

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

*Посвящается 75-летию кафедры
теплофизики и промышленной экологии
ГОУ ВПО «Сибирский государственный
индустриальный университет»*

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 24

Москва
Новокузнецк
2009

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 24 / Редкол.: Л.П. Мышляев (главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2009. – 239 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными и почетными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях, проблем высшего образования.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Ил. 52, табл. 33, библиогр. назв. 205.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН *В.Ж. Аренс*; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Л.П. Мышляев* (главн. редактор), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.В. Галевский* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф., советник РАЕН *М.В. Темлянецев* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, академик РАН *А.В. Елютин*, МИСиС; к.х.н., проф., д.ч. МАНЭБ *Н.М. Кулагин*, СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.А. Роменец*, МИСиС; к.х.н., проф., советник РАЕН *В.В. Руднева* (отв. секретарь), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.С. Стрижко*, МИСиС; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.И. Эскин*, ВИЛС.

Рецензент: профессор, доктор технических наук, д.ч. МАН ВШ
С.М. Кулаков

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2009

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

- Бородулин А.В. д-р техн. наук, в.н.с., Институт черной металлургии
Национальной Академии наук Украины,
г. Днепропетровск
- Галевский Г.В. д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Горбунов А.Д. д-р техн. наук, проф., ДГТУ, г. Днепродзержинск
- Громов В.Е. д-р физ.-мат. наук, проф., д.ч. Международной ака-
демии энерго-информационных наук, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Иванов Ю.Ф. д-р физ.-мат. наук, проф., Институт сильноточной
электроники СО РАН, г. Томск
- Минцис М.Я. канд. техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Селянин И.Ф. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Спирин Н.А. д-р техн. наук, проф., УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург
- Темлянцев М.В. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Черепанов К.А. д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, чл.-корр.
САН ВШ, СибГИУ, г. Новокузнецк

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
КАФЕДРЕ ТЕПЛОФИЗИКИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СИБГИУ – 75 ЛЕТ.....	8
<i>С.Г. Коротков, Г.В. Самохвалов, М.В. Темлянец</i>	
Кафедре теплофизики и промышленной экологии СибГИУ – 75 лет	9
<i>Г.В. Самохвалов, М.В. Темлянец</i>	
Иван Савельевич Назаров – выдающийся ученый и талантливый педагог.....	15
<i>Т.А. Михайличенко, В.В. Стерлигов, Н.С. Шкредова, А.Е. Корочкин</i>	
Е.И. Корочкин и его любимая кафедра.....	19
<i>С.Г. Коротков, М.В. Темлянец</i>	
О Геннадии Иосифовиче Черныше	22
<i>В.В. Стерлигов</i>	
Лучшая половина кафедры.....	25
<i>К.А. Черепанов, М.В. Темлянец, Е.Н. Темлянцева</i>	
Рециклинг отходов как основа ресурсосбережения.....	27
<i>Е.В. Медведская, М.В. Темлянец</i>	
Практика и перспективы топливо-кислородного подогрева металлолома в дуговых сталеплавильных печах	33
<i>М.В. Матвеев, М.В. Темлянец</i>	
Исследование теплового состояния кожухов 130-т сталеразливочных ковшей.....	40
<i>М.В. Темлянец, О.Д. Олендаренко</i>	
Исследование влияния химико-минералогического состава защитных керамических покрытий на интенсивность угара рельсовой стали.....	44
<i>В.М. Павловец</i>	
Определение оптимальных параметров принудительного зародышеобразования при производстве окатышей	48
<i>А.Е. Аникин, В.М. Динельт</i>	
Получение железо-углеродных брикетированных композиций и оценка их качественных характеристик	57
<i>В.В. Стерлигов</i>	
Применение метода обобщений на основе аффинных преобразований к задачам теплотехники.....	61
<i>Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев, М.М. Малащенко</i>	
Разработка и применение математических моделей оптимального управления сырьевыми и топливно-энергетическими ресурсами в аглодоменном производстве	65
<i>А.Д. Горбунов, Е.Л. Глущенко</i>	
Учёт потерь тепла через кладку печи при нагреве термически тонких тел в движущемся слое	70

<i>А.Д. Горбунов</i> Аналитический расчёт нагрева (охлаждения) цилиндра, покрытого тонкой оболочкой.....	76
<i>А.В. Бородулин, А.В. Воронцов, М.В. Темлянец, А.Л. Чайка</i> Применение метода полного энергетического баланса к макроанализу динамики энергоёмкости металлопродукции металлургического предприятия	81
<i>А.В. Бородулин</i> Энергетические и экологические аспекты функционирования коксо доменного производства в условиях экономического кризиса.....	91
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	
<i>Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов</i> Состояние и пути модернизации алюминиевых электролизеров на заводах России	102
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, П.Ю. Шефер</i> Исследование зависимости температуры расплава от состава восстановителя при силикоалюминотермической плавке ферромolibдена.....	112
<i>В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина, О.Е. Дмитровская</i> Изменение параметров кристаллизации алюминиевых сплавов после внешних воздействий в процессе плавки и заливки в литейную форму	119
<i>А.А. Уманский, В.Н. Кадыков</i> Особенности течения металла при прокатке с высоким очагом деформации ..	122
<i>А.П. Коробейников, А.Н. Филин</i> Анализ термодинамических свойств компонентов металлургических шлаков.....	128
<i>А.П. Коробейников, А.Н. Филин</i> Анализ термодинамических свойств карбонильных соединений	134
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Е.Г. Дементьева</i> Теория синтеза алмазов профессора О.И. Лейпунского (к 100-летию со дня рождения профессора О.И. Лейпунского и 70-летию его великого открытия)	142
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Е.Г. Дементьева</i> Профессор Т. Холл и синтез алмазов (к 90-летию со дня рождения профессора Т. Холла и 55-летию синтеза алмазов)	152
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	
<i>И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько</i> Приведение уравнения Шредингера к классическому виду с выделением члена, связанного с волновыми свойствами электрона	160
<i>И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько</i> Эффективные квантовые числа валентных электронов, определенные по экспериментальному значению межатомного расстояния в гомоядерных двухатомных молекулах (A_2).....	164

<i>С.В. Картий, Е.С. Ващук, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов</i> Влияние импульсной электронно-пучковой обработки на зону электровзрывного алитирования титана.....	171
<i>Е.В. Корнет, Ю.Ф. Иванов, С.В. Коновалов</i> Электронно-микроскопические исследования формирования и эволюции структурно-фазовых состояний конструкционной стали при закалке и деформации.....	175
<i>С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов</i> Методическое обеспечение исследования релаксации напряжений в металлах при внешних энергетических воздействиях.....	179
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	185
<i>С.Н. Старовацкая</i> Перспективы применения методов теории управления в материаловедении.....	186
<i>Е.В. Корнеева</i> Новый подход к повышению экономической эффективности использования закладочных смесей.....	193
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	197
<i>Н.С. Клименко, О.А. Семина</i> Некоторые особенности немецкой образовательной системы	198
<i>Г.В. Галевский, Т.В. Киселёва, В.В. Руднева</i> Непрерывное экологическое образование как фактор конкурентоспособности специалиста на рынке труда	205
<i>З.А. Масловская, Н.К. Дорошенко, Т.В. Ерилова, В.Е. Громов</i> О термодинамике, энтропии и качестве энергии в экологическом образовании	211
<i>В.Д. Сарычев, В.Е. Громов, В.А. Малиновская, С.В. Коновалов, Е.А. Будовских</i> Проблемы подготовки по физике студентов технических специальностей...	216
<i>Е.Г. Оршанская</i> Применение электронного словаря при изучении иностранных языков.....	221
<i>А.Н. Филлин, А.П. Коробейников, Ю.Е. Rogov</i> Методы повышения эффективности занятий по начертательной геометрии.	228
ОТКЛИКИ И РЕЦЕНЗИИ.....	234
<i>Е.В. Мартусевич</i> Рецензия на монографию Барнаев И.А., Пискаленко В.В., Полторацкий Л.М., Громов В.Е. Конкурентоспособность российской черной металлургии в условиях глобализации – Новокузнецк: ООО«Полиграфист», 2009 г. – 170 с.	235
К сведению авторов	237

ПРЕДИСЛОВИЕ

24-й выпуск сборника научных трудов «ВЕСТНИК ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. ОТДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИИ» посвящен 75-летию кафедры теплофизики и промышленной экологии ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». В первом разделе сборника представлена подборка статей творческих коллективов сотрудников кафедры, ученых и аспирантов по различным направлениям научных исследований в области металлургической теплофизики и промышленной экологии, а также сведения по основным этапам развития и становления кафедры, история ее возникновения, основные достижения в учебной и научной деятельности, биографии заведующих. На приглашение принять участие в юбилейном выпуске сборника научных трудов охотно откликнулись коллеги теплотехники из ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), Днепропетровского государственного технического университета и Института черной металлургии Национальной Академии наук Украины.

В составы авторских коллективов так же вошли сотрудники Института сильноточной электроники СО РАН (г. Томск), ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат», «Западно-Сибирский металлургический комбинат», «Магнитогорский металлургический комбинат», «Нижнетагильский металлургический комбинат», «Сорский ферромолибденовый завод» (Республика Хакасия).

В настоящий сборник научных трудов включены статьи, посвященные вопросам развития теории и практики металлургического производства, теоретических и экспериментальных исследований в области физики металлов и металловедения. Отдельные разделы сборника содержат разработки перспективных направлений в сфере высшего профессионального образования, материалы об ученых – создателях теории синтеза алмазов.

Редакционная коллегия выражает признание авторам статей за сотрудничество и приглашает принять участие в следующем номере сборника научных трудов.

**КАФЕДРЕ ТЕПЛОФИЗИКИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЭКОЛОГИИ СИБГИУ – 75 ЛЕТ**

УДК 669.04(092)

С.Г. Коротков, Г.В. Самохвалов, М.В. Темлянцев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

КАФЕДРЕ ТЕПЛОФИЗИКИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СИБГИУ – 75 ЛЕТ

Свои истоки кафедра теплофизики и промышленной экологии Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ) берет в далеком 1934 г. Ее «рождение» произошло спустя 4 года после создания в 1930 г. Сибирского института черных металлов (СИЧМ), который в 1931 г. был переведен в г. Новокузнецк. В те годы кафедра металлургических печей была общетехнической, за ней были закреплены дисциплины «Металлургические печи», «Топливо и огнеупоры», «Общая теплотехника», «Гидравлика». В последствии к ним добавили курс «Контрольно-измерительные приборы (КИП) и автоматика». При кафедре функционировали учебно-исследовательские лаборатории по топливу и огнеупорам, в которых при участии работников кафедр металлургии чугуна и физической химии проводились исследования свойств кузнецких углей и других шихтовых материалов, а так же местного сырья для огнеупорного цеха Кузнецкого металлургического комбината (КМК) и заводов строительной промышленности.

В штате кафедры сначала было три преподавателя и два лаборанта. В период с 1934 по 1939 гг. кафедрой заведовал доцент М.С. Спиридонов. Михаил Семенович в 1913 – 1916 гг. прошел обучение в Рижском политехническом институте. С 1916 по 1918 гг. служил в царской армии, а в 1918 – 1923 гг. в Красной армии в должностях коменданта, комиссара, помощника начальника штаба ЗСВО. 1931, 1932 гг. Михаил Семенович научный сотрудник СИЧМ, а 1933, 1934 гг. Сибирского металлургического института (СМИ). В 1938 г. ему присвоено ученое звание доцента, а в 1939 г. он назначен на должность декана металлургического факультета.

В 1940 г. в СМИ прибыл молодой кандидат технических наук И.С. Назаров, защитивший диссертацию в Уральском политехническом институте, и сменил М.С. Спиридонова на посту заведующего кафедрой. Иван Савельевич Назаров заведовал кафедрой с 1939 по 1962 гг.

В годы Великой Отечественной войны институт из специально отстроенного для него корпуса с паркетными и кафельными полами был переселен в одноэтажный тесовый барак, где студенты только слушали лекции, научно-исследовательскую работу преподаватели вели в цехах КМК и других заводов. В основном это были исследования, связанные с текущими потребностями в организации технологических процессов производства военной продукции, выплавки и термообработки броневой стали.

В послевоенные годы появились возможности улучшения качества обучения за счет организации новых лабораторий: общей теплотехники, гидравлики, КИП и автоматики.

В 1955 г. И.С. Назаровым был организован первый набор студентов по специальности «Металлургические печи», и кафедра стала специальной, выпускающей. В первом выпуске было всего 14 инженеров, но впоследствии набор и, соответственно, выпуск увеличились.

В 1957 г. И.С. Назарову была поручена организация редакции и типографии для выпуска журнала «Известия вузов. Черная металлургия», и он стал первым ее редактором. Сотрудники кафедры принимали активное участие в редактировании и оформлении статей, научной пропаганде нового журнала.

В 1959 г. кафедра металлургических печей выделила из своего состава часть преподавателей для подготовки специалистов по автоматизации металлургических производств, которую возглавил, образовав новую кафедру автоматизации металлургических производств, д.т.н., профессор П.М. Масловский.

С 1962 по 1974 гг. кафедрой заведовал доцент Е.И. Корочкин. По его инициативе были созданы условия для специализации части студентов-теплотехников на проблемах очистки промышленных газов. Рост объемов производства металлургических предприятий, повсеместная борьба с загрязнением атмосферы предопределили актуальность и востребованность специалистов данного профиля. В 1982 г. это начинание было окончательно легитимировано приказом об открытии специальности «Улавливание и утилизация пылей и газов».



*Сотрудники кафедры, 1984 г. (слева направо):
В.В. Стерлигов, Е.И. Корочкин, Г.И. Черныш, К.А. Черепанов,
В.С. Стариков, Н.И. Трофимов, Г.В. Самохвалов*

В 1974 г. кафедре было поручено организовать подготовку инженеров по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». Коллективу кафедры пришлось затратить немало времени и энергии, чтобы подготовить все необходимое для реализации учебного процесса и обеспечения качественной подготовки специалистов. Для преподавания специальных дисциплин были приглашены специалисты из институтов «Сантехпроект» и «Промстройпроект», часть сотрудников кафедры прошла стажировки в строительных вузах России. В 1982 г. кафедра теплогазоснабжения и вентиляции в составе шести преподавателей стала самостоятельной и вошла в состав строительного факультета со своими лабораториями и с хорошим методическим обеспечением.

С 1974 по 2002 гг. кафедрой заведовал профессор Г.И. Черныш. В 70–80-е годы резко возросла потребность в подготовке высококвалифицированных педагогических кадров для собственных нужд. Кафедра стремительно развивалась, увеличивался штат профессорско-преподавательского состава, требовались «остепененные» металлурги-теплотехники – специалисты в области теории и конструкций металлургических печей.



*Сотрудники кафедры, конец 80-х г. (слева направо, сверху вниз):
 В.М. Павловец, Ю.Е. Михайленко, В.И. Ливенец, А.К. Соловьев,
 В.В. Стерлигов, Н.А. Драничников, Ю. Галицкий, С. Воронцов, В.П. Зайцев,
 Н.И. Трофимов, А.П. Перфильев, С.Н. Михайлец, К.А. Черепанов,
 В.В. Легаева, Г.М. Коровкина, Г.И. Черныш, Т.А. Михайличенко,
 Н.В. Курганова, Г.В. Самохвалов*

Для решения этой задачи Геннадием Иосифовичем в аспирантуру, на родственную кафедру Уральского политехнического института, которой в то время заведовал профессор Ю.Г. Ярошенко были направлены выпускники СМИ, Н.А. Драничников, В.П. Зайцев, Н.И. Трофимов, В.М. Павловец, А.К. Соловьев, М.Н. Башкова. Под чутким руководством Юрия Гавриловича результаты не заставили себя долго ждать. СМИчи успешно защитили кандидатские диссертации, и, вернувшись в родные стены, составили основной костяк кафедры.

На период руководства кафедрой Г.И. Чернышом пришелся один из самых нелегких для высшего профессионального образования и России в целом период 90-х годов. Несмотря на сложные социально-экономические изменения в стране, отток кадров из Высшей школы, Геннадию Иосифовичу удалось сохранить высокий кадровый потенциал кафедры, многолетние традиции, преумножить ее достижения.

В 1995 г. доцентом кафедры В.С. Стариковым в диссертационном совете Уральского государственного технического университета была успешно защищена докторская диссертация на тему «Форсированные энергосберегающие технологии нагрева стальных заготовок в металлургических печах». Официальными оппонентами по его диссертации были такие известные ученые-теплотехники как д.т.н., профессор В.А. Кривандин, д.т.н., профессор Ю.Г. Ярошенко, д.т.н., профессор З.К. Кабаков.

В 2000 г. профессором кафедры К.А. Черепановым в диссертационном совете при Иркутском государственном техническом университете была успешно защищена докторская диссертация на тему «Разработка научных и практических основ ресурсосберегающих технологий переработки и утилизации твердых дисперсных отходов горнорудной и металлургической промышленности (на примере Кузбасса)».

С 2002 г. по настоящее время кафедрой заведует доцент С.Г. Коротков. Кафедра готовит инженеров по специальности «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей» (специализации: «Теплофизические основы конструирования и эксплуатация промышленных печей» и «Промышленная экология»). В 2003 г. произведен первый набор, а в 2008 г. первый выпуск студентов по новой специальности «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

В 2007 г. доцентом кафедры Е.П. Волынкиной защищена докторская диссертация в диссертационном совете при Государственном технологическом университете «Московский институт стали и сплавов» на тему «Развитие концепции управления отходами и разработка методологии ее реализации на металлургическом предприятии». В этом же году доцентом кафедры М.В. Темлянцевым защищена докторская диссертация в диссертационном совете при Сибирском государственном индустриальном университете на тему «Развитие металлургических основ теории и ресурсосберегающей технологии тепловой обработки стали».

За прошедшие годы количество выпускников кафедры превысило 2000 человек, они работают по всей территории бывшего Советского Союза от Комсомольска-на-Амуре до Белгорода, от Норильска до Алмадыка.



*Сотрудники кафедры, 2004 г. (слева направо, сверху вниз):
Ю.Е. Михайленко, В.М. Павловец, В.И. Ливенец, М.В. Темлянец,
Н.В. Темлянец, В.М. Динельт, А.С. Михайленко, Н.А. Драничников,
Г.В. Самохвалов, С.Г. Коротков, Т.А. Михайличенко, Е.П. Волюнкина,
Е.Н. Темлянцева, И.В. Гладких, Е.В. Медведская, Е.М. Мизгирева,
Г.М. Коровкина, Н.В. Курганова*

Преподаватели кафедры участвовали в подготовке национальных инженерных и научных кадров в Китайской Народной Республике (И.С. Назаров), Арабской Республике Египет (Г.И. Черныш, В.В. Стерлигов), Алжирской Народно-демократической Республике (Н.А. Драничников).

За 75-летнюю историю существования кафедре приходилось решать весьма широкий спектр научных задач и проблем для многих промышленных предприятий г. Новокузнецка, Кузбасса, России. Научное направление проведенных работ – нагрев стали в пламенных печах (и сопутствующие ему процессы), энерго- и ресурсосбережение, промышленная экология, утилизация и вторичное использование техногенных отходов. Профессором П.М. Масловским проводились исследования тепловой работы мартеновских печей на основе теории подобия; на Кузнецком заводе ферросплавов доцентом В.Д. Мароном и профессором Г.В. Самохваловым проводились исследования с целью улучшения работы ферросплавных печей в условиях ограничения электропотребления; В.В. Юшкиным был исследован температурный режим лещадей доменных печей КМК в процессе их износа, что позволило контролировать их состояние по показаниям термопар. При освоении новых мощностей ЗСМК выполнены исследовательские работы на нагревательных колодцах и по изучению окисления стали в цикле производства, определению стоимости нагрева по переделам (доценты Е.И. Корочкин, Е.Л. Медиокритский, Ю.Е. Михайленко). Совместно с институтом «Теплопроект» разра-

ботаны и внедрены новые конструкции компактных радиационных рекуператоров для нагревательных печей металлургического и машиностроительного производства (Е.Л. Медиокритский). По данным, полученным кафедрой совместно с работниками теплотехнической лаборатории КМК, институтом «Стальпроект» была разработана серия плоскопламенных горелок для газовых смесей на основе коксового и доменного газов. Горелки этого типа были установлены на нагревательных печах КМК и ЗСМК, на зажигательных горнах агло-известкового производства ЗСМК, где успешно работают и в настоящее время, обеспечивая качественное зажигание шихты и значительную экономию топлива. На ВДНХ успешное внедрение горелок в производство было отмечено серебряной медалью. По результатам исследований теплового состояния слитков, напряженного состояния стали в области упругих и пластических деформаций разработаны рекомендации по ускорению нагрева слитков на ЗСМК, заготовок в прокатных цехах КМК и ЗСМК.

Вопросам скоростного нагрева, окисления и обезуглероживания стали посвящены исследования профессоров И.С. Назарова, Г.В. Самохвалова, В.В. Стерлигова, В.С. Старикова, М.В. Темлянцева, доцентов Е.И. Корочкина, Ю.Е. Михайленко. Разработке новых топливосжигающих устройств – автогенных, плоскопламенных, высокоскоростных топливо-кислородных горелок посвящены работы профессоров И.С. Назарова, Г.В. Самохвалова, Г.И. Черныша, В.В. Стерлигова, доцента С.Г. Короткова. Проблемами экологии и использования вторичных ресурсов занимаются профессора К.А. Черепанов и Е.П. Волынкина. Новые способы получения железорудных окатышей и повышения их качества разрабатывает доцент В.М. Павловец.

По результатам научно-исследовательских работ коллективом кафедры получено более 200 авторских свидетельств и патентов, в центральных российских издательствах издано 6 монографий и справочник.

В настоящее время коллектив кафедры насчитывает 16 человек профессорско-преподавательского состава, из них 4 д.т.н. и 9 к.т.н. (5 профессоров и 8 доцентов).

УДК 669.04(092)

Г.В. Самохвалов, М.В. Темлянецв

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ИВАН САВЕЛЬЕВИЧ НАЗАРОВ – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И ТАЛАНТЛИВЫЙ ПЕДАГОГ



Иван Савельевич Назаров родился в 1905 г. в г. Челябинске. В 1930 г. он окончил Уральский политехнический институт, получив квалификацию инженера-металлурга по производству стали. С 1930 г. работал ассистентом на кафедре металлургии стали в Уральском институте стали. В 1934 г. он перешел на работу в Уральское отделение Всесоюзного теплотехнического института на должность научного руководителя лаборатории промышленных печей. В 1937 г. И.С. Назаров был принят на работу в Уральский индустриальный институт на должность и.о. доцента кафедры газо-печной

теплотехники. В феврале 1939 г. в Уральском индустриальном институте он защитил кандидатскую диссертацию и ему была присуждена ученая степень кандидата технических наук. В 1939 г. по ходатайству Сибирского металлургического института (СМИ) Наркомчермет переводит И.С. Назарова в СМИ на должность заведующего кафедрой металлургических печей.

Кафедра металлургических печей в СМИ была создана в августе 1934 г. как общетехническая для преподавания дисциплин «Металлургические печи», «Топливо и огнеупоры», «Общая теплотехника», «Гидравлика». В это время в штате кафедры было три преподавателя и два лаборанта, заведовал кафедрой доцент М.С. Спиридонов.

И.С. Назаров сменил М.С. Спиридонова на посту заведующего кафедрой на последующие почти 22 года вплоть до 1962 г. В период руководства кафедрой И.С. Назарову благодаря его таланту ученого и администратора удалось сформировать на кафедре металлургических печей мощный научный потенциал, педагогические традиции, предопределившие ее высокий авторитет не только в СМИ и на Кузнецком металлургическом комбинате (КМК), но и на территории всего Советского Союза.

