретения и полезные модели.

**И**здательским центром выпущено:

- учебных пособий – 90, в том числе с грифом УМО – 15;
- монографий – 22;
- сборников научных трудов – 20.