В 1940 г. И.С. Назарову присвоено ученое звание доцента, а в 1941 г. в свет выходит одна из главных его работ – книга «Основы теории промышленных печей». Она состояла из двух частей: механика газов и теплопередача и была составлена автором в основном по материалам лекций, читаемых им в Уральском индустриальном институте. Книга сразу приобрела большую популярность у студентов, ученых и инженерно-технических работников предприятий в основном благодаря доступности, понятности излагаемого в ней материала, большого количества примеров расчетов, связанных с конструированием и эксплуатацией печей. Тираж книги в 3400 экземпляров быстро разошелся по библиотекам вузов, научно-исследовательских институтов, заводов и комбинатов страны. Несмотря на то, что с момента ее издания прошло почти 70 лет, даже сейчас ее можно встретить в некоторых библиотеках с практически истертыми до дыр страницами расчетов по механике газов, нагреву и охлаждению твердых тел.



Во время Великой Отечественной войны И.С. Назаров вошел в группу ученых СМИ, которым было поручено решение задач, связанных с переводом КМК на оборонные заказы, проектированием и выбором печей для отжига бронелиста в термическом цехе, повышением производительности обжиговых печей для увеличения объемов производства на КМК динаса и шамота. В 1943 г. И.С. Назаров был назначен на должность декана металлургического факультета, а в период с 1944 по 1947 гг. работал заместителем директора по научной и учебной работе СМИ. В 1945 г. И.С. Назаров награжден медалью «За трудовую доблесть», а в 1946 г. – медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».

В послевоенный период стране для восстановления и развития промышленности требовались специалисты-металлурги, новая учебная литература, прогрессивные научные разработки.

В 1951 г. в свет выходит совершенно уникальное издание того времени – учебник «Металлургические печи», авторский коллектив которого в составе В.А. Баума, Д.В. Будрина, А.И. Ващенко, М.А. Глинкова, Б.Л. Грановского, Б.И. Китаева, М.А. Кузьмина, А.Я. Михайленко, И.С. Назарова, Л.А. Плотникова, И.Д. Семикина, Н.Ю. Тайца, С.Г. Тройба был сформирован из ученых ведущих научных центров металлургической теплотехники: Московского института стали, Уральского политехнического института, Днепропетровского металлургического института, Московского института цветных металлов и золота, Ленинградского политехнического института, Сибирского металлургического института и Государственного научно-

исследовательского института цветных металлов. Учебник включал в себя все последние достижения теории печей, пещестроения и являлся фактически общесоюзным изданием, которое вышло в свет благодаря организаторским способностям его научного редактора профессора М.А. Глинкова. И.С. Назаровым в этом учебнике в соавторстве с профессорами М.А. Глинковым и Б.И. Китаевым был написан раздел «Общие принципы конструирования печей».

В послевоенный период И.С. Назаров награжден орденами «Знак почета» и «Трудового Красного Знамени».

С 1953 по 1955 гг. И.С. Назаров работал в Китае по организации высшего металлургического образования.

В 1955 г. И.С. Назаровым был организован первый набор студентов по специальности «Металлургические печи». С этого времени кафедра металлургических печей СМИ стала специальной, выпускающей. Первый выпуск металлургов-печников в количестве 14 человек состоялся в 1960 г.

В 1957 г. И.С. Назаров возглавил работу по организации редакции и типографии для выпуска нового журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», став первым его редактором.

Несмотря на большую административную загруженность И.С. Назарову удалось реализовать себя как крупного ученого-теплотехника, фактически основателя Сибирской научно-педагогической школы металлургической теплотехники. Научной общественности И.С. Назаров известен как специалист в области теории и практики тепловой работы металлургических агрегатов. Его «научной родиной» был Урал. В начале своего трудового пути И.С. Назарову посчастливилось работать вместе с профессором М.А. Глинковым и другими талантливыми учеными, представителями уральской научно-педагогической школы металлургической теплотехники, с которыми он поддерживал теплые дружеские отношения.

Под руководством и при непосредственном участии И.С. Назарова на кафедре металлургических печей СМИ был создан мощный парк полупромышленных камерных печей скоростного нагрева, на базе которого были проведены масштабные эксперименты в активно развивающемся в то время научном направлении – скоростном нагреве стали. Уникальные эксперименты по исследованию трещинообразования, окисления и обезуглероживания стали при скоростном нагреве послужили основой кандидатских и докторских диссертационных исследований сотрудников кафедры В.С. Старикова, Е.И. Корочкина и др. И.С. Назаровым были предложены и осуществлены на практике конструкции электрических безынерционных печей. Оригинальность принципа работы безынерционных печей основывается на том, что их рабочее пространство вместо традиционных огнеупорных материалов выполняют из металлов, обладающих высокой отражательной способностью. Печи с «зеркальными», охлаждаемыми водой металлическими поверхностями не требуют времени на нагрев или охлаждение, т.е. являются безынерционными. В тепловом отношении безынерционные печи

являются более выгодными, чем традиционные печи периодического действия, на разогрев футеровки которых затрачивается значительное количество тепла.

Как талантливый педагог, учитель и наставник И.С. Назаров был требователен к студентам, относился к ним с уважением, активно пропагандировал свое научное направление и передовые работы коллег-теплотехников. С большой теплотой о И.С. Назарове как о своем первом учителе по металлургическим печам вспоминает на страницах сборника научных трудов, посвященного 100-летию со дня рождения М.А. Глинкова, И.Б. Гольденберг, к.т.н., профессор кафедры теплофизических и энергетических систем Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (бывший студент СМи, группы МЧ – 431). Он пишет: «Я узнал о М.А. Глинкове от своего первого учителя по металлургическим печам – И.С. Назарова, проректора СМи, благословившего в 1946 г. мой перевод в Московский институт стали и сплавов. Его напутствие: «Постарайтесь прослушать спецкурс по металлургическим печам у профессора Глинкова. Это – крупный специалист, который делится всем, что знает, со всеми кто эти знания желает получить». От И.С. Назарова, автора популярного и любимого в студенческой среде учебника «Основы теории промышленных печей», узнал, что перу М.А. Глинкова принадлежат «Прокатные и кузнечные печи», «Методы расчета промышленных печей», «Мартеновская печь как теплотехнический агрегат». Для студента 4-го курса это было очень солидной аргументацией научной зрелости и преподавательской состоятельности 40-летнего ученого, каким в то время был М.А. Глинков. Из лекций и бесед И.С. Назарова мы узнали, что теория металлургических печей в предвоенные годы была ареной «кровопролитных» дискуссионных сражений... ».

И.С. Назаров вел активный образ жизни, предпочитал отдых на природе, увлекался рыбной ловлей.

Ушел из жизни И.С. Назаров в 1962 г., оставив после себя большое научное наследие, плеяду последователей, учеников и продолжателей его дела.

УДК 669.04(092)

Т.А. Михайличенко, В.В. Стерлигов, Н.С. Шкредова, А.Е. Корочкин
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

Е.И. КОРОЧКИН И ЕГО ЛЮБИМАЯ КАФЕДРА



Евгений Иванович Корочкин родился 29 мая 1923 г. в г. Новосибирске. В 1942 г. с аттестатом отличника закончил школу № 41 г. Кемерова Новосибирской области. Шла война, и Евгений Иванович с товарищами по школе и комсомолу написал заявление на фронт, но не прошел медкомиссию из-за плохого зрения. Аттестат отличника давал право поступления в высшее учебное заведение без вступительных экзаменов, и он поступил в находившийся в это время в г. Кемерове Химико-технологический

институт им. Дзержинского и проучился здесь три семестра. В 1944 г. ввиду реэвакуации Химико-технологического института перевелся в Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе, который закончил в 1947 г. по специальности «Металлургия черных металлов (металлургия стали)». Во время учебы в школе и институте был секретарем комитета ВЛКСМ, а также членом бюро и пленума Центрального райкома ВЛКСМ г. Кемерова.

Вот строки из характеристики Е.И.Корочкина, выданной ему по окончании СМИ и подписанной тогдашним директором СМИ Д. Горшениным и секретарем комитета комсомола Н. Толстогузовым:

«... За время обучения в институте т. Корочкин имел очень хорошую успеваемость. За время пребывания в институте проявил себя исполнительным и инициативным товарищем. После окончания института может быть использован на исследовательской работе или в качестве помощника мастера мартеновского цеха».

Вся дальнейшая жизнь Евгения Ивановича связана с кафедрой печей. В 1950 г. он был принят ассистентом на кафедру печей, в 1952 г. переведен на должность старшего преподавателя, а в 1960 г. утвержден в должности доцента кафедры металлургических печей. В 1962 г. исполнял обязанности заведующего кафедрой металлургических печей, а в 1963 г. в связи с избранием по конкурсу назначен заведующим кафедрой.

В 1968 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование окисления малоуглеродистой

стали при скоростном нагреве». В 1969 г. присуждена ученая степень кандидата технических наук, а в 1970 г. утвержден в ученном звании доцента по кафедре «Металлургические печи».

С 1962 по 1974 гг. Евгений Иванович руководил кафедрой печей. Под его руководством были реконструированы лаборатории механики газов и теплопередачи. Началась подготовка инженеров по специализации «Улавливание и физические методы очистки газов в металлургии». Закончено строительство и оборудование лаборатории металлургических печей. Была организована новая лаборатория гидравлики, лаборатория теплоэнергетики. Вдвое вырос прием студентов на специальность 0403. Подготовлено около 400 специалистов-теплотехников.

В эти годы кафедра неоднократно занимала первые места в социалистическом соревновании института. Штат кафедры вырос до 13 преподавателей и 6 сотрудников.

В сентябре 1974 г. были приняты первые 50 студентов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция».

С сентября 1974 г. по 1989 г. был проректором по учебной работе. Все эти годы профессиональный и педагогический опыт Евгения Ивановича был направлен на развитие образовательного процесса в институте.

Именно он стал инициатором внедрения ЭВМ в учебный процесс. В те годы требования для получения ученого звания доцента были гораздо жестче, чем теперь: необходимо было подготовить достаточно серьезную работу по актуальным проблемам педагогики высшей школы. Такая работа одного из авторов «Использование ЭВМ в учебном процессе» послужила основой для внутривузовского факультета повышения квалификации преподавателей, который организовал Е.И. Корочкин, а проводили А.В. Степанов и Н.С. Шкредова. Этот ФПК в течение 7 лет прошли практически все преподаватели СМИ.

Проводились интересные методические семинары, на которых разворачивались настоящие дискуссии по перспективным направлениям современного образовательного процесса (использование тестового контроля, роль личности преподавателя в учебном процессе, перспективы многоуровневого образования в России и др.).

В тот период в институте началось широкое использование в учебном процессе технических средств обучения – оборудование поточных аудиторий на тот момент отвечало самым современным требованиям. При его поддержке была создана лаборатория технических средств обучения, появилось телевидение, закуплена фильмотека. И вообще Евгения Ивановича всегда отличало чувство (и чутье) всего нового и прогрессивного. Он внимательно следил за всеми публикациями и в области современного печестроения, и в области проблем высшего профессионального образования.

Особой заслугой Евгения Ивановича следует признать то, что он, не будучи специалистом в этой области, «благословил» внедрение информатизации в учебный процесс в нашем институте.

Работая проректором института, Евгений Иванович не порывал связи с кафедрой: читал студентам-теплотехникам спецкурс «Тепловая работа и конструкции печей», руководил дипломным проектированием, неоценимую помощь оказывал молодым сотрудникам. При этом Евгений Иванович был педагогом, что называется, от Бога. Он одним из первых в институте ввел практику проблемного чтения лекций, очень уважительно относился к студентам как к будущим коллегам, и это был очень мудрый и оправданный педагогический прием. Его лекции неизменно отражали все последние достижения науки и практики в области металлургической теплотехники. Он видел задачи высшего профессионального образования значительно шире, чем они были обозначены в нормативных документах.

В 1989 г. в связи с избранием по конкурсу переведен доцентом на кафедру теплотехники печей и газоочистки, где и работал до последних дней.

За годы работы в институте Евгением Ивановичем опубликовано более 80 научных и научно-методических работ. Его основное научное направление – интенсификация работы металлургических печей, исследование технологических и теплотехнических аспектов скоростного нагрева стали. От внедрения научных разработок, выполненных под руководством Корочкина Е.И. на ЗСМК, получен экономический эффект свыше 3 млн. рублей.

За это время Евгений Иванович неоднократно награждался грамотами горкома и райкома КПСС, гор- и райисполкома, Центрального совета педагогического общества РСФСР, обкома союза, Почетной грамотой ЦК ВЛКСМ, Почетной Ленинской грамотой, знаками «Победитель социалистического соревнования» в 1973 и 1978 гг., знаком «Отличник соцсоревнования ЧМ», нагрудным значком «За отличные успехи в работе», юбилейной медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина». В 1981 г. он был награжден орденом «Знак почета», а позднее – знаком МВ и ССО СССР «За отличные успехи в работе».

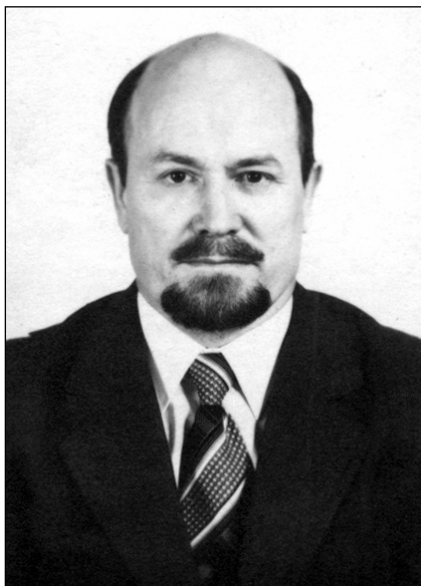
Все написанное выше – это сухие факты его профессиональной деятельности, даты и хронология его биографии... Но за всем этим стоит судьба достойного человека, который до самозабвения любил свою работу, кафедру и окружающих его людей, был всесторонне развитой личностью. Он хорошо знал и любил классическую русскую литературу, разбирался в музыке и живописи. Через всю жизнь он пронес уважение и любовь к своему учителю – И.С. Назарову, сумел сохранить, развить и передать в надежные руки одну из самых уважаемых и престижных кафедр института, которую всегда отличала атмосфера профессионализма, порядочности, высоких товарищеских отношений, творчества, требовательности к себе и окружающим, бескомпромиссности и бескорыстности, высокой личной нравственности.

УДК 669.04(092)

С.Г. Коротков, М.В. Темлянецв

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

О ГЕННАДИИ ИОСИФОВИЧЕ ЧЕРНЫШЕ



Черныш Геннадий Иосифович родился 14 июля 1931 г. в городе Купино, Новосибирской обл. в семье служащих – отец дежурный по отделению железной дороги, мама – учительница. В 1949 г. успешно закончил среднюю школу и поступил в Томский политехнический институт имени С.М. Кирова (ТПИ) на специальность «Инженер – механик по двигателям внутреннего сгорания». В 1954 г. с отличием заканчивает ТПИ и как перспективный специалист направляется на кафедру металлургических печей Сибирского металлургического института на преподавательскую работу.

Практически все последующие 48 лет Геннадия Иосифовича связаны со ставшей ему родной кафедрой печей. С 1954 по 1957 гг. – ассистент, 1957 – 1960 гг. – аспирант. В 1964 г. успешная защита кандидатской диссертации на тему «Разработка и исследование нового топлива – кислородного сжигающего устройства для металлургических печей». С 1965 г. утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Металлургические печи». По поручению руководства института с 1964 по 1970 гг. – декан вечернего механико – строительного факультета.

Имея большой опыт практической работы, Г.И. Черныш был направлен МИНВУЗом СССР на курсы английского языка в Московский государственный педагогический институт иностранных языков, который закончил «с отличием» в 1972 г. и затем командирован в качестве преподавателя в Эль-Таббинский металлургический институт (ЭТМИ) (Египет, АРЕ) для подготовки магистров наук. Работая в Египте (с 1972 по 1975 гг.), подготовил и издал на английском языке: учебное пособие по спецкурсу; атлас чертежей по промышленным печам; учебное пособие по расчетам печей и ряд статей, организовал и запустил в эксплуатацию спецлабораторию по печам.

Работа Г.И. Черныша в Египте была отмечена грамотой посла СССР в этой стране и он был рекомендован в качестве эксперта организации объединенных наций по промышленному развитию в мексиканский научно-

исследовательский институт черной металлургии (г. Салтилло, Мексика), где работал с октября по декабрь 1983 г. За это время под руководством Г.И. Черныша был разработан и внедрен проект исследовательского конвертера с донным подводом многокомпонентных энергоносителей.

После возвращения из заграникомандировки Геннадий Иосифович назначен заведующим кафедрой металлургических печей и теплогазоснабжения (1975 – 1983 гг.). На посту заведующего провел большую работу по совершенствованию и организации учебного процесса не только групп студентов специальности «Теплотехника и автоматизация металлургических печей», но и для открытой в 1974 г. специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» – 3 группы студентов, а затем в 1982 г. еще одной специальности «Улавливание и утилизация пыли и газов» – 2 группы.

В 1983 г. произошло выделение из состава кафедры специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» и Геннадий Иосифович избран заведующим кафедрой теплотехники печей и газоочистки, которая в последствии (1994 г.) была переименована в кафедру теплофизики и промышленной экологии.

В 1986 г. решением ВАК Г.И. Чернышу присвоено ученое звание профессора, а в 1996 г. – он избран действительным членом (академиком) Международной Академии Наук Экологии и Безопасности Жизнедеятельности (МАНЭБ). Все это явилось результатом огромной работы в научном, учебно-методическом и организационно-воспитательном направлениях ученого и педагога Г.И. Черныша. Он принимал участие и руководил большим числом (более 30) НИР, направленных в основном на интенсификацию теплообмена в различных тепловых агрегатах, экономию энергетических ресурсов и связанных с охраной окружающей среды. Это: исследование теплового способа бурения крепких горных пород в Кузбассе; исследование реактивных горелок и фурм для промышленных установок Кузнецкого металлургического и Западно-Сибирского металлургических комбинатов, Кузнецкого завода ферросплавов, Красноуральского, Чимкентского и Алмалыкского заводов цветной металлургии; исследование пылегазовых выбросов Новокузнецкого стекольного завода, Кузнецкой ТЭЦ, ТЭЦ Западно-Сибирского металлургического комбината, заводов Сантехлит и Новокузнецксельмаш, предприятий Барнаула, Рубцовска и др. Результаты большинства исследований переданы для внедрения и использования на Магнитогорский и Нижне-Тагильский металлургические комбинаты, заводы «Красный Октябрь» (Волгоград), «Большевик» (Ленинград), Макеевский, Енакиевский, Серовский и Бекабадский металлургические заводы. По ряду из них составлены технико-экономические обоснования для проектирования систем газоочистки в городах Новокузнецк, Барнаул, Рубцовск. По результатам научных исследований опубликована монография – «Топливокислородные сжигающие устройства», 5 учебных пособий для ВУЗов, более 170 статей и тезисов докладов, получено более 30 авторских свидетельств на изобретения и патентов.

Г.И. Черныш широко привлекал к своим исследованиям студентов и эта инициатива зародилась еще в 1958 г., когда им были внедрены элементы НИР в учебный процесс. На полупромышленной пламенной печи, сооруженной в лаборатории кафедры, при проведении лабораторных работ по специальному курсу «Тепловая работа и конструкции металлургических печей» отдельным звеньям студентов выдавались темы и ставились задачи на проведение исследования нагрева и окисления металла, изучение тепловой работы печи и рекуператора и др. Это позволяло пробудить интерес к научному поиску, а кафедре дало возможность организовать и проводить ежегодные студенческие научные конференции, выставлять большое число докладов на внутривузовский, областные и республиканские смотры-конкурсы студенческих научных работ.

В настоящее время эта форма, как элемент учебного процесса, успешно продолжает развитие в теплотехническом и в экологическом направлениях подготовки специалистов.

Г.И. Черныш – прекрасный лектор и Учитель «с большой буквы». Студенты получали истинное удовольствие от всех видов занятий, которые он проводил – четко организованные, правильно методически построенные, с изумительным сопровождением материала рисунками и графиками на доске, выполненными цветными мелками. Его школу прошли многие научные работники, преподаватели, специалисты, занятые в различных сферах деятельности. Г.И. Черныш консультировал и руководил подготовкой диссертаций соискателей: А.Н. Москалева; И.А. Федина; В.М. Попова; Е.Л. Медиокритского; Ю.Н. Пронякина; Н.Е. Рехтина; Д.И. Чижова и др.

За время работы в институте выполнял большую общественную работу: редактор институтской сатирической стенгазеты; начальник штаба народной дружины института; член районного штаба ДНД; заместитель секретаря парткома института; член комитета при администрации г. Новокузнецка по экономическому воспитанию и образованию населения. Более 20 лет являлся редактором раздела «Металлургическая теплотехника» журнала «Известия вузов. Черная металлургия».

Г.И. Черныш награжден орденом «Знак почета», медалями «За доблестный труд, в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» и «Ветеран труда», знаками «Отличник соц. соревнования ЧМ СССР», «Изобретатель СССР», «За отличные успехи в работе», «Почетный работник высшего образования РФ», «Победитель соц. соревнования» за ряд лет. Ему присвоено звание «Заслуженный преподаватель СибГИУ».

Геннадий Иосифович был человеком большой души, огромного обаяния и очень щедрым на доброту к окружающим его людям. Любил природу, активный отдых, находил истинное удовольствие от работы на дачном участке. Яркой чертой характера можно считать страстную увлеченность рисованием. Им написано очень много картин, большую часть которых он дарил друзьям и коллегам, отдавая вместе с ними частичку своего сердца.

УДК 669.04(092)

В.В. Стерлигов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ЛУЧШАЯ ПОЛОВИНА КАФЕДРЫ

«Лучшая половина человечества» – это устоявшееся определение женщины было в полной мере применимо к Софье Михайловне Каган, которая длительное время, до 70-х годов была единственной женщиной кафедры.

Следует сказать, что кафедру металлургических печей, как она называлась сразу, после образования ее, среди других кафедр металлургического факультета отличало некое особое положение. Сам предмет ее изучения «металлургическая теплотехника» касался многих технологических дисциплин, и отсюда была универсальность знаний работников кафедры. Удержаться здесь и работать успешно мог только человек с хорошими данными и трудолюбием, что и давало высокую обучаемость членов кафедры.



И эта обширность интересов и гибкость ума служила основой широких интересов и за пределами профессии. Достаточно назвать хотя бы имя Петра Модестовича Масловского и все понимали «Интеллигент!». Так же могли быть

оценены и Владимир Давыдович Марон, и Евгений Иванович Корочкин, и другие.

С другой стороны, присутствие на кафедре мощного и грозного Ивана Савельевича Назарова, которого, несмотря на это, студенты называли «Батя», приводило к мысли о том, что это работающий коллектив с высокой организацией.

Особое отношение было к Софье Михайловне, единственной женщине на кафедре. Очень живая, остроумная (еще бы, одесситка), с блестящими глазами, она запоминалась прежде всего, короной совершенно белых волос, которую заработала уже у пятидесяти лет. И было отчего: учеба в холодные и голодные 20-е годы в Петербурге на рабфаке, отличное окончание которого дало ей право поступить в Ленинградский политехнический институт. По окончании его – работа в Центральном котлотурбинном институте, да так, что через 40 лет бывший ее коллега академик С.С. Кутателадзе отчетливо ее помнил, что я слышал от него лично.

Но больше всего краски к ее короне добавили два года пребывания в блокадном Ленинграде, из которого она вместе с мужем – инженером была

эвакуирована в Сталинск. А уже в 1949 году, после войны, после ужаса блокады, имея на руках двух дочек, Софья Михайловна защитила кандидатскую диссертацию. Чтобы закончить научную тему, скажем, что она не стала доктором наук, не стала профессором. Но сколько из них обязаны ей своим статусом, сколько консультаций и советов она дала.

К тому же она была талантливым интерпретатором, поэтому ее основная работа – преподавание, передача знаний. И она работала сначала в Кузнецком металлургическом техникуме, а затем и в Сибирском металлургическом институте.

Присутствие женщины в составе кафедры во многом определяло стиль поведения, поэтому – никаких «мужских» выражений, никакой грубости. А когда начинается разговор о новой книге или новом фильме, (а тогда велись такие разговоры!), то просто было бы стыдно отвечать начавшей этот разговор Софье Михайловне что-то невнятное. И на кафедре могли обсуждать и поэзию и изобразительное искусство и даже музицировать. Правда, последнее происходило уже в неофициальной обстановке, когда Софья Михайловна приглашала всю кафедру к себе. Собирались по праздникам в ее квартире и, хотя все «скидывались», на столе стояло гораздо больше, чем это могло быть в соответствии с суммами. И не просто много, но и вкусно – она была хлебосольной и гостеприимной хозяйкой.

И даже в такой неофициальной обстановке никогда нельзя было слышать и нотки панибратства – она умела себя уважать и требовала этого уважения от других. И секрет этого прост – она сама уважительно относилась к людям.

Не следует думать, что Софья Михайловна была напыщенной и строгой классной дамой. Нужно было пробиться через ее «силовое поле», заслужить полное доверие – и тогда вы видели остроумного, бурлящего человека, любящего настоящее веселье.

Я учился у нее, учился, когда был студентом, учился, когда стал преподавать с ней на одной кафедре, учился, когда стал читать один из сложнейших курсов, который она доверила мне в связи со своим уходом.

И я горжусь своим Учителем, благо таких Учителей в жизни я встречал еще.

УДК 504.062

К.А.Черепанов, М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ КАК ОСНОВА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

В статье проведен анализ перспективных направлений вторичного использования отходов металлургической промышленности, теплоэнергетики и стройиндустрии.

In the article the analysis of perspective directions of secondary waste utilization of an iron and steel industry, heat of power engineering and construction is conducted.

Известно, что лишь 2 % природных ресурсов перерабатывается в годный продукт, а остальное уходит в отходы. Это означает, что проблема обращения с образующимися и уже образовавшимися отходами приобретает глобальный характер. При решении ее необходимо исходить из того, что отходы во многих случаях: 1) негативно действуют на окружающую среду и человека; 2) их рециклинг позволяет существенно экономить первичное сырье (полезные ископаемые) и таким образом эффективно решать проблему ресурсосбережения. Безотходное производство продукции – заманчивая, но вряд ли осуществимая в настоящее время задача. В связи с этим заслуживает большого внимания такой известный подход как утилизация, переработка отходов с целью получения годной продукции, в целом – рециклинг отходов. В этом случае в конце производственного процесса получения основной продукции отходов не будет, поскольку на каждом этапе технологического цикла они либо подвергаются рециклу, или из них изготавливается продукция, имеющая потребительскую стоимость. Такие технологии производства основного продукта мы называем квазибезотходными, по сравнению с истинно безотходными технологиями, в которых вообще не образуется отходов. В настоящее время разрабатываются, также, и малоотходные технологии, в которых образующиеся отходы являются вторичным сырьем, из которого может быть изготовлена продукция, не уступающая по своим характеристикам той, которая произведена из природного сырья. Это позволяет реализовать один из основных принципов устойчивого развития – рациональное использование природных ресурсов. Последнее связано с экологической безопасностью человечества, которая проявляется на двух уровнях: глобальном и региональном. Она предполагает значительное сокращение выбросов в атмосферу и сбросов (в частности, сточных вод) в Мировой океан. В промышленно развитых странах признано, что подход к ее осуществлению на основе известного принципа «end of pipe» в настоящее время изжил себя,

ему на смену пришла новая идеология, которая базируется на реализации безопасного промышленного развития (программа ESID, утвержденная Генеральной Ассамблеей ООН, резолюция 42/147). Основу ее составляют интегрированные природоохранные и ресурсосберегающие технологии, основанные на анализе жизненного цикла изделия (Life Cycle Analysis). В соответствии с ним необходима минимизация образования отходов на каждом этапе технологического процесса и использование их в качестве вторичного сырья, что позволяет интенсифицировать охрану окружающей среды и значительно удешевить продукцию.

В лаборатории рециклинг-технологий Сибирского государственного индустриального университета проводятся работы по реализации этого направления, разрабатываются малоотходные экологически чистые технологии, в качестве сырья используются отходы металлургической промышленности, теплоэнергетики и стройиндустрии [1], которые, в основном, являются дисперсными, при формообразовании из них изделий применяли вяжущее нового поколения – водную керамическую вяжущую суспензию (ВКВС) с наличием в ней коллоидного компонента [2, 3]. Наиболее известны такие суспензии, получаемые из материалов кремнеземистого состава, основу их представляет кремнезоль [4, 5], механизм действия его обусловлен существованием у дисперсной частицы коллоидного раствора двойного электрического слоя, современная теория которого базируется на положениях, разработанных Гуи, Чепменом и Штерном [6]. Для используемой нами ВКВС, являющейся, по существу, нанодисперсной структурированной вяжущей композицией, характерен широкий спектр применения – она может применяться как связующее при компактировании дисперсных материалов, при изготовлении покрытий, снижающих действие высоких температур, абразивного износа, агрессивного воздействия кислот и щелочей, защищающих сталь от окисления и обезуглероживания при высокотемпературном нагреве под обработку давлением. Так, например, на основе боя шамотного кирпича, образующегося при ремонтах тепловых агрегатов, были изготовлены опытные образцы кирпича, отвечающего требованиям ГОСТ 390-96 «Изделия шамотные и полукислые общего назначения и массового производства». При изготовлении теплоизоляционных материалов применяли химический метод получения пор, в качестве заполнителя использовали дисперсные промышленные отходы, кажущаяся плотность получаемых изделий варьировалась от 400 до 1200 кг/м³. Характерной особенностью неформованных огнеупоров (в том числе и пористых), изготовленных с использованием коллоидного кремнезема, является высокая прочность изделий на сжатие (и на изгиб). Так, например, у опытных шамотных пористых образцов с кажущейся плотностью 870 кг/м³ предел прочности на сжатие был получен равным 10,5 Н/мм², в то время как по ГОСТ 5040-96 у легковесных шамотных огнеупоров с кажущейся плотностью 900 кг/м³ он равен всего 2,5 Н/мм².

Весьма перспективным является использование керамической суспензии кремнеземистого состава при изготовлении огнезащитных (т.е. теплоизоляционных) покрытий дерева и, особенно, металлических конструкций,

кабелей и кабельных проходок. Обычно применяемые огнезащитные краски (пасты) при воздействии на них открытого пламени вспучиваются, образуя вначале пористую, довольно пластичную массу, образующую затем тонкодисперсный порошок, легко удаляемый потоками раскаленных газов, а потом и водой (при тушении пожара). Адгезия таких красок к защищаемому изделию невелика, поэтому ее изготовитель обычно рекомендует вначале наносить на его поверхность какой-либо грунт, используемый для масляных красок, алкидных или других эмалей, а затем уже огнезащитную краску. При нагреве рассматриваемых огнезащитных красок, изготавливаемых на основе органических соединений, при температурах выше 300 °С интенсивно выделяется дым, имеющий неприятный запах и действующий на органы зрения и дыхания.

Всех этих недостатков лишены разработанные нами огнестойкие покрытия, созданные на основе использования коллоидного кремнезема [7]. Сама связка экологически безопасна (имеется гигиенический сертификат, подтверждающий этот факт), наполнителем являются пылевидные отходы металлургической промышленности и теплоэнергетики, адгезия покрытий на применяемой связке достаточно велика, защищаемая поверхность не требует специальной подготовки. Сравнительная оценка огнезащитной краски ОГ-РАКС-В-СК производства НПО «УНИХИМТЕК» (Москва) и разработанной показала идентичные результаты по огнестойкости (пятая-четвертая группы огнестойкости), в то же время опытная краска лишена указанных выше недостатков. Следует отметить, также, что огнезащитные краски типа ОГ-РАКС-В-СК, ВУП-2, СГК-1 весьма дороги (250 – 300 руб/кг), в то время как разработанные краски, изготавливаемые, в основном, из отходов, имеют значительно меньшую стоимость. Опытная огнезащитная краска может быть использована и для защиты кабелей во время пожара. Разработана, также, технология огнезащиты кабельных проходок и вводов, основанная на получении пористой массы из жаростойкого (огнеупорного) материала, которая образуется при протекании экзотермической реакции между компонентами используемой сырьевой смеси.

Известно, что пористые материалы (теплоизоляционные – ГОСТ 5040 – 89 и ячеистые бетоны – ГОСТ 25485 – 89) обладают пониженной прочностью на сжатие (и изгиб) по сравнению с плотными. При объемной доле пор 0,3 – 0,5 прочность пористого изделия составляет не более 0,1 от прочности плотного. Увеличение ее может быть достигнуто за счет упорядоченного расположения его внутренних компонентов, уже имеющих пористую структуру, таких как диатомит, вермикулит, перлит, зольные микросферы. При производстве пористых материалов (изделий) важным являются способы образования пор как при получении огнеупорных теплоизоляционных материалов, так и при изготовлении ячеистых бетонов (в строительстве). В целом они делятся на следующие группы: 1) способ выгорающих добавок, 2) с предварительным образованием пены (пенобетоны) и 3) химический способ, в котором при протекании химической реакции выделяются газообразные

продукты, создающие пористую массу (газобетоны). В то же время известен способ, в котором в качестве заполнителя (как указывалось ранее) используется материал с уже имеющимися порами (диатомит, перлит и др.), либо со специально полученными микросферами из таких оксидов как TiO_2 , Cr_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 и др. Последние получают плазмохимическим методом, либо путем раздувания расплава. Следует отметить, что производство таких микросфер ограничено его сложностью и дороговизной продукции.

В разработанной нами ресурсосберегающей, малоотходной технологии получения пористого материала своеобразным «носителем» пор являются зольные микросферы, которые присутствуют в золах ТЭС, работающих на каменном угле. Насыпная масса зольной микросферы составляет 400 – 500 $кг/м^3$, размер ее колеблется в широких пределах (от 50 до 500 мкм), газовая фаза внутри их состоит, в основном, из азота (~ 30 %) и диоксида углерода (~ 65 %). В настоящее время этот продукт широко применяется при добыче нефти и природного газа. После смешивания заполнителя (зольных микросфер) со связующим и последующего формования изделие подвергается низкотемпературной сушке при температуре 140 – 150 °С, после которой оно, как указывалось ранее, приобретает высокие прочностные свойства, плотность его колеблется в пределах 550 – 600 $кг/м^3$. Определение прочности на сжатие опытных образцов показало, что она превышает требуемую по ГОСТ 25485 – 89 «Ячеистые бетоны» не менее чем в 1,5 раза. Последнее особенно важно в связи с необходимостью решения проблемы энергосбережения при строительстве и эксплуатации жилья. Такой конструкционно – теплоизоляционный материал (по классификации ГОСТ 25485 – 89) может быть с успехом использован при возведении и эксплуатации зданий каркасного типа, в т.ч. и высотных, строящихся в сейсмоопасных зонах, а также при строительстве малоэтажного жилья. Преимущества его очевидны: дешевый, поскольку изготавливается из промышленных отходов, экологически безвредный, технология его производства проста, не требует дорогостоящего оборудования, образующиеся в небольшом количестве пылевые выбросы улавливаются и вновь используются как компонент сырьевой смеси.

Аналогичный метод может быть применен при получении огнезащитного покрытия для строительных конструкций, причем в настоящее время особым вниманием пользуются т.н. огнезащитные системы конструктивного исполнения [8], огнезащитная эффективность которых не менее 150 мин (1-я группа огнезащитной эффективности согласно НПБ 236-97). В этом случае покрытие представляет собой пористую мастику, состоящую из пористого наполнителя и указанной выше минеральной нанодисперсной вяжущей композиции. В качестве наполнителя сырьевой смеси в этом случае могут быть использованы такие известные материалы как вермикулит, вспученный перлит, диатомит и зольная микросфера. Упрочнение полученного защитного слоя может быть достигнуто, также, путем создания композиционного материала волокнистой структуры, т.е. армирования его какими либо минеральными волокнами, например, базальтовыми. В этом случае поризованный ма-

териал (указанная выше пористая мастика) является матрицей, в которой равномерно или с заданным распределением по ее объему, ориентированно или хаотично расположены дискретные волокна различного происхождения.

Как уже указывалось ранее, используемая в наших работах нанодисперсная вяжущая композиция является экологически чистым материалом и обладает большой адгезией, особенно при склеивании тел минерального происхождения. В связи с этим была проведена работа по получению древесностружечных плит из отходов деревообработки (стружки, опилок) на указанной связке с целью замены применяемого в настоящее время связующего – фенолформальдегидных смол, обладающих токсичными и канцерогенными свойствами. Были получены образцы древесностружечных плит плотностью от 400 до 900 кг/м³. Следует упомянуть и еще об одном направлении в работе указанной выше рециклинг-лаборатории. При производстве продукции из базальтового волокна и сэндвич-панелей из него образуется значительное количество отходов, которые далее никак не используются. Нами была сделана попытка изготовить из них плитный материал, который мог бы быть использован в строительстве. Работу осложняло то, что эти отходы обычно представляют собой отдельные фрагменты – это и обрезки плит, и своеобразные «куски» ваты, и гранулы различного размера. Был получен плитный материал плотностью 500 – 800 кг/ м³ достаточной прочности на сжатие и изгиб, плиты меньшей плотности (порядка 300 кг/м³) имеют и меньшую прочность и могут использоваться лишь для теплоизоляции.

Весьма перспективным является применение ВКВС в качестве связки для защитных покрытий, используемых для снижения окисления и обезуглероживания стали при нагреве в печах под обработку давлением [9]. Разработаны и прошли испытания в лабораторных и промышленных условиях покрытия, в которых использовали заполнитель – молотый лом и бой магнетитовых (периклазовых) огнеупоров, имеющий непрерывный гранулометрический состав менее 0,15 мм и связку – ВКВС, добавляемую до консистенции густой сметаны. Покрытия наносят на поверхность заготовок слоем толщиной 1 мм путем обмазки или распыливания сжатым воздухом. Такое покрытие снижает интенсивность диффузионных процессов окисления и обезуглероживания при температурах до 1200 – 1250 °С, обеспечивая тем самым уменьшение угара стали в 1,4 – 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рециклинг твердых отходов в металлургии / К.А. Черепанов, С.М. Абрамович, М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева. Под ред. К.А. Черепанова. – М.: Флинта: Наука, 2004. – 212 с.
2. Черепанов К.А. Керамические неформованные материалы из отходов металлургической промышленности на основе тиксотропных сырьевых смесей / К.А. Черепанов, В.К. Черепанова // Изв. вуз. Черная металлургия.– 2003. – № 2. – С. 34 – 36.

3. Парк Д. Бесцементные материалы на коллоидно-кремнеземистой связке: новый подход к огнеупорам / Д. Парк // Сталь. – 2005. – № 8. – С. 39 – 41.
4. Неформованные огнеупоры: Справочное издание: в 2-х томах. Том 1. Книга 1. Общие вопросы технологии / Пивинский Ю.Е. – М.: Теплоэнергетик. 2003. – 448 с.
5. Черепанов К.А. Получение и использование вяжущего нового поколения – керамической суспензии кремнеземистого состава / К.А. Черепанов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2006. – № 10. – С. 62 – 64.
6. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и системы / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
7. Черепанов К.А. О новом подходе к решению проблемы теплоизоляции и огнезащиты в промышленности и строительстве / К.А. Черепанов М.В., Зубенко, Б.В. Коровченко // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклады VII Всероссийской науч.-практ. конф. – М.: ФГУП «ЦНИИХМ», 2007. – С. 109, 110.
8. Мансуров М.Г. Использование базальтовой изоляции для огнезащиты строительных конструкций / М.Г. Мансуров // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклады VIII Всероссийской науч.-практ. конф. – Бийск: БТИ АлтГТУ, 2008. – С. 3 – 6.
9. Темлянцев М.В. Исследование влияния защитных покрытий на интенсивность окисления и обезуглероживания рельсовой стали при высокотемпературном нагреве под прокатку / М.В. Темлянцев, О.Д. Олендаренко, Е.Н. Темлянцева // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – Вып. 23. – С. 75 – 79.

УДК 669.18: 621.746.5

Е.В. Медведская, М.В. Темлянец

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ТОПЛИВО-КИСЛОРОДНОГО ПОДОГРЕВА МЕТАЛЛОЛОМА В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

В статье представлен критический обзор перспективных технологий топливо-кислородного подогрева металлолома в дуговых сталеплавильных печах.

In the article the critical review of perspective technologies fuel-oxygen of a heating breakage of metal in arc furnaces is shown.

В настоящее время ведущие российские и зарубежные производители электростали широко используют предварительный подогрев металлолома при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Основная цель его применения – сокращение удельных энергозатрат на плавку и соответствующее снижение себестоимости металла. По данным различных источников предварительный подогрев шихты является наиболее эффективным способом сокращения удельных энергозатрат при электроплавке, которые достигают 600 – 900 кВт·ч/т электростали [1 – 4]. При нагреве и расплавлении металлозавалки в плавильной печи расходуется порядка 70 – 75 % от общего количества энергии, затрачиваемого на плавку, предварительный нагрев шихты до 550 – 750 °С сокращает эти энергозатраты на 30 – 35 % [4].

Подогрев металлолома способствует повышению металлургического качества стали, снижению количества неметаллических включений, газонасыщенности металла. В процессе подогрева лома происходит удаление влаги, выгорание масел, красок. При этом одной из актуальных экологических проблем является образование диоксинов и фуранов при подогреве лома, содержащего пластик, масла и краски.

Для предварительного подогрева металлолома применяют различные технологии и устройства, в частности практикуют: автономный прямой нагрев в загрузочной бадье, устанавливаемой в газовый тракт; автономный косвенный нагрев воздуха в теплообменнике-рекуператоре с последующим нагревом металлолома в бадье (способ фирмы Danieli); автономный прямой нагрев (и непрерывная загрузка в рабочее пространство печи) металлолома на конвейере (процесс Consteel); во вращающихся трубчатых печах (процесс ВВС-Brusa); в отдельно стоящем шахтном трехзонном ломоподогревателе (схема Verticon); прямой нагрев непосредственно в рабочем пространстве двухкорпусных («двухванных») печей и подогрев металлолома топливо-

кислородными горелками (ТКГ) непосредственно в рабочем пространстве ДСП после завалки [1 – 4].

Наиболее эффективным способом подогрева металлолома является его продувка (фильтрация) высокотемпературными газами. В таких условиях преобладает конвективный режим теплообмена и обеспечивается КПД на уровне 65 – 79 %. Широкое применение получили ДСП, оснащенные подогревателями шахтного типа фирмы Fuchs Systemtechnik (прямой нагрев в шахтном подогревателе, совмещенном со сводом). В этом случае отсутствуют тепловые потери металлолома, не требуется дополнительных затрат по обслуживанию.

Наиболее простым техническим решением является подогрев металлолома топливо-кислородными горелками непосредственно в рабочем пространстве печи. Однако, при использовании ТКГ удается прогреть не более 10 – 15 % от общего объема металлозавалки и КПД такого способа обычно не превышает 10 % [4]. Нагрев кускового металлолома точечным источником – дугой за счет излучения имеет КПД порядка 20 %, но стоимость единицы тепловой энергии, полученной от сжигания природного газа в России в 8 – 10 раз меньше, чем от преобразования электрической энергии в тепловую. При этом необходимо учитывать, что работа дуги на холодной шихте весьма неустойчива, приводит к увеличению расхода электродов и угару стали. Таким образом, применение даже таких простых способов подогрева металлолома экономически и энергетически выгодно. По данным [5] на 1 м³ природного газа, израсходованного в ТКГ для нагрева лома в ДСП в целом экономится 0,6 – 0,8 м³ природного газа. Немаловажным аспектом является то, что применение ТКГ для подогрева металлолома непосредственно в рабочем пространстве ДСП можно отнести к типу малокапиталоемких и относительно малозатратных мероприятий, которые могут быть реализованы при реконструкции действующих печей. Более совершенные способы подогрева металлолома требуют существенных капитальных вложений и не всегда могут быть использованы на действующих печах. В связи с этим топливо-кислородный подогрев металлолома в ДСП еще продолжительное время не потеряет своей актуальности и будет востребован многими предприятиями, производящими электросталь.

Совершенствование технологии топливо-кислородного нагрева металлолома в ДСП является актуальной задачей, имеющей существенное отраслевое значение. Современные научные изыскания в этой области направлены на развитие как теоретических аспектов, связанных с теорией теплогенерации, тепло- и массообмена, так и конструктивной, аппаратной реализацией этой технологии.

В настоящее время ТКГ являются фактически стандартным оборудованием для подогрева металлолома в ДСП. В ТКГ осуществляется непосредственное сжигание газообразного, жидкого или твердого топлива в рабочем пространстве печи с получением высокотемпературного факела. ТКГ используются для ускорения расплавления шихты, для нагрева шихты и под-

резки лома в холодных участках плавильного пространства. ТКГ размещают против «холодных» зон в межэлектродных секторах. Режим сжигания топлива в ТКГ регулируется в соответствии с характером протекающего процесса путем изменения коэффициента расхода кислорода в пределах от 0,7 до 1,4 и более. Применение ТКГ в зависимости от их конструкции, режима работы и удельного расхода топлива позволяет снизить удельный расход электроэнергии от 30 до 120 кВт·ч/т, а также сократить длительность энергетического периода плавки на 5 – 15 мин, ускорить расплавление твердой металлошихты на 10 – 15 % [1 – 6].

Количество тепла, передаваемого шихте пламенем горелки, пропорционально ее мощности и продолжительности работы, а также КПД использования тепла, который зависит от площади поверхности шихты.

В процессе плавления шихта опускается, уплотняется, и пламя контактирует с ней все меньше, поэтому эффективность горелок снижается, ограничивая продолжительность их работы. Горелки более эффективно работают в начале плавления, когда пламя окружает относительно холодный скрап. На практике принята продолжительность использования горелок в течение не более 50 % времени плавки. Температуры лома при нагреве стеновыми горелками обычно не превышают 800 – 900 °С. Дальнейшее увеличение температуры приводит к интенсификации процессов окисления стали и повышению угара металла.

Первые конструкции горелок были подвижными, что вызывало затруднения при обслуживании. Впоследствии получили развитие стационарные горелки. В современных ДСП применяют оконные (дверные), стеновые, эркерные и сводовые, стационарные, выдвигаемые и поворотные, коротко- и длиннофакельные горелки тепловой мощностью 3 – 10 МВт в количестве 1 – 9 шт. и суммарной мощностью до 50 МВт.

В настоящее время за рубежом и в нашей стране широкое распространение получило применение стационарных стеновых газо-кислородных горелок и комбинированных фурм-горелок, которые работают в начальный период плавления в режиме горелки, а при появлении жидкой ванны переводятся в режим продувочной кислородной фурмы. Их единичные мощности составляют обычно 3 – 4 МВт. Суммарное количество таких горелок, устанавливаемых в стеновых панелях ДСП на разных предприятиях колеблется от 3 до 8 шт. При удельном расходе природного газа до 6 – 8 м³/т длительность плавления сокращается на 10 – 15 %, а расход электроэнергии сокращается на 30 – 50 кВт·ч/т [5].

Стационарные стеновые горелки могут эффективно работать не более 15 – 17 мин от начала плавления, а увеличение единичной мощности еще более сокращает время их работы. Для увеличения количества тепла, передаваемого шихте горелками, некоторые зарубежные фирмы идут по пути повышения суммарной мощности горелок за счет увеличения числа относительно маломощных горелок и их рассредоточения по периметру и высоте печи. Например, на 90-тонной дуговой печи Danarc установлены 12 горелок:

нижний уровень из 8 горелок мощностью по 3,5 МВт, верхний уровень из 4 горелок мощностью по 3,5 МВт. Общая мощность горелок составляет 42 МВт, что равняется половине мощности двух используемых трансформаторов [8]. Однако увеличение числа горелок создает определенные трудности по их размещению в стенах печи, разводке газо- и кислородопроводов, усложняет конструкцию печи и увеличивает затраты на обслуживание печной установки.

Перспективным конструктивным решением остается увеличение единичной мощности горелок, выполнив их поворотными, способными в значительных пределах изменять направление факела от уже нагретых к относительно холодным массам лома. В результате зона действия факела увеличивается в несколько раз, и, соответственно, повышается полезная мощность горелки.

Отечественная металлургия имеет опыт использования на дуговых печах большой емкости мощных газо-кислородных горелок с изменяющимся направлением факела. В 80-е годы прошлого века под руководством Ю.Н. Тулуевского были созданы поворотные сводовые горелки мощностью 15 МВт [9]. Такие горелки успешно применялись на 100-т дуговых печах ЧМК и 200-т печи завода «Красный октябрь».

Нормальное соотношение объемов O_2 и природного газа, подаваемых в горелку составляет 2:1, но оно может быть и больше. Избыток кислорода приводит к увеличению окисления железа и повышению расхода электродов. Количество сжигаемого газа и O_2 зависит от объема печи, количества подаваемой шихты. Стандартное потребление на 1 т стали приблизительно 6 м^3 газа и 12 м^3 O_2 . Удельная мощность, вводимая горелками, составляет 60 – 100 кВт·ч/т [7].

При сжигании природного газа в атмосфере кислорода, подаваемого с коэффициентом расхода окислителя $\alpha=1$, температуры составляют 2500 °С, при этом недожег за счет диссоциации трехатомных газов может достигать более 20 % от теплотворной способности топлива. Характерно, что образующиеся в таких условиях продукты сгорания содержат атомарный кислород в количестве $0,1 \text{ м}^3$ на 1 м^3 сжигаемого природного газа, что предопределяет высокую интенсивность окисления железа при нагреве металлолома. При подаче в горелку азото-кислородной смеси, содержащей 60 % O_2 , происходит снижение температуры горения на 200 °С, что обеспечивает снижение потерь тепла на диссоциацию на 30 % и уменьшение доли атомарного кислорода до 0,05 [6].

При выборе рационального коэффициента расхода окислителя необходимо учитывать, что максимальный эффект применения ТКГ достигается в случае полного дожигания горючих газов в рабочем пространстве ДСП. Использование факела при стехиометрическом соотношении газ-кислород приводит к образованию в атмосфере рабочего пространства ДСП до 20 – 40 % монооксида углерода СО. Количество горючих компонентов возрастает при высокой загрязненности лома маслами, пластмассой и т.п. материалами. При содержании в металлошихте порядка 0,5 % органических соединений увеличивается энергетический потенциал технологических газов на 50 кВт·ч/т.

При организации дожигания СО применение $1 \text{ м}^3/\text{т}$ O_2 позволяет дополнительно снизить расход электроэнергии на $4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$ стали [10]. Учитывая непостоянство состава металлолома и влияние на состав газовой фазы печи целого ряда других факторов, например подсосов атмосферного воздуха через завалочные, рабочие окна, весьма перспективными являются системы автоматического регулирования коэффициента расхода окислителя по ходу плавки, на основе анализа состава уходящих из печи газов.

В общем случае при использовании газо-кислородных горелок достигаются:

- увеличение количества тепла, вводимого в печь;
- повышение температуры в «холодных точках» (у стен, в промежутках между электродами);
- экономия электроэнергии (около $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$);
- сокращение времени от выпуска до выпуска, что приводит к повышению производительности печи;
- уменьшение расхода электродов (примерно на $0,4 \text{ кг}/\text{т}$) в связи со снижением продолжительности работы под током;
- уменьшение расхода огнеупоров (приблизительно на $0,5 \text{ кг}/\text{т}$) в связи с сокращением продолжительности плавки.

В последнее время предпринимаются попытки применить ТКГ на твердом топливе, что привлекательно, если учесть дешевизну, доступность и ресурсы энергетических углей. Расход угля варьируют в пределах $15 - 30 \text{ кг}/\text{т}$, расход кислорода $25 - 50 \text{ м}^3/\text{т}$. С учетом дожигания монооксида углерода экономия электроэнергии достигает $100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Сжигание твердого углеродсодержащего топлива в токе кислорода и добавка его вместе с шихтой преследуют цель дополнительного подвода тепла в период плавления. Именно в этом случае удается достичь наибольшей экономии электроэнергии. Однако сжигание даже тонкоизмельченного твердого топлива сопровождается трудностями. Ограниченное пространство и холодная шихта – главные препятствия для достижения эффективной работы ТКГ на твердом топливе в дуговых печах.

При работе газо-кислородных горелок основная часть тепла передается нагреваемому лому посредством конвекции [1, 5]. При этом интенсивность конвективного теплообмена определяется в основном температурой и скоростью продуктов сгорания. В то же время, по данным Д.В. Чернышова [11] падающие в ДСП на поверхность нагрева тепловые потоки от газового или мазутного факела на $85 - 95 \%$ состоят из потока излучения и на $10 - 15 \%$ из конвективного потока.

При нагреве металлолома ТКГ, согласно основных положений общей теории печей М.А. Глинкова [12], реализуется прямой направленный режим радиационного теплообмена, поскольку факел горелок направлен непосредственно на поверхность металлолома, стены и свод рабочего пространства ДСП в теплообмене участие фактически не принимают (особенно если они выполнены из водоохлаждаемых панелей). Для интенсификации прямого

направленного режима радиационного теплообмена рекомендуются следующие мероприятия [12]:

- повышение температуры факела (в основном за счет применения высококалорийного топлива, обогащения дутья кислородом, подогрева топлива и окислителя);
- увеличение светимости (степени черноты факела) посредством применения тяжелых сортов мазута, пылевидного топлива;
- организация специфического газодинамического режима – настильного факела, размещение его вблизи поверхности нагреваемого металлолома, минимизация подсоса в пламя окружающей среды, создание достаточно высоких скоростей истечения продуктов сгорания.

Анализируя перечисленные мероприятия можно заметить, что фактически все они реализуются в современных конструкциях ТКГ ДСП, в то же время по повышению степени черноты, светимости факела определенные резервы имеются. Сжигание наиболее распространенного природного газа в смеси с кислородом хотя и позволяет получить высокую температуру продуктов сгорания, но не обеспечивает высокой светимости факела. С подобной проблемой металлурги-теплотехники столкнулись при переводе мартеновских печей на отопление природным газом. Известно, что светимость факела в значительной степени зависит от содержания в нем сажистых частиц. Для увеличения светимости газового факела его карбюризируют, добавляют в него мазут. Дисперсный состав и концентрация сажистых частиц зависят от доли мазута, при этом размер частиц сажистого углерода находится в пределах $5...300 \cdot 10^{-3}$ мкм [13]. Не менее эффективным способом повышения светимости факела, который может быть реализован в современных ДСП, оборудованных ТКГ и системами для вдувания пылевидного углеродсодержащего топлива для вспенивания шлака, является организация сжигания комбинированного топлива – природного газа и пылевидного углеродсодержащего материала (кокса, углерода, угля и т.п.). Тепловое излучение пылеугольного факела состоит из излучения газов и излучения частиц кокса и золы, при этом такие частицы характеризуются более крупными размерами, чем сажистые частицы. Массовая концентрация твердых частиц в пылеугольном факеле многократно превышает концентрацию сажистых частиц в газовом и мазутном факелах. Весьма важным является то, что частицы твердого топлива, оседающие в рабочем пространстве ДСП, фактически не будут приводить к возрастанию потерь тепла с механическим недожегом, поскольку впоследствии тепло от их сгорания будет усвоено жидким металлом, подобно шихтовым углеродсодержащим материалам.

ВЫВОДЫ: Применение топливо-кислородного подогрева металлолома в рабочем пространстве ДСП является перспективным направлением в области энергосбережения при производстве электростали. Существующие технологии газо-кислородного подогрева металлолома имеют резервы по интенсификации теплообмена. Увеличение доли тепла доставляемого к поверхности металлолома излучением может быть обеспечено за счет повышения светимости факела посредством применения комбинированного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поволоцкий Д.Я. Основы технологии производства стали / Д.Я. Поволоцкий. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 202 с.
2. Рябов А.В. Современные способы выплавки стали в дуговых печах / А.В. Рябов, И.В. Чуманов, М.В. Шишимиров. – М.: Теплотехник, 2007. – 192 с.
3. Егоров А.В. Электрометаллургия стали и спецэлектрометаллургия. Электроплавильные печи чёрной металлургии / А.В. Егоров. – М.: Учёба, 2007. – 428 с.
4. Ровин С.Л. Ресурсосберегающие технологии в литейном и металлургическом производствах / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин // Научно-технические разработки Беларуси, Казахстана, России для многостороннего сотрудничества: Материалы семинара-презентации. – М.: 2007. – С. 15 – 22.
5. Эффективность применения газокислородных горелок в современных дуговых сталеплавильных печах / А.Д. Киселев, И.Ю. Зинуров, Д.Н. Макаров и др. // Металлург. – 2006. – № 10. – С. 60 – 62.
6. Мероприятия по снижению расхода электроэнергии и улучшению экологической обстановки в электросталеплавильных цехах / А.Б. Усачев, Б.С. Чайкин, Г.Е. Марьянчик и др. // Труды VII Конгресса сталеплавильщиков. – М.: 2003. – С. 284 – 287.
7. Инжекционные технологии и возможность внедрения их в производство / В. Некрасов, Р. Милович, В. Сулягин и др. // Электрометаллургия. – 2002. – № 6. – С. 2 – 14.
8. Новейшая высокотехнологичная электродуговая печь // Металлургическое производство и технология. – 2007. – № 1. – С. 16 – 26.
9. Тулуевский Ю.Н. Факельно-дуговые процессы электроплавки / Ю.Н. Тулуевский, В.Г. Мизин, И.Ю. Зинуров // Сталь. – 1988. – № 18. – С.42 – 46.
10. Деревянченко И.В. К вопросу об использовании топливного факела и приемы дожигания СО в рабочем пространстве ДСП / И.В. Деревянченко, Г.А. Лозин, О.Л. Кучеренко // Труды VIII Конгресса сталеплавильщиков. – М.: 2005. – С. 247 – 248.
11. Чернышов Д.В. Разработка рациональных энергетических параметров токоподвода, дуги и факела топливо-кислородных горелок в дуговых сталеплавильных печах / Д.В. Чернышов. – Тверь: ТГТУ, автореферат дис. канд. техн. наук. – 2007. – 19 с.
12. Глинков М.А. Общая теория тепловой работы печей / М.А. Глинков, Г.М. Глинков. – М.: Металлургия, 1990. – 232 с.
13. Макаров А.Н. Теория и практика теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания. Ч.1 Основы теории теплообмена излучением в печах и топках / А.Н. Макаров. – Тверь: ТГТУ, 2007. – 184 с.

УДК 669.18: 621.746.5

М.В. Матвеев, М.В. Темлянцев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ КОЖУХОВ 130-Т СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

В статье представлены результаты исследования теплового состояния кожухов сталеразливочных ковшей в периоды различных технологических операций.

In the article the outcomes of research of a thermal condition of casings of ladles are shown during various technological operations.

Тепловое состояние кожухов (брони) сталеразливочных ковшей в значительной степени предопределяет срок их службы, жесткость конструкции и вероятность возникновения аварийных ситуаций при транспортировании, внепечной обработке и разливке жидкой стали [1, 2]. Для углеродистых и низколегированных марок сталей, получивших распространение при изготовлении кожухов сталеразливочных ковшей, максимальная температура эксплуатации составляет порядка 400 – 435 °С. При превышении допустимых температур брони возникает вероятность деформаций геометрии кожуха и преждевременного вывода ковша из эксплуатации. Повышение температур кожуха более 600 – 700 °С приводит к интенсификации процессов окисления, стали, высокотемпературной атмосферной коррозии. При этом толщина брони ковша становится меньше, а кожух покрывается слоем окалины. Одной из самых опасных аварийных ситуаций является проход стали через футеровку, локальный разогрев кожуха до температур (порядка 1450 – 1500 °С), превышающих его температуру плавления, проплавление брони и уход стали из ковша. Температура кожуха является информативной величиной при определении тепловых потерь от расплава через футеровку ковша в окружающую среду. В целях снижения тепловых потерь и скорости охлаждения расплава стали в ковше, повышения комфортности работы персонала температуру кожуха стараются минимизировать в основном за счет повышения теплоизоляционных свойств огнеупорной футеровки.

Для исследования теплового состояния кожухов 130-т сталеразливочных ковшей в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» проведена серия промышленных экспериментов. Температуру брони ковша измеряли с помощью тепловизора «Flir». Футеровка ковша выполнена трехслойной, рабочий слой из периклазоуглеродистых огнеупоров толщиной 210 – 150 мм, арматурный – шамотный, толщиной 80 мм, теплоизоляционный – асбест толщиной 10 мм, кожух из

стали марки 09Г2С. Измерения проводили для верхней, нижней частей кожуха и днища, разделенных горизонтальными обечайками, в периоды технологических операций: после выпуска металла в ковш, простой ковша с расплавом, обработка расплава на АКОСе и разливка на МНЛЗ. На рисунке 1 показаны характерные термограммы брони ковша.

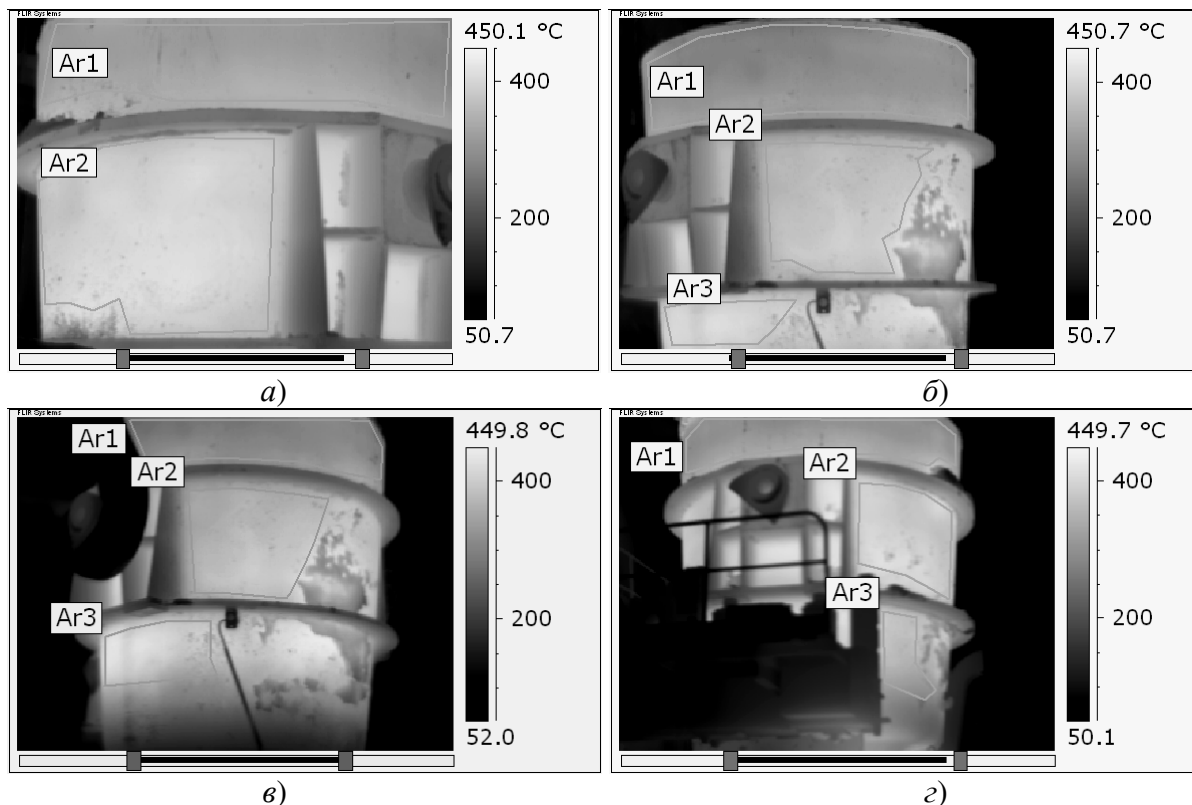


Рисунок 1 – Термограммы температуры поверхности кожуха после выпуска металла в ковш (а), при простое ковша с расплавом (б), обработке расплава на АКОСе (в) и разливке на МНЛЗ (г)

На рисунке 2 представлены результаты исследования динамики изменения температуры различных участков кожуха ковша. В таблице представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных.

Анализ полученных данных показывает, что все участки кожуха работают в допустимых условиях. Температура брони не превышает максимального для стали 09Г2С значения 435 °С. Во время исследованных технологических операций верхняя часть кожуха ковша имеет температуру 250 – 295 °С, средняя и нижняя части кожуха 360 – 396 °С и 273 – 370 °С соответственно. При этом интервал изменений температуры различных участков кожуха составляет 45, 36 и 97 °С для верхней, средней и нижней частей брони соответственно. При простое температура кожуха сталковша снижается на 20 – 40 °С.

Подобная динамика температур различных участков кожуха predetermined результирующим действием различных факторов. В частности для верхней части футеровки характерна наименьшая продолжительность кон-

такта с расплавом, особенно в периоды выпуска металла в ковш и разливки на МНЛЗ. При транспортировании ковша верхние слои расплава вследствие охлаждения имеют более низкую температуру, чем нижние. Эти факторы и предопределили более низкую температуру верхней части кожуха по сравнению со средней и нижней.

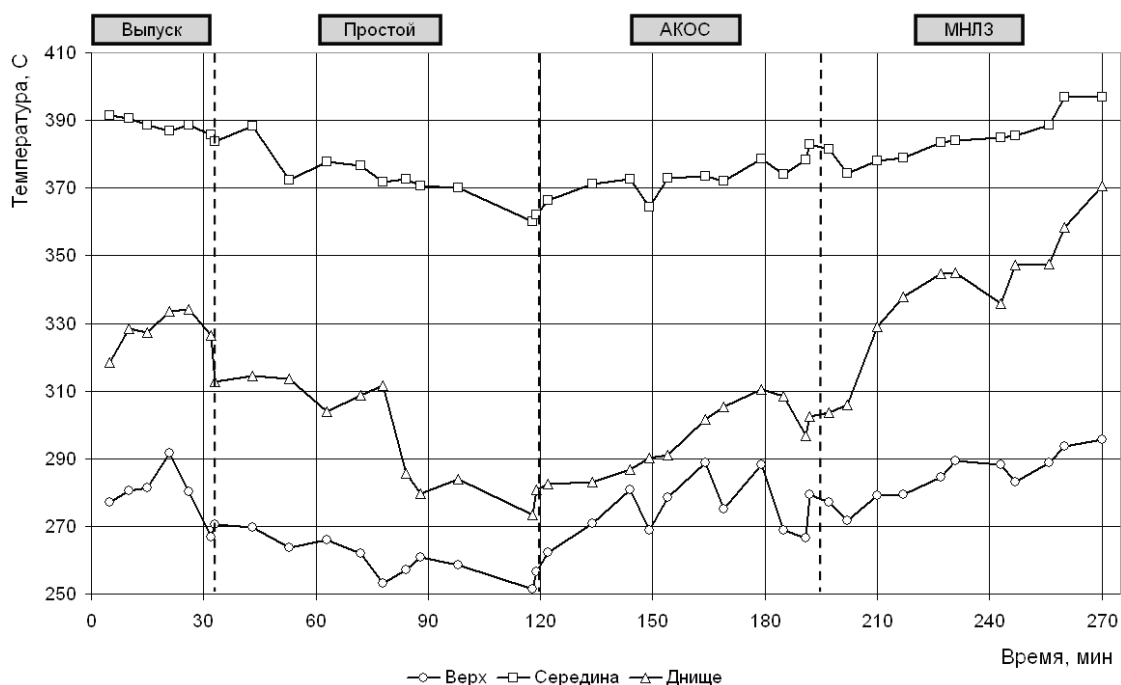


Рисунок 2 – Изменение температуры различных участков кожуха ковша во времени

Таблица – Изменение параметров теплового состояния кожуха ковша

№ п/п	Технологическая операция	Уровень замера по высоте ковша	Время технологической операции, ч : м	Скорость изменения температуры кожуха, °С/м	Изменение температуры кожуха за технологическую операцию, °С
1	После выпуска металла в ковш	Верх Середина Днище	0 : 32	- 0,313 - 0,156 + 0,250	-10 -5 +8
2	Простой стальной ковша	Верх Середина Днище	1 : 25	- 0,188 - 0,306 - 0,624	-16 -26 -53
3	Обработка на АКОСе	Верх Середина Днище	1 : 12	+ 0,208 + 0,250 + 0,333	+15 +18 +24
4	Разливка на МНЛЗ	Верх Середина Днище	1 : 18	+ 0,372 + 0,231 + 0,936	+29 +18 +73

Для днища характерна максимальная продолжительность контакта футеровки с расплавом, однако днище имеет футеровку большей толщины, чем стены, а соответственно и более высокое термическое сопротивление. Средняя часть кожуха имеет максимальную температуру, что является следствием более продолжительного контакта футеровки с расплавом по сравнению с верхней частью и меньшей толщины футеровки по сравнению с днищем ковша.

Наибольшее изменение температуры кожуха характерно для области днища, которое приходится на стадию разливки на МНЛЗ. Исследование показало, что существенную роль при этом играют горячие потоки восходящего воздуха и излучение от металла находящегося в промежуточном ковше. Таким образом, на этой стадии происходит внешний разогрев кожуха.

Для верхней части кожуха наиболее интенсивный разогрев приходится на операцию обработки металла на АКОСе, определяющую роль при этом играют дуговой подогрев металла и разбрызгивающийся и стекающий по кожуху стальной шлак.

Проведенные исследования показывают, что при разработке мероприятий по снижению температуры кожуха необходимо учитывать не только внутренние источники тепла, т.е. тепловой поток от расплава через футеровку, но и внешние, например тепловые потоки конвекцией и излучением от источников, расположенных в цехе (зеркала расплава или шлака в промежуточном ковше, стен вакууматора и т.п.). Корректная идентификация причин повышения температуры кожуха и источников тепла позволяет разрабатывать адекватные мероприятия по ее снижению. В частности, если увеличение теплового потока от металла в ковше, например может быть скомпенсировано увеличением толщины теплоизоляционного слоя или повышением общего теплового сопротивления футеровки, то влияние внешних источников излучения можно снизить, например за счет покраски кожуха краской с низкой степенью черноты (с высокой отражательной способностью).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стариков В.С. Огнеупоры и футеровки в ковшевой металлургии / В.С. Стариков, М.В. Темлянцев, В.В. Стариков. – М.: МИСИС, 2003. – 328 с.
2. Стариков В.С. Исследование разрушения футеровки металлургических ковшей / В.С. Стариков, М.В. Темлянцев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 6. – С. 28 – 30.

УДК 669.046.564:621.785

М.В. Темлянцев, О.Д. Олендаренко

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАЩИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ УГАРА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния химико-минералогического состава защитных покрытий на интенсивность высокотемпературного окисления рельсовой стали.

In the article the outcomes of experimental researches of influence of a structure of protective coatings on intensity of high-temperature oxidation of rail steel are shown.

Работа выполнена по гранту Губернатора Кемеровской области для поддержки молодых ученых-докторов наук

Для защиты стали от окисления при нагреве в печах под обработку давлением применяют защитные покрытия. В настоящее время разработано большое многообразие различных составов покрытий, обеспечивающих надежную защиту стали от угара при нагреве до температур порядка 900 – 1100 °С [1, 2]. Гораздо меньше разработано технологичных и относительно дешевых покрытий, способных надежно защищать сталь при температурах 1200 – 1300 °С в условиях массового производства при нагреве блюмов и слябов в методических печах перед прокаткой. Одни из наиболее перспективных разработок в этой области принадлежат научному коллективу, возглавляемому Л.Л. Брагиной (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт») [3, 4]. Этим коллективом создан новый тип жаростойких стеклокерамических покрытий, называемых термомобильными. Формирование структуры и защитных свойств таких покрытий происходит непосредственно в процессе нагрева металла, защищенного покрытием. Покрытия выполняют одно- и двухслойными, они содержат кристаллическую фазу алюмосиликатного состава и стеклосвязку в виде легкоплавких щелочнобороалюмосиликатных стекол, а также растворимых щелочносиликатных и щелочнофосфатных стекол.

Весьма перспективным направлением в области защитных покрытий является разработка составов, не образующих при нагреве жидкой фазы. Очевидным для реализации этого направления является поиск альтернатив-

ных связующих – заменителей стекол, имеющих более высокую температуру плавления.

Основная цель настоящей работы – разработка защитных покрытий на альтернативных связующих и исследование влияния их химико-минералогического состава на интенсивность угара рельсовой стали.

Проведена серия экспериментов по исследованию защитных свойств покрытий с заполнителями различного химико-минералогического состава: технический глинозем (Al_2O_3), шамот (Al_2O_3 , SiO_2), огнеупорная глина (Al_2O_3 , SiO_2), периклазоуглеродистый материал (MgO , C). Заполнитель имеет непрерывный гранулометрический состав, фракция менее 0,15 мм. В покрытиях использована связка нового поколения – водная керамическая вяжущая суспензия (ВКВС) кремнеземистого состава. Покрытия, имеющие консистенцию густой сметаны, наносили на образцы рельсовой стали Э76Ф поперечным сечением 10×10×30 мм. После нанесения покрытия на образцы их высушивали при температуре 40 – 60 °С. Толщина покрытия составляла 1 мм. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Образцы нагревали до температур 1000, 1100, 1200 и 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 60 мин. Температуру образца измеряли хромель-алюмелевой термопарой и многоканальным программным регулятором температур «Термодат 19Е2». Угар стали определяли гравиметрическим методом по потере массы образца.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при сушке в атмосферных условиях покрытий на основе технического глинозема они образуют плотный слой и имеют достаточно высокую прочность сцепления со сталью. Однако при сушке в сушиле при температуре 40 – 60 °С наблюдается растрескивание и шелушивание покрытия (рисунок 1, а), таким образом проведение высокотемпературных исследований этого покрытия не представляется возможным. Для практического применения данное покрытие не пригодно. Растрескивание покрытия связано с возникновением высокого уровня напряжений, вызванных значительным различием температурного коэффициента линейного расширения и модуля упругости покрытия и стали.

Покрытия на основе алюмосиликатного и периклазоуглеродистого заполнителей, нанесенные на образцы, выдерживали без нарушения сплошности и отделения от металла скорости нагрева до 200 °С/мин.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты высокотемпературных исследований покрытий. Из рисунков видно, что при температурах до 1100 °С покрытия на основе шамотного и глиняного заполнителей имеют аналогичные защитные свойства и снижают угар рельсовой стали почти в 4,5 раза. Периклазоуглеродистое покрытие обладает несколько меньшими защитными свойствами и снижает угар примерно в 2 раза. Поле нагрева до 1000 –

1100 °С покрытия имеют гладкую поверхность, на которой видны частицы наполнителя.

При температуре 1200 °С наблюдается размягчение, вспучивание и появление жидкофазных участков в покрытиях алюмосиликатного состава, которые более выражены у глиняного покрытия (рисунок 1, б). Вспучивание и нарушение сплошности приводит к потере защитных свойств покрытия и интенсифицирует диффузионные процессы окисления.

При температуре 1250 °С наблюдается оплавление покрытий алюмосиликатного состава (рисунок 1, в), что сопровождается резким увеличением интенсивности окисления. При этом угар образцов, не защищенных покрытием, почти в 3 раза меньше, чем образцов с алюмосиликатными покрытиями. Периклазоуглеродистое покрытие не оплавляется при нагреве до температур 1250 – 1280 °С и в этом интервале обладает достаточно высокими защитными свойствами. Оно снижает угар рельсовой стали почти в 2 раза.

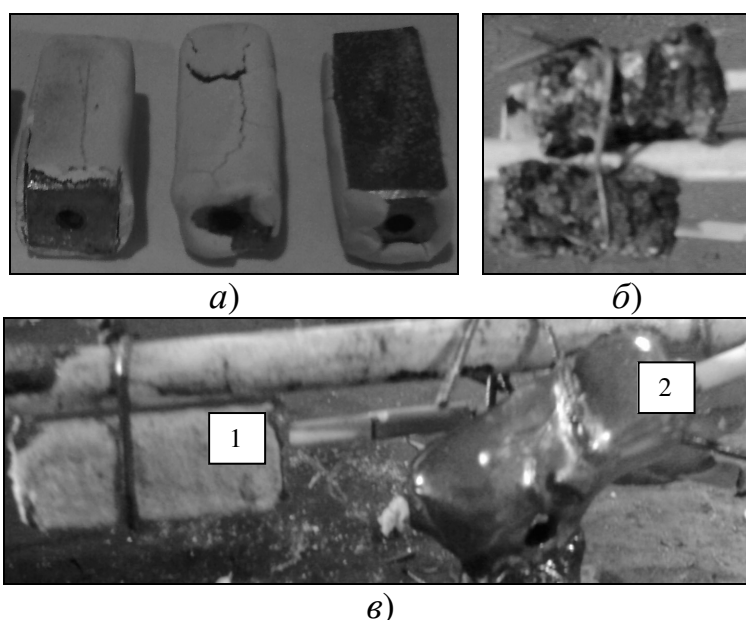


Рисунок 1 – Общий вид образцов с покрытиями на основе глинозема, после сушки (а), шамота и глины после выдержки при 1200 °С (б), периклазоуглеродистого материала (1) и шамота (2) после выдержки при 1250 °С (в)

При использовании в качестве связки ВКВС кремнеземистого состава покрытия на основе алюмосиликатных и магнезитовых огнеупоров могут представлять собой системы $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ или $\text{SiO}_2\text{--MgO}$. При взаимодействии с вюститом окалина эти системы становятся трехкомпонентными $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$ или $\text{SiO}_2\text{--MgO--FeO}$. Анализ диаграмм состояния этих систем [5, 6] показывает, что MgO, взаимодействуя с вюститом, образует ряд твердых растворов магнезиовюститов. Температура плавления таких твердых растворов даже при содержании 50 % FeO находится на уровне 2000 °С. Оксид Fe_2O_3 , взаимодействуя с оксидом магния, образует магнезиоферрит MgFe_2O_4 с температурой плавления 1713 °С; с SiO_2 оксид магния образует форстерит

Mg_2SiO_4 и клиноэнстатит $MgSiO_3$ с температурами плавления 1890 и 1557 °С. Кремнезем с вюститом образует фаялит Fe_2SiO_4 с температурой плавления 1205 °С, который и является причиной оплавления продуктов взаимодействия окалины и покрытия.

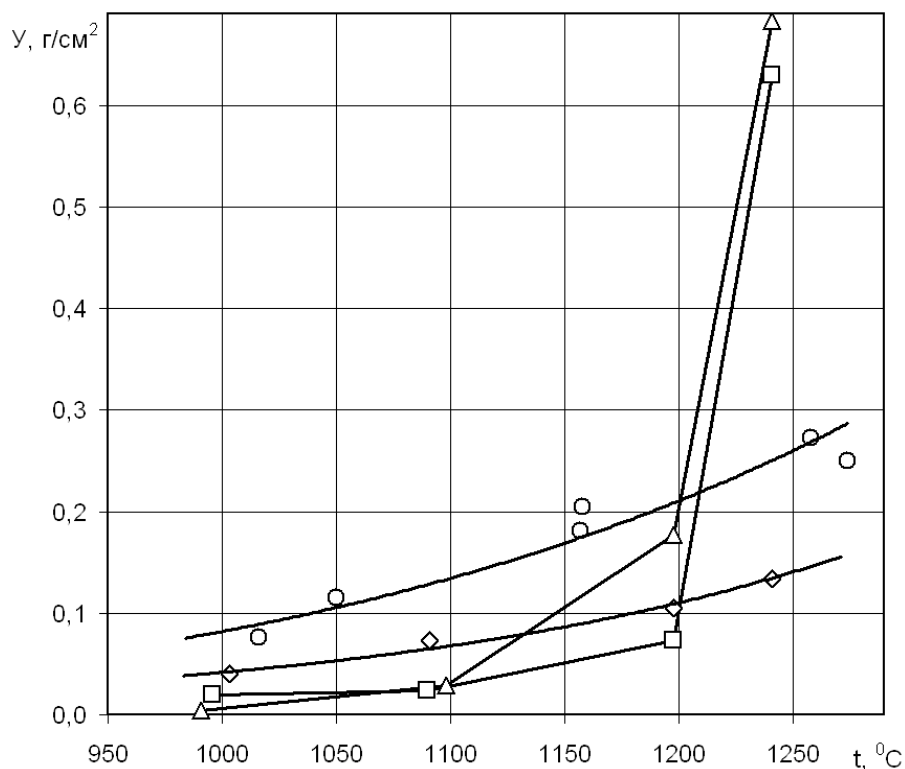


Рисунок 2 – Зависимости угара рельсовой стали Э76Ф от температуры выдержки без покрытия (○), с покрытиями на основе шамотного (□), глиняного (△) и периклазоуглеродистого (◇) заполнителей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев С.С. Защитные покрытия металлов при нагреве / С.С. Солнцев, А.Т. Туманов. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с.
2. Солнцев С.С. Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали / С.С. Солнцев. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
3. Брагина Л.Л. Защитные технологические покрытия в металлургии и машиностроении / Л.Л. Брагина, А.Д. Чепурной // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Тематический выпуск: Машиностроение и САПР: Сборник научных трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 53. – С. 24 – 28.
4. Технология эмали и защитных покрытий / Л.Л. Брагина, А.П. Зубехина, Я.И. Белый и др. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ); Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 488 с.
5. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1985. – 480 с.
6. Атлас шлаков. Справ. изд. Пер. с нем. – М.: Metallurgy, 1985. – 208 с.

В.М. Павловец

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ

Расчётным путём определены оптимальные размеры зародышей для принудительного зародышеобразования, обеспечивающие необходимые условия увлажнения их поверхности и скорости роста массы окатышей, существенно превышающие известные пределы

The settlement way defines the optimum sizes of germs for compulsory formation of the germs, providing necessary conditions of humidifying of their surface and growth rate of weight of the ore material received from small ore, essentially exceeding known limits

Производство спечённых железорудных окатышей является сложным теплофизическим процессом, в котором технологии формообразования влажной сыпучей шихты сочетаются с тепловыми явлениями, развивающимися при сушке, обжиге и охлаждении. Эффективность протекания каждого из этих процессов зависит от полноты и завершённости предыдущего явления. В частности, интенсификация обжига и связанного с ним физического нагрева, ограничена неравномерным влагоудалением из структуры окатышей при слоевой сушке на обжиговой конвертерной машине. Неравномерность влагоудаления, в свою очередь, обусловлена диффузионными затруднениями, возникающими при переносе влаги из центра окатыша к его поверхности. Существующая технология формообразования включает получение переувлажнённого на 2-3 % зародыша, который формирует ядро окатыша. На нём образуется оболочка окатыша, влажность которой существенно ниже. Распределение влажности в структуре окатышей, в котором ядро имеет влажность, меньшую чем оболочка окатышей, позволяет получить технология формообразования, включающая процесс принудительного зародышеобразования [1,2].

В его основе лежит технология получения зародышей определённого размера с пониженным содержанием влаги. Следующим этапом в процессе получения окатышей является подача мелкораспыслённой воды на поверхность зародышей. После увлажнения поверхности зародыша на глубину 1 – 2 мм и подаче к зоне увлажнения свежей шихты происходит рост оболочки и формирование конечной массы годного окатыша. Для успешного роста обо-

лочки окатыша необходимо определить оптимальные условия, способствующие росту массы окатышей с более высокой скоростью. В частности, скорость роста массы окатышей, получаемых традиционным способом переката, не превышает 0,03-0,05 г/с [3].

Целью работы является определение необходимых размеров зародышей, обеспечивающих оптимальные условия увлажнения их поверхности и скорости роста массы окатышей, существенно превышающие известные пределы.

Предлагаемые технологии получения окатышей позволяют получать окатыши, двухслойные по содержанию влаги. На поверхности окатыша влажность материала существенно превышает влажность ядра, в качестве которого выступают зародыши. Для установления оптимального размера зародышей выполнили расчеты средней влажности окатышей, $\bar{W}_{OK}, \%$, по правилу аддитивности:

$$\bar{W}_{OK} = \sum_{i=1}^2 M_i W_i = (M_{ЗР} \cdot \bar{W}_{ЗР} + M_{ОБ} \cdot \bar{W}_{ОБ}) / M_{OK}, \%$$

где $M_{ЗР}$, $M_{ОБ}$, M_{OK} – масса зародыша, оболочки и всего окатыша, г; $\bar{W}_{ЗР}$, $\bar{W}_{ОБ}$, \bar{W}_{OK} – их средние влажности, %.

Среднюю влажность зародыша определяли по выражению:

$$\bar{W}_{ЗР} = (W_{ЗР}^{ОСБ} \cdot M_{ЗР}^{ОСБ} + W_{ЗР}^{ПОВ} \cdot M_{ЗР}^{ПОВ}) / M_{ЗР}, \%$$

где $W_{ЗР}^{ОСБ}$ – влажность центрального (осевого) слоя зародыша, %; $M_{ЗР}^{ПОВ}$ – влажность поверхностного слоя зародыша, %; $M_{ЗР}^{ОСБ}$, $M_{ЗР}^{ПОВ}$, $M_{ЗР}$ – массы центрального, поверхностного слоев зародыша и всего зародыша, г.

Для расчетов сделали несколько допущений. Приняли, что масса окатыша диаметром 16,0 мм составляет 8,10 г и остается постоянной. Влажность оболочки окатыша равна влажности исходной шихты $1 W_{ОБ} = W_{Ш} = 8,25 \%$. Массу зародыша определяли суммированием масс центрального и поверхностного слоев и рассчитывали произведением объема соответствующих масс зародыша кубической формы на его плотность. Массовая доля зародыша в общей массе окатыша изменялась от 0,32 ($a_{ЗР}=2$ мм) до 88,1 % ($a_{ЗР}=14$ мм), здесь $a_{ЗР}$ – размер зародыша. Массу оболочки $M_{ОБ}$, г, окатыша определяли по разности M_{OK} и $M_{ЗР}$. Расчеты проводили для $a_{ЗР}=2,0$; 5,0; 10,0; 14,0 мм, и плотности $\rho_{ЗР}=2600$ и 3200 кг/м³. Влажность поверхностного слоя зародыша оставалась постоянной и равной 7,96 % . Влажность центрального слоя зародыша задавали равной 2,0; 4,0; 7,0 %. Полагали, что до момента роста оболочки окатыша влажности $W_{ЗР}^{ОСБ}$ и $W_{ЗР}^{ПОВ}$ оставались неизменными. Условно приняли, что поверхностный слой зародыша, который необходимо дополнительно увлажнять на каждой из шести граней, простирается на глубину 1,0 мм для зародышей плотностью $\rho_{ЗР}=3200$ кг/м³ и на глубину 1,5 мм для $\rho_{ЗР}=2600$ кг/м³. В соответствии с этим условием его до-

ля в массе зародышей размерами 2,0; 5,0; 10,0; 14,0 мм составляла 10,0; 78,2; 48,7; 37,1 % соответственно. Степень повторного увлажнения зародыша $\Delta W_{ЗР}$, определяли по разности $\bar{W}_{ЗР} - W_{ЗР}^{OCb}$. Результаты расчетов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Установили, что на среднюю влажность окатышей влияют исходная влажность, размеры и плотность зародышей (рис.1, а). Использование зародышей размерами 2,0 - 5,0 мм (рис. 1 а) для получения окатышей в технологии принудительного зародышеобразования не позволяет существенно снизить \bar{W}_{OK} . Зародыши такого размера с $W_{ЗР}^{OCb} = 2,0 - 7,0 \%$ и $\rho_{ЗР} = 2600 - 3200 \text{ кг/м}^3$ позволяют получить окатыши с влажностью 8,17–8,24 %, которая близка влажности оболочки окатыша ($\bar{W}_{OB} = 8,25 \%$).

Таблица 1 – Результаты расчетов влажности зародышей и окатышей

Размер зародышей, мм	Исходная (числитель) и относительная (знаменатель) влажность зародышей, %	Средняя влажность зародышей, % (числитель) и окатышей (знаменатель) при плотности зародышей, кг/м ³		
		2600	3200	
2	2,0/0,24	7,94 /	7,93 /	
		8,23	8,22	
		7,57 /	6,66 /	
		8,19	8,17	
5		6,09 /	7,55	4,90 /
10		5,07 /	5,47	4,21 /
14		4,0/0,48	7,95 /	7,95 /
			8,24	8,23
			7,70 /	7,93 /
			8,20	8,19
5	6,72 /		7,75	5,93 /
10	6,04 /		6,30	5,47 /
14	7,0/0,85		7,96 /	7,96 /
			8,25	8,24
			7,89 /	7,75 /
			8,21	8,20
5		7,65 /	8,05	7,46 /
10		7,48 /	7,57	7,15 /
14				

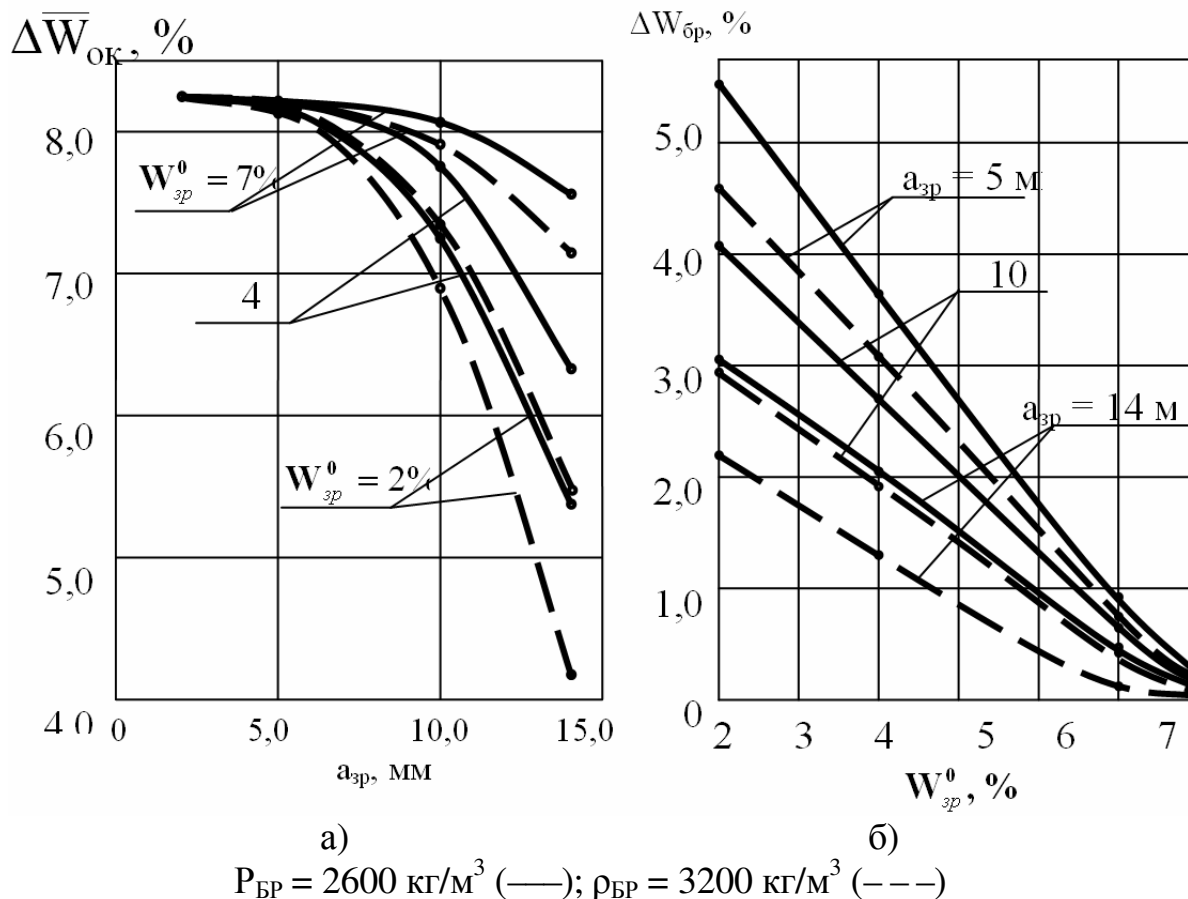


Рисунок 1 – Зависимость средней влажности окатышей от размеров зародышей – а и степени переувлажнения зародышей от их исходной влажности – б

Напомним, что по технологии прототипа 30 (аббревиатура соответствует технологическим операциям зародышеобразование-окомкование) $\bar{W}_{OK} = 8,25\%$ (Ш1), а технология ЗНД (зародышеобразование напылением – доокомкование) при использовании $a_{зр} = 2,0$ мм дает уменьшение влажности окатыша на 0,10 – 0,33 %. Это обусловлено максимальной степенью переувлажнения брикетов (2,21 – 5,66 %) в ходе формирования оболочки окатыша. Для получения окатышей кондиционных размеров ($d_{OK} = 16,0$ мм) их центральную зону необходимо переувлажнять настолько, что ее влажность (7,76 – 7,96 %) становится близкой влажности оболочки (8,25 %).

Для уменьшения степени повторного увлажнения зародышей малых размеров ($a_{зр} < 5,0$ мм) необходимо формировать влажность в процессе их получения напылением воздушно-шихтовой струей (ВШС) не ниже 7,0 % ($\Theta_{Wзр} > 0,82-0,85$).

При использовании в технологии ЗНД зародышей размерами 5,0-10,0 мм их массовая доля в окатыше увеличивается с 4,0 до 32,1 %. Распределение влаги по сечению окатышей существенно меняется за счет увеличения в 1,5-3,0 раза пути 1 капиллярной пропитки зародыша влагой ($l=3-7$ мм, l – расстояние между поверхностью и центром брикета). Центр зародыша на

момент ($\tau = 4$ с) интенсивного увлажнения его поверхности и роста массы оболочки окатыша со скоростью более $(1-2)10^{-2}$ г/с сохраняет влажность, равную начальной влажности брикета ($W_{3P}^{OCb} = 7,0$ %) (рисунок 1, а).

Для зародышей размерами $a_{3P} > 5,0$ мм также требуется дополнительное увлажнение их поверхностного слоя до $W_{3P}^{ПОВ} > 7,76-7,96$ % на глубину 1,0-1,5 мм. Это увеличивает среднюю влажность зародыша в окатыше, например, при $W_{3P}^{OCb} = 4,0$ % сравнительно невысоко - до 5,95 %, а среднюю влажность самого окатыша - до 7,75 % ($\rho_{3P}^0 = 2600$ кг/м³). Степень повторного увлажнения ΔW_{3P} для зародышей с $a_{3P} > 5,0$ мм и $W_{3P}^{OCb} = 4,0$ % составляет 2,72 % (рис.1,б) и увеличивается с уменьшением W_{3P}^{OCb} . Во время интенсивного увлажнения поверхности зародыша и роста массы оболочки окатыша в центральных слоях зародыша влажность остается неизменной и равной $\bar{W}_{Об}$. Использование зародышей с $a_{3P} > 7,0$ мм позволяет получить окатыши с $\bar{W}_{ОК} < 8,0$ % для $W_{3P}^{OCb} = 4,0$ %. В результате, например, для $a_{3P} = 10,0$ мм и $\rho_{3P} = 2600$ кг/м³ средняя влажность окатышей снижается до 7,25 % ($W_{3P}^{OCb} = 2,0$ %) и 7,75 % ($W_{3P}^{OCb} = 4,0$ %). Зародыши с $\rho_{3P} = 3200$ кг/м³ позволяют дополнительно уменьшить $\bar{W}_{ОК}$ до 6,92 и 7,33 % за счет снижения степени повторного переувлажнения с 2,2 до 1,5 % и уменьшения скорости капиллярной пропитки зародыша.

Если размеры зародышей будут, например 14 мм (массовая доля в окатыше 88,1 %), а исходная влажность зародышей 2,0 %, то средняя влажность окатышей может составлять 5,41 % ($\rho_{3P} = 2600$ кг/м³) и 4,21 % ($\rho_{3P} = 3200$ кг/м³) (рис.1, а). Для зародышей с размерами $a_{3P} = 14-16$ мм, близкими к размерам кондиционных окатышей, дополнительного увлажнения поверхности брикетов для формирования оболочки практически не требуется. Это предельный теоретический случай, по-видимому, имеющий ограниченное практическое применение, выходящее за рамки настоящего исследования. Влияние исходной влажности зародышей на среднюю влажность окатышей однозначное: при уменьшении W_{3P}^{OCb} на 1 % средняя влажность окатышей снижается на 0,28 – 0,31 % ($\rho_{3P} = 3200$ кг/м³). Уменьшение плотности брикетов с 3200 до 2600 кг/м³ снижает этот показатель почти в два раза: до 0,15-0,17 %. Это позволяет сделать вывод о том, что на зародышах с низкой плотностью ($\rho_{3P} < 3200$ кг/м³) трудно сформировать окатыши с пониженным содержанием влаги. У них более высокая скорость капиллярной пропитки центра зародыша и, как результат, степень повторного увлажнения (рисунок 1, б).

Достоинством рассматриваемой схемы получения окатышей является более низкая влажность центральных слоев окатышей (зародыша) по

сравнению с влажностью оболочки окатыша. Так при $\bar{W}_{OB} = 8,25 \%$ значения \bar{W}_{3P} для $a_{3P} = 10,0$ мм и $\rho_{3P} = 3200$ кг/м³ составляют 4,90; 5,93; 7,46 для $W_{3P}^{OCB} = 2,0; 4,0; 7,0$ соответственно. Если использовать наиболее простой технологический режим получения зародышей с $a_{3P} = 10,0$ мм, $\rho_{3P} = 3200$ кг/м³ и $W_{3P}^{OCB} = 7,0 \%$, то разность $\bar{W}_{OB} - \bar{W}_{3P}$, равная 0,79 %, и $\bar{W}_{OK} = 7,93 \%$ позволяют получить окатыши с пониженным на 0,32 % содержанием влаги. Зародыши с $W_{3P}^{OCB} = 4,0 \%$ позволяют улучшить разность $\bar{W}_{OB} - \bar{W}_{3P}$ до 2,32 % и получить окатыши с пониженным на 1,92 % содержанием влаги. Причем, более 60 % влаги этих окатышей сосредоточено в оболочке и менее 40 % в центре окатыша. Однако, этот режим технологически более сложный.

Как показывает зависимость степени переувлажнения зародышей размером $a_{3P} = 10 - 12$ мм от W_{3P}^0 (рисунок 1, б) с ростом начальной влажности от 2,0 до 7,0 % происходит резкое снижение ΔW_{3P} с максимального уровня 5,57 % ($\rho_{3P}^0 = 2600$ кг/м³) до минимального значения, равного 0,18 – 0,25 %. Причем, начиная с интервала влажности зародышей $W_{3P}^0 = 6,5 - 7,0 \%$ и выше, плотность зародышей в минимальной степени влияет на степень переувлажнения, которая для зародышей, например, $\rho_{3P} = 3200$ кг/м³ не превышает 0,15 – 0,22 %. Эти данные позволяют ограничить начальную влажность зародышей ($a_{3P} = 5 - 10$ мм) с $\rho_{3P}^0 = 2600 - 3200$ кг/м³ интервалом 6,0 – 6,5 % ($\Theta_{W3P} = 0,72 - 0,78$) и интервалом влажности $W_{3P}^0 = 5,5 - 6,0$ ($\Theta_{W3P} = 0,68 - 0,72$) для зародышей плотностью 3200 кг/м³ по условию минимального переувлажнения поверхности зародышей в процессе их увлажнения, необходимого для формирования оболочки окатыша.

Зародыши размером менее 5,0 мм, образующиеся напылением шихты ВШС, при необходимости можно исключить из процесса зародышеобразования, т.к. без дополнительного увлажнения их поверхности они не могут быть зародышевыми центрами окомкования, на которых способна сформироваться оболочка окатыша. При низкой влажности ($\Theta_w < 0,5 - 0,6$) и невысокой прочности ($\Pi < 10$ кПа) под действием ударных нагрузок в рабочем пространстве окомкователя они разрушаются. Образующаяся мелочь размером 0 – 2 мм накатывается на поверхность переувлажненных зародышей, например, размерами 5 – 10 мм и формирует оболочку окатыша.

Расчет скорости роста массы окатышей $v_{OK}(v_{ЗНД})$, г/с, полученных комбинированным способом по схеме ЗНД, выполняли по формуле :

$$v_{OK} = (v_{ЗНД}) = M_{OK} \frac{v_{ЗН} \cdot v_{Д}}{M_{ЗР} \cdot v_{Д} + M_{ОБ} \cdot v_{ЗН}},$$

где $v_{ЗР}$ ($v_{ЗН}$) – скорость роста массы зародышей, полученных напылением шихты ВШС при $t_C = 20 - 50$ °С, г/с; $v_{ЗН} = 3,0$ г/с; $v_{ОБ}$ ($v_{Д}$) – скорость роста массы шихтовой оболочки окатыша, полученной доокомкованием зародышей, г/с; $v_{Д} = 0,03$ г/с [3]; M_{OK} , $M_{ЗР}$, $M_{ОБ}$ – массы кондиционного комбинированного окатыша, зародыша и шихтовой оболочки; $M_{OK} = 8,10$ г ($d_{OK} = 16$ мм, $\bar{W}_{OK} = 8,25$ %).

Результаты расчетов сведены в таблицу 2 и отражены на рисунке 2. Они показывают, что значительный рост скорости массы полученных комбинированным способом (ЗНД) окатышей происходит с размеров зародышей, превышающих 5,0 мм ($v_{ЗНД} / v_{ОБ} > 1,03$). При использовании зародышей размером, например, $a_{ЗР} = 11$ мм последнее отношение возрастает до 1,57 ($\rho_{ЗР} = 2600$ кг/м³). Доля массы зародыша размером более 5 мм в общей массе кондиционного окатыша увеличивается с 4,1 % ($a_{ЗР} = 5$ мм) до 42,7 % ($a_{ЗР} = 11$ мм), в связи с этим пропорционально повышается $v_{ЗНД}$.

Рост массы зародышей при постоянстве $a_{ЗР}$ достигается увеличением его плотности. Заметное влияние плотности зародышей на $v_{ЗНД}$ начинается с размеров зародышей, превышающих 7 – 8 мм (рисунок 2), и достигает значения 0,046 г/с при $\rho_{ЗР} = 3200$ кг/м³, $a_{ЗР} = 10$ мм, что в 1,57 раза выше скорости доокомкования зародыша и роста массы оболочки окатыша. Этот вывод справедлив в том случае, если плотности ядра и оболочки окатыша не изменятся. Если плотность оболочки будет выше, то скорость роста массы окатышей уменьшится.

Если использовать зародыши размером более 12 мм, то $v_{ЗНД}$ по сравнению с $v_{ОБ}$ можно увеличить более чем в 2 раза.

Повышение плотности до 3000-3200 кг/м³ у зародышей размерами $a_{ЗР} = 11$ мм позволяет повысить $v_{ЗНД}$ более чем в 3 раза. При формировании окатышей из зародышей с пониженным содержанием влаги, полученных напылением шихты низкотемпературной ВШС ($t_C = 50 - 150$ °С), скорость роста массы зародышей снижается до 2,6 г/с ($W_{ЗР} = 7,0$ %) и 2,2 г/с ($W_{ЗР} = 4,0$ %). Скорость роста массы шихты в оболочке окатыша при ($W_{ЗР}^0 > 7,0$ %) практически не меняется.

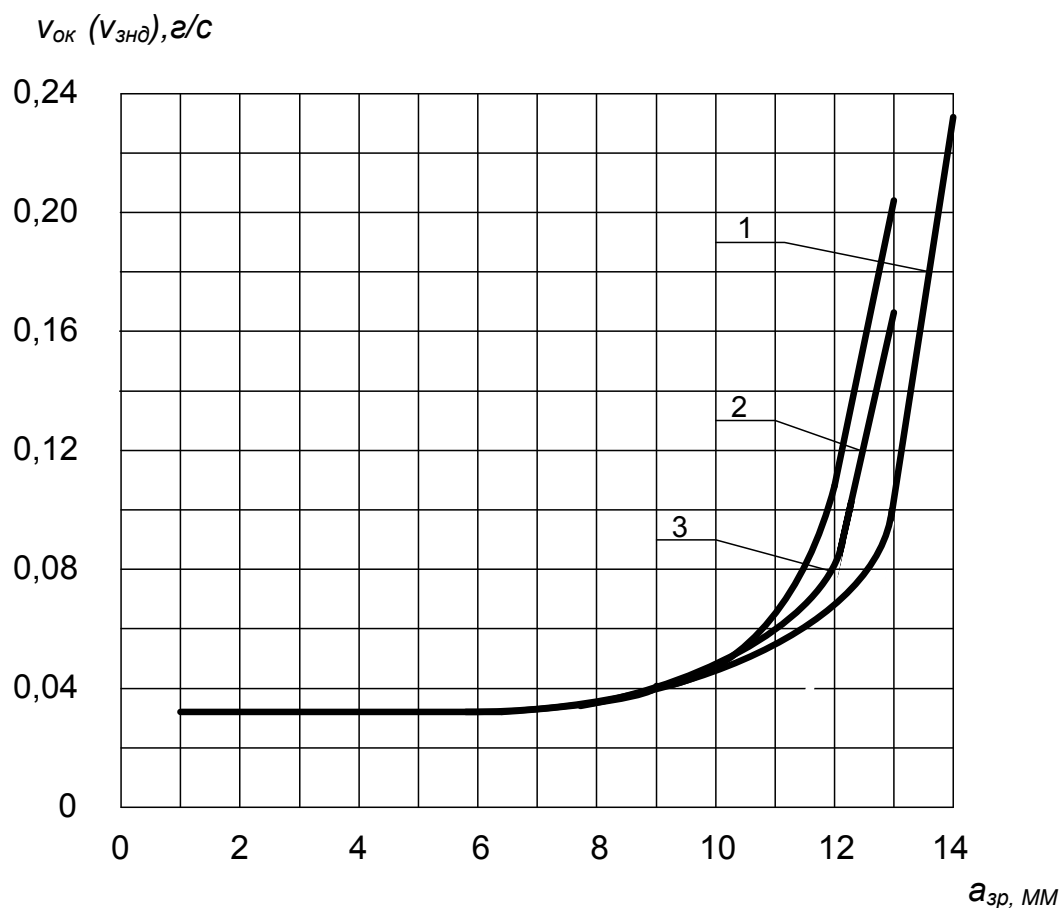
Расчеты скорости массы окатышей способом ЗНД для $v_{ЗР} = 2,2; 2,6$ г/с показывают, что снижение параметра $v_{ЗНД}$ в 1,11 – 1,15 раза происходит преимущественно у зародышей, у которых $a_{ЗР}$ превышает 12 мм (рисунок 2). Учитывая результаты исследований по измерению полей влажности, расчеты средней влажности окатышей, полученных комбинированным способом (рисунок 1), и данные о влиянии размеров и влажности зародышей на ско-

рость роста массы окатышей (таблица 2), значения оптимальных размеров зародышей ограничили интервалом 7 – 12 мм.

Таблица 2 – Параметры окатышей, полученных комбинированным способом по схеме 3 НД

Размеры зародышей, мм.	Параметры комбинированных окатышей								
	M _{ЗР} , Г			v _{ОК} , Г/с			v _{ОК} / v _{ОБ}		
	$\rho^1_{ЗР}$	$\rho^2_{ЗР}$	$\rho^3_{ЗР}$	$\rho^1_{ЗР}$	$\rho^2_{ЗР}$	$\rho^3_{ЗР}$	$\rho^1_{ЗР}$	$\rho^2_{ЗР}$	$\rho^3_{ЗР}$
2	0,020	0,024	0,026	0,03	0,03	0,03	1,0	1,0	1,0
3	0,023	0,027	0,029	0,03	0,03	0,03	1,0	1,0	1,0
4	0,166	0,192	0,205	0,03	0,03	0,03	1,0	1,0	1,0
5	0,325	0,375	0,40	0,031	0,031	0,031	1,03	1,03	1,03
6	0,562	0,648	0,691	0,032	0,032	0,032	1,07	1,07	1,07
7	0,892	1,029	1,097	0,033	0,034	0,034	1,10	1,13	1,13
8	1,331	1,536	1,638	0,035	0,036	0,037	1,16	1,20	1,23
9	1,89	2,187	2,332	0,038	0,041	0,043	1,26	1,37	1,43
10	2,60	3,00	3,20	0,044	0,046	0,047	1,46	1,53	1,57
11	3,46	3,99	4,26	0,047	0,059	0,064	1,57	1,97	2,13
12	4,49	5,18	5,53	0,068	0,082	0,091	2,27	2,73	3,03
13	5,71	6,59	7,03	0,099	0,155	0,202	3,3	5,16	6,73
14	7,13	-	-	0,233	-	-	7,76	-	-

Примечание: $\rho^1_{ЗР} = 2600 \text{ кг/м}^3$; $\rho^2_{ЗР} = 3000 \text{ кг/м}^3$; $\rho^3_{ЗР} = 3200 \text{ кг/м}^3$; прочерки – нет данных.



Плотность зародышей: 1-2600 кг/м³; 2-3000 кг/м³; 3-3200 кг/м³
 Рисунок 2 – Зависимость скорости роста массы окатышей от размеров зародышей, полученных комбинированным способом по схеме ЗНД

Этот вывод дополнительно подтверждают высокие прочностные характеристики зародышей размером 7 – 12 мм. Чем выше размер зародышей, тем меньше возможности их разрушения при доокомковании и росте оболочки окатышей. Прочность зародышей размером 7 – 12 мм на сжатие находится в пределах 200 – 300 кПа. Этой прочности вполне достаточно для выполнения функции принудительного зародышеобразования и формирования необходимой прочности сырого окатыша.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2327750 РФ Способ получения окатышей / В.М. Павловец // Изобретения. Полезные модели. 2008. № 18. С. 25.
2. Павловец В.М. Принципы организации принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарельчатого окамкователя / В.М. Павловец // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2009. – № 4. – С. 3 – 6.
3. Маерчак Ш. Производство окатышей / Ш. Маерчак. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.

УДК 669.1.004.82

А.Е. Аникин, В.М. Динельт

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДНЫХ БРИКЕТИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Изучена возможность получения металлизированного сырья из промышленных металлургических отходов для использования в доменном и ферросплавном производстве.

Reception possibility metal raw materials from an industrial metallurgical waste for use in domain and ferroalloy manufacture is studied.

Губчатое железо является перспективным материалом для получения стали в электропечах. Основными процессами получения частично или полностью металлизированных железосодержащих материалов являются твердофазное и газофазное восстановление оксидного железа, входящего в состав руд, концентратов и отходов черной металлургии. Наиболее распространенными способами газофазного восстановления, реализуемыми чаще всего в шахтных печах, являются процессы НуL и Midrex. Твердофазное восстановление оксидов железа твердым углеродом осуществляется во вращающихся барабанных печах, печах конвейерного типа и др. [1].

Тем не менее, наиболее распространенным способом получения губчатого железа является газофазное восстановление в шахтных печах. По нашему мнению, в шахтных печах может быть реализован и процесс твердофазного восстановления железорудных материалов при выполнении нескольких условий, в частности, при достаточно высокой прочности исходных железорудных композиций и при условии подачи тепла для процесса с помощью либо инертного газообразного теплоносителя, либо за счет сжигания части углерода, входящего в композицию.

Нами рассмотрена возможность получения железо-углеродных композиций со стехиометрическим соотношением железа и углерода, рассчитанным на получение губчатого железа, путем их брикетирования.

При выборе варианта технологии брикетирования железо-углеродных композиций предпочтение было отдано так называемому «холодному» брикетированию, предполагающему прессование этих композиций со связующими при относительно невысоких температурах и давлениях. При этом был применен вариант технологии, отличающийся от классического, используемого при брикетировании углей [2], большей экологичностью и малоопера-

ционностью [3]. Суть его сводится к отказу от сушки исходного сырья и применению водорастворимых связующих материалов, исключаящих необходимость разогрева как самих связующих, так и брикетируемой смеси до температур 120-150°C. В качестве связующего в опытах использовался водорастворимый жидкий концентрат мелассы (отход сахарного производства). Брикетирование железо-углеродных композиций осуществлялось в необогреваемых стальных матрицах диам. 54 мм и 20 мм. Сушка отпрессованных брикетов во избежание их растрескивания осуществлялась достаточно медленно – в течение 2 час. с подъемом температуры от 120°C (в начале) до 140°C (в конце) для брикетов диам. 54 мм и в течение 30 мин. с таким же подъемом температуры для брикетов диам. 20 мм [3].

В качестве железосодержащих материалов использовался как химически чистый гематит (Fe_2O_3), так и некоторые виды железосодержащих отходов, в частности, окалина обжимного цеха и шламы кислородно-конверторного производства ОАО «ЗСМК». В качестве углеродсодержащих материалов использовались буроугольный полукокс (БПК) из углей Канско-Ачинского бассейна, прокаленный буроугольный полукокс (БПК), коксовая мелочь (КМ) ОАО «Кокс» (г. Кемерово), пыль установки сухого тушения кокса (УСТК) ОАО «ЗСМК». Все исходные материалы измельчались в виброистирателе до класса $< 0,5$ мм.

Смесь для брикетирования составлялась с учетом стехиометрического соотношения оксида железа к углероду, составлявшего 4,44 : 1, при расходе связующего, равного 10 % от массы смеси. Давление прессования составляло 300 кгс/см². Готовые брикеты диам. 54 мм испытывали на прочность на сжатие и на сбрасывание. Их прочность на сжатие составляла 16-18 МПа, а на сбрасывание 85 – 95 %. При этом, удовлетворительные прочностные свойства брикетов сохранялись и после их выдержки при температуре 900°C в песке в течение 30 мин.

Для малых брикетов (диам. 20 мм) определялась только прочность на сбрасывание, характеризуемая выходом класса > 10 мм после 4-х кратного сбрасывания пробы с высоты 1,8 м. Ниже (таблица 1) приведены результаты этих определений, подтвердившие, что опытные брикеты обладают довольно высокой прочностью.

Брикеты диам. 20 мм указанного выше состава подвергали также твердофазному восстановлению в инертной атмосфере на специальной лабораторной установке¹. Схема установки приведена на рисунке 1.

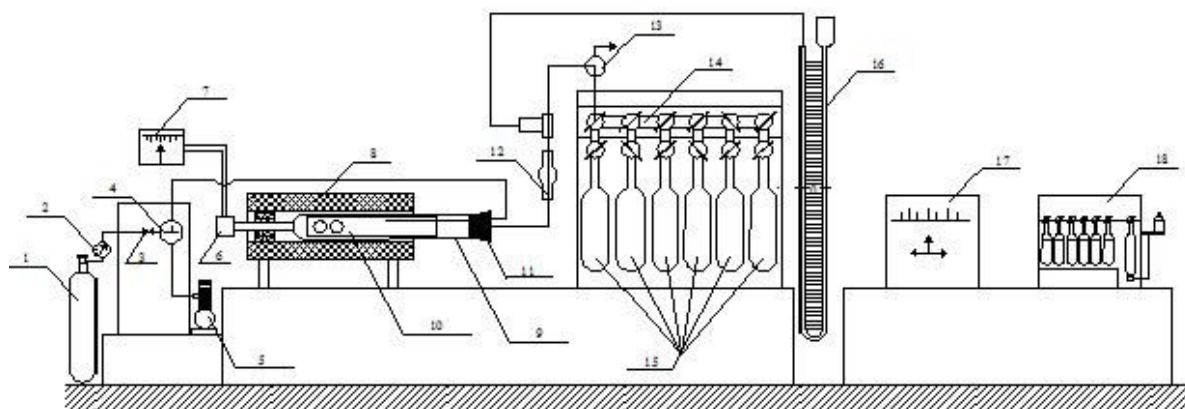
Опыты на установке осуществлялись при заданной температуре (в интервале 500-900°C) и заданном времени реагирования. После завершения опыта твердые продукты ссыпались в корундовый стакан и быстро охлаждались во избежание их вторичного окисления. Измельченные продукты подвергались анализу в научно-исследовательской химической лаборатории

¹ Конструкция установки разработана А.С. Михайленко (СибГИУ)

СибГИУ с определением общего ($Fe_{общ}$) и металлического железа ($Fe_{мет}$) и свободного углерода (С).

Таблица 1 – Прочность на сбрасывание полученных брикетов

Составляющие брикета	Выход класса > 10 мм, %
Окалина + БПК	98,96
Шлам ККЦ1 + БПК	99,28
Шлам ККЦ2 + БПК	99,84
х.ч. Fe_2O_3 + КМ	99,15
Окалина + КМ	98,85
Шлам ККЦ1 + КМ	98,95
Шлам ККЦ2 + КМ	99,89
х.ч. Fe_2O_3 + пыль УСТК	99,00
Окалина + пыль УСТК	99,17
Шлам ККЦ1 + пыль УСТК	99,61
Шлам ККЦ2 + пыль УСТК	99,78
х.ч. Fe_2O_3 + прокаленный БПК	93,50
Окалина + прокаленный БПК	92,55
Шлам ККЦ1 + прокаленный БПК	99,35
Шлам ККЦ2 + прокаленный БПК	99,40



1 – баллон с аргоном (Ar), 2 – редуктор давления, 3 – вентиль тонкого регулирования расхода аргона, 4 – кран-переключатель, 5 – индикатор скорости аргона, 6 – термопара типа ХА, 7 – милливольтметр, 8 – печь трубчатая платиновая, 9 – трубка корундовая глухая диаметром 32 мм, длиной 360 мм, 10 – металлическая лодочка для исследуемых брикетов, 11 – резиновая пробка, 12 – фильтр-осушитель газа, 13 – переключатель потока на выброс в атмосферу, 14 – распределительная гребенка приемников газа, 15 – пластиковые камеры, 16 – манометр на 1500 мм вод. ст., 17 – газовый хроматограф ЛХМ-8МД, 18 – волюмометрический газоанализатор ГХЛ-1

Рисунок 1 – Установка по восстановлению железорудных материалов в инертной атмосфере

На основании полученных данных можно рассчитать степень металлизации реакционного остатка по формуле [1], %:

$$\eta_{\text{мет}} = (\text{Fe}_{\text{мет}} / \text{Fe}_{\text{общ}}) \cdot 100$$

На основании анализа реакционных газов можно рассчитать степень использования их восстановительной способности по формуле:

$$R = \text{CO}_2 / (\text{CO} + \text{CO}_2)$$

В таблице 2 приведены данные анализа металлизированных продуктов, полученных из брикетированных композиций указанного выше состава (см. таблицу 1).

Таблица 2 – Данные анализа металлизированных продуктов

Состав композиции	Содержание, %			$\eta_{\text{мет}}$
	Fe _{общ.}	Fe _{мет.}	C	
х.ч. Fe ₂ O ₃ + БПК	81,93	77,85	2,73	95,1
Окалина + БПК	84,08	76,19	3,45	90,6
Шлам ККЦ1 + БПК	73,06	71,25	5,83	97,5
Шлам ККЦ2 + БПК	44,30	28,50	2,29	64,3
х.ч. Fe ₂ O ₃ + КМ	75,88	66,05	9,21	87,0
Окалина + КМ	80,34	78,43	8,49	97,6
Шлам ККЦ1 + КМ	70,20	59,75	7,74	85,1
Шлам ККЦ2 + КМ	44,63	27,68	2,96	62,0
х.ч. Fe ₂ O ₃ + пыль УСТК	80,11	79,48	8,44	99,2
Окалина + пыль УСТК	83,97	82,49	7,80	98,2
Шлам ККЦ1 + пыль УСТК	69,65	66,45	10,61	95,4
Шлам ККЦ2 + пыль УСТК	45,18	36,45	7,21	80,7
х.ч. Fe ₂ O ₃ + прокаленный БПК	89,15	86,60	2,80	97,1
Окалина + прокаленный БПК	82,65	78,93	6,99	95,5
Шлам ККЦ1 + прокаленный БПК	70,53	69,89	7,68	99,1
Шлам ККЦ2 + прокаленный БПК	44,52	27,95	5,91	62,8

Из таблицы 2 видно, что полученные продукты в ряде случаев (например, при применении х.ч. Fe₂O₃ и окалины) характеризуются достаточно высоким содержанием металлического железа (76 – 86 %) и могут представлять интерес для доменного или ферросплавного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория металлизации железорудного сырья / Ю.С. Юсфин [и др.] – М.: Металлургия, 1982. – 256 с.
2. Крохин В.Н. Брикетирование углей / В.Н. Крохин. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
3. Получение безобжиговых брикетов на основе мелкозернистого бу-роугольного полукокса из углей Канско-Ачинского бассейна / В.М. Динельт, В.М. Страхов, В.И. Ливенец и др. // Кокс и химия. – 2008. – № 9.

УДК 669.18

В.В. Стерлигов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБОБЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ К ЗАДАЧАМ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Рассмотрен метод обобщения частных экспериментальных данных с целью получения общих уравнений для теплотехнических задач.

The method of generalization of particular experimental data in order to obtain the common equations is considered using the applications in the thermal energy processes.

Аналитическое решение большинства задач теплотехники в чистом виде, к сожалению, невозможно и сводится, как правило, к постановке задач. Поэтому экспериментальное исследование является наиболее употребимым методом изучения проблем теплотехники.

Значение полученных результатов определяется двумя, в известном смысле, взаимоисключающими качествами: глубиной и детальностью исследований, и с другой стороны – общностью результатов и возможностью применимости их к наиболее широкому кругу случаев.

Высокий уровень требований к детальности решения приводит к множественности параметрически задаваемых факторов, налагаемых на исследование роли основного аргумента. Именно это отмечает А.А. Гухман, один из авторов теории подобия созданной для обобщения результатов [1].

В теории подобия применяют безразмерные комплексы физических величин, характеризующих исследуемое явление. Вместе с тем довольно широко применяется представление результатов в виде семейства кривых, которые отличаются как раз величиной параметра. Это наглядным образом можно представить себе как сечение функции отклика $z = f(x, y)$ плоскостями с фиксированными значениями x или y , которые задаются параметрически. Этот же образ можно использовать для представления многофакторных (более 3-х) гиперповерхностей отклика. Но достаточно исследователю выбрать другой уровень параметра (другую плоскость сечения), как кривые на диаграммах 2-х исследователей, даже получивших одинаковые результаты, уже будут разными, и нужны некоторые усилия для определения сходимости, а тем более идентичности результатов.

Происходит это потому, что в эксперименте связи величин явления реализуется для одного единственного случая, характеристики которого определяют условия однозначности. Поэтому эти результаты и применимы безоговорочно только для исследованного случая. Очевидно, что обобщение

результатов возможно в том случае, если будет нивелировано действие условий однозначности. Т.е., задача является по сути своей обратной по отношению к аналитическому решению, когда общее решение сужается введением дополнительных данных-условий однозначности.

Используя геометрический образ функций в виде семейства кривых (рисунок 1), поясним суть предлагаемого метода аффинных преобразований [2].

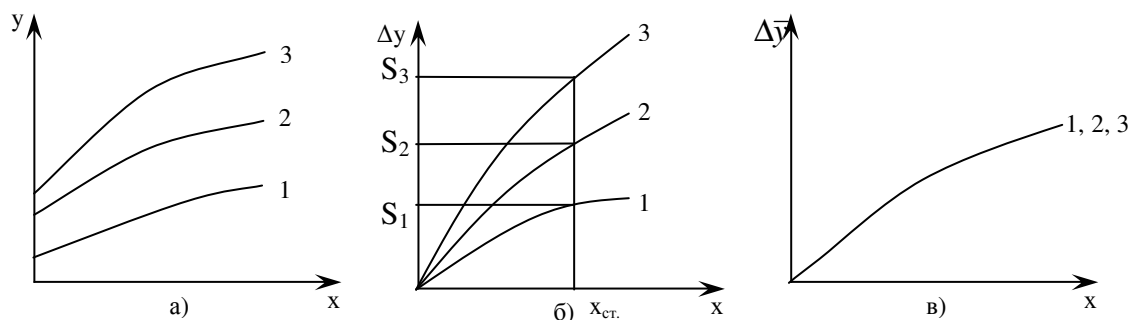


Рисунок 1 – Операции аффинных преобразований

На рисунке 1, а показаны исходные функции $y = f(x)$, представляющие результат разных исследований именно этой связи. Трудно говорить о доходимости по такому представлению результатов. Но если провести операцию «поляризации» аффинных преобразований, т.е. свести кривые в начало осей координат, то мы получим ситуацию, выражаемую рисунком 1, б. Математически это выражается действием

$$\Delta y_i = y_i - y_{i0} \quad (1)$$

Очевидно, что уравнение каждой кривой может быть представлено в виде $y = y_0 + kx^n$, где y_0 – учитывает влияние всех иных факторов, кроме x , характеризующих этот случай. По смыслу эта операция – удаления аддитивных условий однозначности.

На рисунке 1, в представлены результаты следующей операции аффинных преобразований «масштабирования». Масштабирование заключается в использовании безразмерных величин, когда при сопряжении величины с числом используется эталон, масштаб, но только являющийся характеристикой этого же процесса. Математически это выражается следующим действием

$$\overline{\Delta y_i} = \frac{\Delta y_i}{S_i} \quad (2)$$

В этом выражении «стандарт» $S_i = \Delta y_i$ при фиксированном значении x , одинакового для всех случаев, т.е. $x_i = \text{idem}$. Тогда можно записать

$$\overline{\Delta y_i} = \frac{k_i x^n}{k_i x_s^n} = \left(\frac{x}{x_s} \right)^n, \quad (3)$$

которое дает обезличенную величину $\overline{\Delta y_i}$ одинаковую для всех рассмотренных случаев. Это позволяет вместо 3^x кривых получить одну и вывести заключение об идентичности результатов, что дает право говорить о том, что

уравнение (3) является обобщенной характеристикой изученной зависимости $y = f(x)$, полученной при разных условиях однозначности.

Кроме рассмотренной степенной структуры связи, очевидно, что настоящий метод, безусловно, подходит для структур регрессионных уравнений. А в общем, если учесть, что любую величину можно разложить в ряд Тейлора с удержанием первого члена, то становится очевидным, что этот метод не имеет ограничений по структуре уравнений.

Нами было доказана применимость этого метода к исследованиям задач аэродинамики [3], когда удалось провести обобщение результатов 7-ми экспериментальных исследований по гидравлическому сопротивлению циклонов. Кроме этого была продемонстрирована возможность этого метода для решения задач нестационарной теплопроводности [4], когда т.н. «графики Д.В. Будрина» были выражены всего одной кривой вместо нескольких десятков линий, отличающихся значением числа Био. В последнее время были проведены обобщения по диаграммам для расчета топлив, и даже известные всем теплотехникам диаграммы по определению степени черноты газов (диаграммы Хоттеля или диаграммы Тимофеева и Карасиной) могут быть представлены в виде одной линии (рисунок 2).

Стандарт нормирования $S_{\text{норм}}$

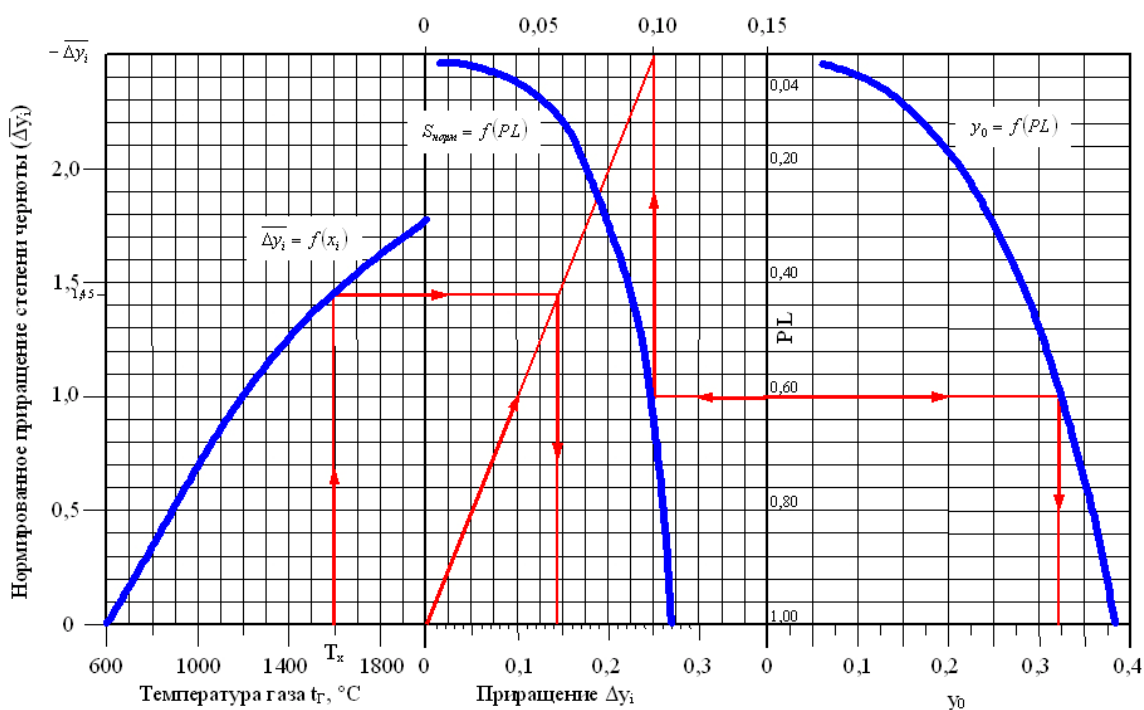


Рисунок 2 – Номограмма для определения степени черноты водяных паров

Полученные обобщенные зависимости для всех указанных задач теплотехники избавляют от необходимости изыскания дополнительной информации по условиям опыта, чтобы судить о применимости этих результатов к своей задаче, устраняют необходимость интерполяции в случае применения традиционных диаграмм с семейством кривых.

И, наконец, предлагаемый способ обобщения отменит необходимость проведения дополнительных собственных экспериментов, когда явление будет отличаться некоторыми частностями от другого частного исследования той же физической задачи.

Для нахождения частной определяемой величины $y_i = -f(x)$ при использовании обобщенных зависимостей в виде кривых, полученных на основе аффинных преобразований, требуется выполнение алгоритма, обратного по отношению к задаче построения обобщенных зависимостей:

1. Нахождение величины $\overline{\Delta y_i} = f(x)$.
2. Определение стандарта S_i , значения которого могут быть представлены тоже в виде диаграммы $S_i = f(m)$, где m – параметрически задаваемый фактор.
3. Умножение $\overline{\Delta y_i} \cdot S_i = \Delta y_i$.
4. Прибавление y_0 , который учитывает влияние всех других факторов, кроме x , т.е. определение $\Delta y_i + y_0 = y_i$.

Все решение может быть выполнено графически на основе номограммы.

Рисунок 2 представляет собой такую номограмму для определения степени черноты водяных паров в диапазоне $t = 600 - 2000$ °С и $PL = 0,02 - 1,0$ м·ата. Процедура определения соответствует указанному алгоритму. На рисунке показан пример определения ξ_{H_2O} при $t = 1600$ °С и $PL = 0,02 - 1$ м·ата. Сначала по левой части номограммы определяем $\overline{\Delta y_i} = f(T)$. Затем по средней части номограммы при $PL = 0,6$ находим величину «стандарта нормирования» $S_i = 0,1$. Графическая интерпретация умножения $\overline{\Delta y_i} \cdot S_i$ выражается в определении прямой линии, дающей величину стандарта. Ордината этой линии, соответствующая $\overline{\Delta y_i} = -1,45$, при проектировании на ось абсцисс дает величину $\Delta y = -0,145$. Для выполнения процедуры $\Delta y_i + y_0 = y_i$ находим величину $y_0 = f(PL)$ в правой части номограммы $y_0 = 0,320$, что при сложении дает $y_i = 0,175$. Это точно совпадает с определением по традиционной диаграмме для условий $t = 1600$ °С и $PL = 0,6$.

Нами выдвинуты предположения о том, что метод аффинных преобразований обладает тесной связью с теорией подобия и мы надеемся, что проработка этого вопроса позволит обогатить и этот метод, и теорию подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гухман А.А. Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – М.: «Высшая школа», 1973. – 295 с.
2. Александров П.С. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры / П.С. Александров. – М.: «Наука», 1970. – 511 с.
3. Стерлигов В.В., Рудерфер В.И. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1983. – № 10. – С. 106 – 109.
4. Стерлигов В.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1988. – № 12. – С. 103 – 105.

УДК 669.162.2:004.94

Н.А. Спирин, В.В. Лавров, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев*,
М.М. Малашенко**

ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет –
УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

** ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Приведена краткая характеристика пакетов прикладных программ для решения задач в области управления сложными энергонасыщенными комплексами в аглодоменном производстве. В основу разработанного программного обеспечения положены модельные системы: 1) оптимального распределения природного газа и технологического кислорода в группе доменных печей; 2) поддержки принятия решения выбора оптимального состава шихт в аглодоменном производстве. Пакеты прикладных программ внедрены на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

This is a brief description of software packages to solve problems in the management of complexes sated with energy in agglomeration and blast furnaces. These model systems are the basis of the developed software: 1) system of the optimal allocation of natural gas and technological oxygen in the blast furnaces group, and 2) decision support systems select optimal composition of the charge in agglomeration and blast furnaces. Software packages in place at the Magnitogorsk Iron and Steel Works Open Joint Stock Company (ММК).

Особое место среди металлургических переделов современной металлургии занимает аглодоменное. как самое энергоемкое и сложное. Анализ показывает, что аглодоменное производство относится к классу сложных, энергоемких одновременно энергораспределенных систем на долю которого приходится до 60 % топлива, используемого в черной металлургии. В настоящее время каждому металлургическому предприятию приходится самостоятельно решать вопросы закупок, оптимизации состава агломерационной и доменной шихты, в том числе и по экономическим критериям, оценивать рациональность использования различных добавок к дутью, определять

стратегию управления комплексом доменных печей. В связи с этим в современных условиях резко возросла потребность в использовании автоматизированных систем оптимизации условий работы доменных печей и их комплекса.

Оптимизационные математические модели и пакеты прикладных программ предназначены для решения технологических задач в области управления сложными энергонасыщенными комплексами в современной металлургии (на примере аглодоменного производства).

Оптимальное распределение природного газа и технологического кислорода в группе печей

Математическая модель оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов положена в основу компьютерной системы поддержки принятия решений распределения инжестируемого топлива и технологического кислорода между печами доменного цеха [1–4]. При постановке задачи оптимизации в качестве цели в зависимости от конкретных условий работы цеха могут задаваться различные критерии, в частности, максимальный экономический эффект от использования комбинированного дутья, максимальная экономия кокса и т.д. В системе учитываются различные виды ограничений: на работу цеха в целом, т.е. связанные с ограниченностью имеющихся ресурсов по природному газу, кислороду, коксу, необходимостью выполнения плана по выплавке чугуна, а также технологические, индивидуальные для каждой печи в отдельности, обусловленные различием в конструктивных и режимных параметрах каждой из печей цеха. При выборе основных ограничений использовалась физическое обоснование и классификация лимитирующих факторов при инжестии топлив и обогащении дутья кислородом, основанных на закономерностях тепломассообмена и газодинамики в современной доменной плавке.

Анализ нелинейности доменного процесса показал, что при решении задач оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в силу относительно небольшого отклонения параметров от базового состояния, достаточно использовать линеаризованные зависимости, что позволяет свести задачу оптимизации к математическому программированию. Под базовыми значениями величины понимаются значения, найденные за такой период усреднения информации, при котором влияние динамических погрешностей несущественно. Установлены пределы изменения режимных параметров, при которых допустимо использование линеаризованных моделей.

Разработанное и внедренное в промышленности соответствующее программное обеспечение позволяет решать задачи оптимального распределения природного газа и технологического кислорода в следующих технологических ситуациях:

- в случае изменения свойств проплавленного сырья, режимных параметров работы печей, входящих в рассматриваемую группу;
- при сохранении и изменении объема ресурсов по расходу природного газа и (или) технологического кислорода в целом для цеха;

- при изменении требований задания на объем выплавляемого чугуна комплексом доменных печей и ресурса по объему кокса;
- при изменении конъюнктуры рынка, т.е. требований обеспечения максимума экономии кокса, обеспечения максимума производства, экономичности работы комплекса печей, цен на топливно-энергетические ресурсы и т.п.

Модельная система поддержки принятия решений выбора оптимального состава шихт в аглодоменном производстве

В настоящее время металлургические предприятия России работают при исключительной напряженности и нестабильности рынка железорудного сырья и коксующихся углей. В условиях рыночных отношений возрастает роль научно обоснованных решений, направленных на выбор поставщиков сырья для аглодоменного производства, решения комплекса технологических задач по определению оптимального состава доменных и агломерационных шихт, подбора рационального шлакового, дутьевого, газодинамического и теплового режимов доменной плавки.

Физическая постановка задачи заключается в следующем.

Требуется определить оптимальный состав и расходы компонентов доменной (агломерационной) шихты, выбрать дутьевые параметры, обеспечивающие рациональную производительность и расход кокса, нормальный тепловой, шлаковый, дутьевой и газодинамический режим доменной плавки.

В основе решения задачи положены математические модели [3–6]:

- сквозного расчета агломерационной и доменной шихт;
- доменного процесса, позволяющая рассчитывать технико-экономические показатели доменной плавки (расход кокса, производительность) при изменении дутьевых параметров, свойств кокса и состава железорудной части шихты;
- расчета свойств первичного и конечного шлака, обессеривающей способности конечного шлака и прогнозирования содержания серы в чугуне;
- теплового и газодинамического режимов доменной плавки;
- диагностики хода доменной плавки.

Принципы построения, особенности конструирования, области применения и основные расчетные уравнения для подсистем модели шлакового, дутьевого и газодинамического и теплового режимов доменной плавки, процедуры адаптации этих подсистем подробно описаны в книгах [1–3].

В общем случае, рациональный режим доменной плавки при изменении поставок железорудного сырья для доменных печей, железорудных компонентов аглошихты, а также при изменении свойств кокса обеспечивается многовариантной корректировкой:

- составом железорудной части агломерационной шихты;
- расходами флюсов в агломерационную шихту;
- расходами флюсов в доменную шихту;
- соотношением компонентов железорудной части доменной шихты;

- дутьевыми параметрами и параметрами комбинированного дутья;
- любой комбинацией указанных вариантов.

Математически решение задачи выбора оптимального состава доменной (агломерационной шихты) сводится к нелинейному математическому программированию. В программном обеспечении предусмотрены следующие варианты целевых функций:

- минимум вязкости доменного шлака конечного состава при заданной температуре; минимум содержания серы в чугунае;
- минимум удельного расхода кокса и максимум производительности;
- свертка указанных критериев с возможностью настройки весовых коэффициентов.
- Дополнительно вводятся следующие ограничения, при этом задаются допустимые значения:
 - вязкости шлака при его заданной температуре и содержания серы в чугунае;
 - основности агломерата и шлака;
 - показателей газодинамического режима (степени уравнивания шихты) и др.

Пакет позволяет осуществлять расчеты, связанные как с определением оптимального состава аглошихты и объема производимого агломерата на местных аглофабриках, так и состава этого агломерата, исходя из характеристик имеющихся привозных железорудных материалов (например, окатышей) при условии получения надлежащих свойств шлака (вязкости, температуры плавления, обессеривающей способности и др.) и обеспечения рациональных технико-экономических показателей доменной плавки (производительности, расхода кокса, состава чугуна и шлака).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытно-промышленная эксплуатация пакетов прикладных программ свидетельствует о корректности используемых вычислительных алгоритмов, возможности адаптации моделей и настройки пакетов на конкретные условия функционирования систем. Внедрение современных информационно-моделирующих систем позволит повысить эффективность принятия решений инженерно-техническим персоналом доменного цеха в условиях нестабильности состава и качества проплавленного железорудного сырья в доменных печах и изменениях в конъюнктуре рынка. Разработанное программное обеспечение при соответствующей адаптации можно рекомендовать для управления технологией доменной плавки в реальном времени, для создания автоматизированных рабочих мест инженерно-технического персонала доменного цеха, решении комплекса стратегических задач при планировании производства, поставок железорудного сырья, топлива, оптимального управления энергоресурсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные системы в металлургии // Н.А.Спирин, Ю.В.Ипатов, В.И.Лобанов и др. / Под ред. Спирина Н.А. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
2. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А.Спирин, В.В.Лавров, С.И.Паршаков, С.Г.Денисенко. – Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2006. – 307 с.
3. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П.Онорин, Н.А.Спирин, В.Л.Терентьев и др. Под ред. Н.А.Спирина. – Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
4. Интегрированный пакет прикладных программ оптимального управления сырьевыми и топливно-энергетическими ресурсами в аглодоменном производстве / Н.А.Спирин, В.Ю.Рыболовлев, В.В.Лавров и др. // Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства чугуна», 24–27 мая 2004 г.: Украина; Кривой Рог, 2004. – С. 487–490.
5. Программное обеспечение выбора поставок сырья и оптимального состава шихт и в аглодоменном производстве / Н.А.Спирин, М.Ф.Гибадулин, И.Е.Косаченко и др. – Сталь. – 2006. – № 7. – С. 2 – 5.
6. Разработка и реализация информационно-моделирующей системы управления комплексом доменных печей при изменении конъюнктуры рынка железорудного сырья и топлива / Н.А.Спирин, В.В.Лавров, В.Ю.Рыболовлев и др. / III Международный конгресс «Пече-трубостроение: тепловые режимы, конструкция, автоматизация и экология. – Москва, 2008. – С. 40–47.

УДК 536.12: 669.046

А.Д. Горбунов, Е.Л. Глущенко

Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск

УЧЁТ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ КЛАДКУ ПЕЧИ ПРИ НАГРЕВЕ ТЕРМИЧЕСКИ ТОНКИХ ТЕЛ В ДВИЖУЩЕМСЯ СЛОЕ

Получено достаточно простое приближённое аналитическое решение задачи нагрева термически тонких тел в движущемся слое при линейных граничных условиях с учётом потерь теплоты через кладку. В полученных зависимостях произведен расчёт суммарного коэффициента теплоотдачи в случае охлаждения ограждающих конструкций печей и других объектов на воздухе при различных режимах свободной конвекции, степенях черноты, температурах воздуха и ориентации в пространстве.

It Received it is enough simple drawn near analytical decision of the problem of the heating thermal fine tell in the driving layer under linear border condition with account of the losses of the heat through laying. In got dependency is made calculation of the total factor heat transfer in the event of cooling barriering design of the stoves and the other object on air under different mode of the free convection, degree of the blackness, the temperature of the air and orientation in space.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Решению задачи нагрева термически тонких тел в движущемся слое посвящено значительное количество работ, например [1, 2], в которых принято, что в процессе нагрева потери тепла (в окружающую среду) рабочим пространством отсутствуют. Число исследований, учитывающих указанные потери, весьма ограничено.

Например, в работе [3], приведено решение задачи нагрева в противотоке с учётом потерь тепла через кладку печи, однако данное решение получено в предположении равенства нулю температуры окружающей среды и имеет достаточно сложный вид.

В данной работе получим решение, свободное от указанных недостатков.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дифференциальное уравнение теплового баланса и теплопередачи запишем в виде:

$$dQ_{\Gamma} = W_{\Gamma} dT = dQ_{\text{М}} + dQ_{\text{пот}} = W_{\text{М}} dt + q_1 dz \quad (1)$$

$$W_{\text{М}} dt = K_v (T - t) \cdot S dz, \quad (2)$$

где Q_{Γ} , $Q_{\text{М}}$ и $Q_{\text{пот}}$ – тепловой поток от газов, к материалу и потери через кладку печи, Вт; W_{Γ} , $W_{\text{М}}$ – теплоёмкости потоков газа и материалов, Вт/К; T и t – температура газов и материалов, соответственно, °С; K_v – объёмный коэффициент теплоотдачи от газов к шихте, Вт/(м³·К); z – текущая высота печи.

Уравнение (1) записано для условий противотока, а в случае прямотока следует заменить $+W_{\Gamma}$ на $-W_{\Gamma}$. Прежде чем решать систему уравнений (1), (2), рассмотрим более подробно составляющие тепловых потерь.

Тепловые потери через кладку, например, цилиндрических печей, должны определяться по законам теплопередачи:

$$q_1 = K_1 \cdot (T(z) - t_{\text{ж}}), \text{ Вт/м}, \quad (3)$$

где $t_{\text{ж}}$ – температура окружающей среды, °С; $T(z)$ – температура газа, определяемая из решений (1), (2).

Линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К):

$$K_1 = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot D} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_{\text{н}}} \right)}, \quad (4)$$

где D и $D_{\text{н}}$ – внутренний и наружный диаметры печи; α_1 – коэффициент теплоотдачи от печных газов к стенке печи, Вт/(м²·К); α_2 – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением от наружной поверхности печи к окружающей среде, Вт/(м²·К); λ_i , d_i – теплопроводность (Вт/(м·К)) и диаметр (м) i -го слоя обмуровки печи.

Коэффициент α_1 определяется следующим образом:

$$\alpha_1 = \alpha_v / f_d; \quad f_d = 6 \cdot (1 - \varepsilon) / d_{\text{ср}},$$

где ε – порозность шихты; $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр частиц шихты, м; α_v – объёмный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·К).

Рассмотрим ход расчёта суммарного коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_2 = \alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{К}} + \alpha_{\text{Л}}. \quad (5)$$

Нам известны работы, в которых приводятся формулы для расчёта суммарного коэффициента теплоотдачи.

Например, в [4]:

$$\alpha_{\Sigma} = 9,5 + 0,09815 \cdot \vartheta - 4,74 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^3, \quad (6)$$

где $\vartheta = t_{\text{п}} - 30$; $25 < t_{\text{п}} < 210$ °С.

Однако, из [4] неясно, как были получены эти соотношения и какова их погрешность. Получим более точные решения.

Определение коэффициента лучистого теплообмена $\alpha_{\text{Л}}$ не представляет особых трудностей, например, согласно закону Стефана-Больцмана:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{q_{\text{л}}}{\Delta t} = \frac{\sigma_{\text{пр}} \cdot (T_{\text{п}}^4 - T_{\text{ж}}^4)}{T_{\text{п}} - T_{\text{ж}}} = \sigma_{\text{пр}} \cdot (T_{\text{п}}^2 + T_{\text{ж}}^2) \cdot (T_{\text{п}} + T_{\text{ж}}), \quad (7)$$

где $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{ж}}$ – температуры поверхности корпуса печи и окружающего воздуха в К.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией можно определить по известному критериальному уравнению свободной конвекции:

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = C \cdot \text{Ra}_{\text{ж}}^n \cdot \varepsilon_{\text{T}}, \quad (8)$$

где $\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}$ – число Рэлея; Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля; $\varepsilon_{\text{T}} = (\text{Pr}_{\text{ж}}/\text{Pr}_{\text{п}})^{0,25}$ – поправочный коэффициент.

Постоянные C и n уравнения (8) существенно зависят от режима свободной конвекции и представлены в [5].

После определения числа Нуссельта по уравнению (8) находим коэффициент теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda / l_{\text{х}} = A_{\text{T}} \cdot l_{\text{х}}^m \cdot \Delta t^n \cdot \varepsilon_{\text{T}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (9)$$

где $l_{\text{х}}$ – характерный размер, высота печи, м; $A_{\text{T}} = C \cdot \lambda \cdot A_{\text{R}}^n$; $A_{\text{R}} = g / \left[(t_{\text{ж}} + 273) \cdot \nu^2 \right] \cdot \text{Pr}$; $m = 3 \cdot n - 1$; $\Delta t = (t_{\text{п}} - t_{\text{ж}})$ – температурный напор, °С.

Основную трудность при расчёте на ПЭВМ по уравнению (9) представляет зависимость теплофизических свойств (ТФС) воздуха от температуры, представленных таблично.

Используя табличные данные ТФС [5] и методы регрессионного анализа, в работе [6] были получены аппроксимационные зависимости для определения коэффициента A_{T} с учётом режимов конвекции

- турбулентный режим ($n = 1/3$): $A_{\text{T}} = 1 / (0,52462 + 0,00122 \cdot t_{\text{ж}})$.
- переходной режим ($n = 1/4$): $A_{\text{T}} = 1 / (0,74493 + 0,00075 \cdot t_{\text{ж}})$.
- ламинарный режим ($n = 1/8$): $A_{\text{T}} = \ln(1,35057 + 0,00043 \cdot t_{\text{ж}})$.

При больших размерах печи $l_{\text{х}} \geq 1$ на практике чаще всего реализуется турбулентный режим конвекции и коэффициент теплоотдачи перестаёт зависеть от формы и размеров объекта.

Так как температура воздуха, окружающего огнетехнические установки, может изменяться в достаточно узком диапазоне температур от -50 °С до $+50$ °С и с учётом слабой зависимости числа Прандтля от температуры ($\varepsilon_{\text{T}} \approx 1$) формула (9) для расчёта коэффициента теплоотдачи конвекцией упрощается до вида:

$$\alpha_{\text{к}} = 1,85 \cdot \Delta t^{1/3}. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (5), (7) и (9) с учётом табличных данных ТФС по [5], методами регрессионного анализа в работе [6] было получено:

$$\alpha_{\Sigma} = B_0 + B_1 \cdot t_{\text{ж}} + B_2 \cdot \Delta t + B_3 \cdot \Delta t^2, \quad (11)$$

где B_0, B_1, B_2 и B_3 – аппроксимационные коэффициенты, которые существенно зависят от режимов конвекции и диапазона температур.

Для развитого турбулентного режима уравнение (11) примет следующий вид:

$$\alpha_{\Sigma} = 4,212 + 0,03645 \cdot t_{\text{ж}} + 0,2104 \cdot \Delta t + 10,57 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t^2.$$

Для печей, например, доменных, где имеются закладные холодильники, требуется знание коэффициента теплоотдачи при движении воды в трубах.

Коэффициент теплоотдачи при турбулентном режиме можно представить в следующем виде:

$$\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda / d = A_v(t) \cdot V^{0,8} \cdot d^{-1,8} \cdot \epsilon_T \cdot \epsilon_L, \quad (12)$$

где $A_v(t) = (4/\pi)^{0,8} \cdot A_w(t) = 1,21319 \cdot A_w(t)$; $A_w(t) = 0,021 \cdot \lambda \cdot v^{-0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43}$ – комплекс свойств, зависящий от температуры; d – внутренний диаметр трубы, м; V – объёмный расход воды, м³/с; t – средняя температура охлаждающей воды, °С.

Для аналитического определения коэффициента теплоотдачи, используя табличные данные теплофизических свойств [5] и методы регрессионного анализа, в работе [7] было получено:

$$A_w(t) = 1411 + 21,7 \cdot t - 0,0524 \cdot t^2. \quad (13)$$

Теперь данных достаточно для определения потерь тепла через кладку печи. С целью упрощения расчётов примем, что потери тепла – величина постоянная на определённом участке печи с постоянной средней температурой газов на этом участке. Тогда вместо уравнения (3) запишем:

$$q_1 = \bar{K}_1 \cdot (\bar{T} - t_{\text{ж}}), \quad (14)$$

где $\bar{T} = \frac{1}{z_2 - z_1} \int_{z_1}^{z_2} T(z) dz$; $\bar{K}_1 = f(\alpha_1(\bar{T}))$.

Решая систему уравнений (1)...(4), получим:

- для температуры газа:

$$T(z) = m \cdot t(z) + \bar{Q}_p \cdot z + C_1 \quad (15)$$

- для температуры материалов:

$$t(z) = t_b(z) + I_1(z), \quad (16)$$

где $t_b(z)$ – широкоизвестное [1, 2] уравнение для определения температуры материалов, полученное без учёта, т.е. в отсутствии потерь тепла через кладку печи.

$$t_b = t_k - \Delta t_0 \cdot e^{-A \cdot z} \text{ или в безразмерном виде } \theta(z) = e^{-A \cdot z}. \quad (17)$$

Слагаемое $I_1(z)$ в уравнении (16) учитывает потери тепла рабочим пространством печи

$$I_1(z) = \frac{Q_0}{\text{St}_0} \left[\frac{A \cdot z - \vartheta(z)}{1 - m} \right], \quad (18)$$

где $m = W_M/W_\Gamma$ – критерий отношения теплоёмкостей потоков;
 $t_k = C_1/1 - m$; $\Delta t_0 = t_k - t'$; t' – заданная температура материалов при входе
 в печь, °C; $\theta(z) = (t_k - t(z))/\Delta t_0$ – относительная температура;
 $\vartheta(z) = 1 - \theta(z)$; $A = (1 - m) \cdot K_v \cdot S/W_M$; $\bar{Q}_p = \bar{K}_1(\bar{T} - t_{o.c.})/W_\Gamma$; $Q_0 = \bar{Q}_p \cdot H_0$;
 $St_0 = A \cdot H_0$ – число Стэнтона; H_0 – полная высота (длина) печи, м.

Средняя по высоте температура газов, входящая в уравнение (4), определяется следующим соотношением, которое получено интегрированием решения (15):

$$\bar{T} = m \cdot \bar{t} + \bar{Q}_p \cdot H_{cp} + C_1, \quad (19)$$

где $\bar{t} = \bar{t}_b + \bar{I}_1$; $\bar{t}_b = t_k - \Delta t_0 \cdot \vartheta_0/St_0$; $\vartheta_0 = 1 - \theta_0$; $\theta_0 = e^{-St_0}$;

$\bar{I}_1 = \frac{Q_0}{St_0} \left[\frac{St_0/2 - \bar{\vartheta}}{1 - m} \right]$; $\bar{\vartheta} = 1 - \bar{\theta} = 1 - \vartheta_0/St_0$; $H_{cp} = (z_1 + z_2)/2$ – средняя высота

печи на рассматриваемом участке между сечениями z_1 и z_2 , м.

Постоянная интегрирования C_1 находится из соответствующих начальных условий. В случае прямотока известны температуры газа T_0 и материалов t' на входе в печь. Тогда из решения (15) при $z = 0$ следует, что

$$C_1 = T_0 + mt'. \quad (20)$$

При противотоке начальные условия усложняются, становятся как бы «перекрёстными»: при $z = 0$ известна температура шихты $t(0) = t'$, а при $z = H_0$ – температура газа $T(H_0) = T'$.

Решая совместно уравнения (15) и (16) при $z = H_0$, получим

$$C_1 = C_{1Б} - \Delta C, \quad (21)$$

где $C_{1Б} = (1 - m)(T' - mt'\theta_0)/(1 - m\theta_0)$ – постоянная интегрирования в случае отсутствия потерь тепла, °C; $\Delta C = Q_0(1 - \vartheta_0/St_0)/(1 - m\theta_0)$ – поправка, учитывающая тепловые потери рабочим пространством печи.

После определения температуры газа по уравнению (15) из соотношения (3) легко находится динамика изменения потерь тепла через кладку по высоте печи.

ВЫВОДЫ

1. Получено достаточно простое приближённое аналитическое решение задачи нагрева термически тонких тел в движущемся слое при линейных граничных условиях с учётом потерь теплоты через кладку печи и ненулевой температуры окружающей среды.

2. В полученных зависимостях используется расчёт суммарного коэффициента теплоотдачи в случае охлаждения ограждающих конструкций печей и других объектов на воздухе при различных режимах свободной конвекции, степенях черноты, температурах воздуха и ориентации в простран-

стве. Приведена простая аппроксимационная зависимость для расчёта коэффициента теплоотдачи в трубах холодильников печи. Разработанные решения позволяют производить аналитический расчёт процессов охлаждения, не используя табличных данных теплофизических свойств.

3. Данное решение может быть использовано для расчёта температурного и теплового режимов нагрева шихты в доменных и обжиговых печах, а также металла в металлургических, туннельных, кольцевых, роликовых и других печах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китаев Б.И. Теплообмен в доменной печи / Б.И. Китаев, Ю.Г. Ярошенко, Б.Л. Лазарев. – М.: Металлургия, 1966. – 354 с.

2. Гольдфарб Э.М. Теплотехника металлургических процессов / Э.М. Гольдфарб. – М.: Металлургия, 1967. – 440 с.

3. Ольшанский В.М. Нагрев тел простейших форм в противотоке с учётом потерь тепла / В.М. Ольшанский, Е.В. Гупало // Металлургическая теплотехника. Сб. науч. трудов НМетАУ. – Днепропетровск: НметАУ, 2001. – Т. 4. – С. 46 – 52.

4. Троянkin Ю.Н. Проектирование и эксплуатация огнетехнических установок: Учебное пособие / Ю.Н. Троянkin. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с.

5. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.

6. Горбунов А.Д. К аналитическому расчёту суммарного коэффициента теплоотдачи при охлаждении тел на воздухе / А.Д. Горбунов, Е.Л. Глущенко, Л.И. Хиш // Металлургическая теплотехника: Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. В двух книгах. Кн. 1. – Днепропетровск: Пороги, 2005. – С. 118 – 131.

7. Горбунов А.Д. Определение коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении в трубах и каналах аналитическим методом / А.Д. Горбунов // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «Нова ідеологія», 2008. – С. 92 – 97.

А.Д. Горбунов

Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск

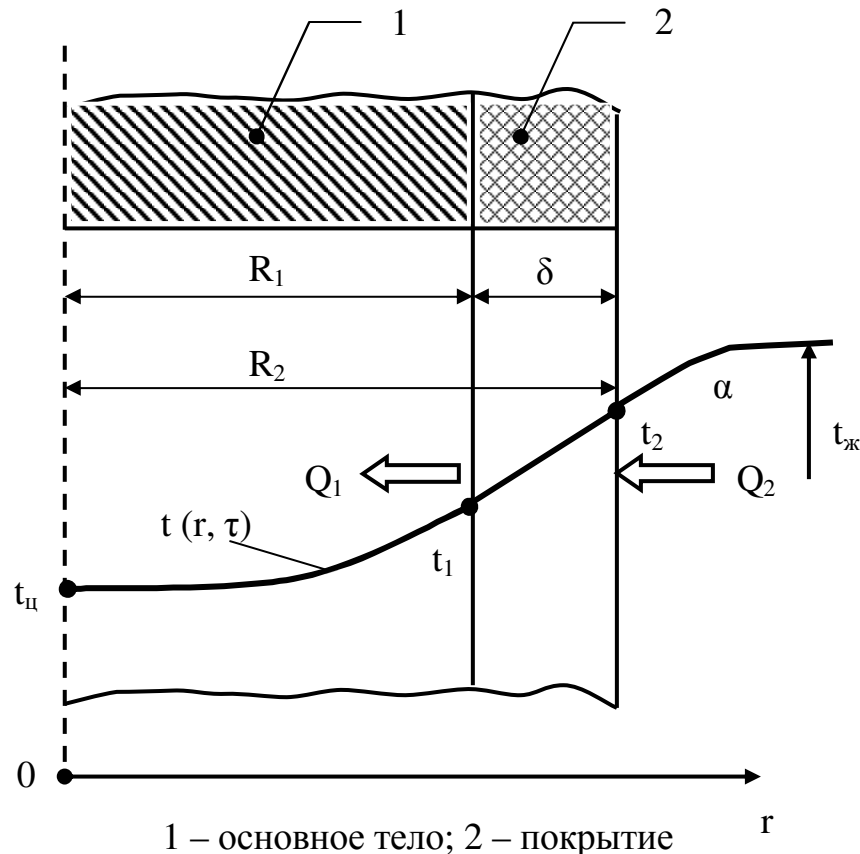
АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НАГРЕВА (ОХЛАЖДЕНИЯ) ЦИЛИНДРА, ПОКРЫТОГО ТОНКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Получены приближенные аналитические решения для расчёта конвективного нагрева (охлаждения) тел цилиндрической формы, покрытых тонкой оболочкой.

They Are Received drawn near analytical decisions for calculation convective heating bodies of the cylindrical form, covered by fine shell.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В ряде работ, например, в [1] приводится численное решение задачи конвективного нагрева водяной сферической капли радиусом R_1 , покрытой тонким слоем масла толщиной δ (рисунок 1). Начальная температура воды и масла t_0 , температура греющей среды $t_{ж} > t_0$, коэффициент теплоотдачи α ; полный размер тела $d_2 = d_1 + 2 \cdot \delta$ или радиус $R_2 = R_1 + \delta$.



1 – основное тело; 2 – покрытие
Рисунок 1 – К расчёту процесса нагрева двухслойного тела

Точные аналитические решения поставленной проблемы отсутствуют, а если и имеются, то носят весьма громоздкий вид.

В работе [2] приведено приближенное решение в случае нагрева сферических тел. Получим решение данной задачи для бесконечного цилиндра, покрытого тонким внешним слоем. Такие задачи встречаются, например, в случае нагрева цилиндрических слитков с учетом слоя окалины на его поверхности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сведём двухслойное тело к однослойному следующим образом. С целью упрощения расчетов сделаем два допущения. Из теории теплопроводности известно, что при отношении диаметров d_2/d_1 или радиусов $R_2/R_1 < 1,2$ стенку с точностью до 4 % можно считать плоской [3]. Примем, также, что температура в тонком слое покрытия изменяется по линейному закону. Тогда удельный тепловой поток через такую плоскую стенку составит

$$q_n = \lambda_2 \cdot \Delta t / \delta, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где $\Delta t = t_2 - t_1$; t_1 и t_2 – температуры поверхностей в месте идеального теплового контакта двух тел и на горячей стороне покрытия соответственно, °С; λ_2 – коэффициент теплопроводности покрытия, Вт/(м·К).

Полный тепловой поток для цилиндрических тел высотой l со стороны греющей среды (рисунок 1):

$$Q_2 = q_2 \cdot \pi \cdot d_2 l, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $q_2 = \alpha \cdot (t_{\text{ж}} - t_2)$ – удельный тепловой поток, Вт/м².

С другой стороны, согласно формулам стационарной теплопроводности [3] тепловой поток через цилиндрическую стенку от $r = R_2$ до $r = R_1$ определится уравнением

$$Q_1 = \frac{2\pi\lambda_2 l \Delta t}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}. \quad (3)$$

Из условия равенства тепловых потоков $Q_2 = Q_1$, с учетом соотношения (1) и двух членов разложения логарифмической функции $\ln(1+x) \cong x - \frac{x^3}{2}$ при малом аргументе $x = \frac{\delta}{R_1}$, будем иметь для цилиндрических тел отношение удельных тепловых потоков:

$$\xi = \frac{q_n}{q_2} = \frac{d_2}{d_1} \left(1 - \frac{\delta}{d_1}\right) = \left(1 + \frac{\delta}{R_1}\right) \left(1 - \frac{\delta}{d_1}\right) \cong 1 + \frac{\delta}{d_1}. \quad (4)$$

Из формул (1) и (4) можно получить уравнение связи между температурами поверхности на концах покрытия, которые в процессе нагрева могут изменяться во времени:

$$t_2(\tau) = \frac{t_1(\tau) + Bi_2 \cdot t_{ж}}{1 + Bi_2}, \quad (5)$$

где $Bi_2 = \alpha_2 \cdot \delta / \lambda_2$ – число Био для покрытия; $\alpha_2 = \zeta \cdot \alpha$ – коэффициент теплоотдачи, учитывающий кривизну поверхности покрытия, Вт/(м² · К).

Составим граничное условие III рода для первого (основного) тела при $r = R_1$ с учётом уравнений (4) и (5).

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_{r=R_1} = q_n = q_2 \cdot \zeta = \alpha \cdot \zeta \cdot (t_{ж} - t_2) = \alpha_3 \cdot (t_{ж} - t_1), \quad (6)$$

где $\alpha_3 = \zeta \cdot \alpha / (1 + Bi_2)$ – эквивалентный коэффициент теплоотдачи, учитывающий наличие тонкого покрытия на поверхности тела.

Решения для расчёта процессов конвективного нагрева цилиндрических тел при граничных условиях (6) известны и имеют, например, согласно [4] следующий вид:

$$\theta(X, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n(\mu_n) U(X) \cdot e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (7)$$

где $X = r/R_1$ – относительная координата; $\theta = (t(r, \tau) - t_{ж}) / (t_0 - t_{ж})$; $Fo = a \cdot \tau / R_1^2$ – число Фурье; координатная функция:

$$U(X) = B_2 I_o(\mu_n X); \quad (8)$$

$B_2 = \frac{1}{I_o(\mu_n)}$; $P_n(\mu_n) = \frac{2Bi}{(Bi^2 + \mu_n^2)}$; $I_o(\mu)$ – функция Бесселя;

μ_n – корни характеристического уравнения

$$\frac{I_o(\mu)}{I_1(\mu)} = \frac{\mu_n}{Bi}. \quad (9)$$

Здесь и далее под числом Био следует понимать эквивалентное число:

$$Bi = Bi_3 = \alpha_3 \cdot R_1 / \lambda_1. \quad (10)$$

Среднемассовая температура цилиндра

$$\theta_{cp} = \sum_{n=1}^{\infty} M_n(\mu_n) e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (11)$$

где $M_n(\mu_n) = P_n(\mu_n) \cdot 2 \cdot Bi / \mu_n^2$.

Полагая последовательно в уравнении (7) $X = 1$ и $X = 0$, получим:

$$\text{температура на поверхности } \theta_n(Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo} \quad (12)$$

$$\text{и в центре цилиндра } \theta_u(Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n(\mu_n) \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (13)$$

где $A_n(\mu_n) = B_2 P_n(\mu_n)$.

При числах Фурье $Fo > 0,3$ наступает регулярный режим нагрева (РРН) и в формулах (8)...(13) можно ограничиться одним членом ряда.

Основную трудность, как известно, представляет собой определение бесконечного множества корней трансцендентного уравнения (9). В работе [4] получены точные и приближенные решения для расчета корней этого

уравнения. Например, для первого корня, дающего основной вклад в температурное поле (7) и особенно в стадии РРН:

$$\mu_1^2 = \frac{2Bi}{\tilde{m}}, \quad (14)$$

где $\tilde{m} = m(1 + \rho)$; $m = 1 + \frac{Bi}{4}$; $\rho = \frac{D^2}{192}$; $D = \frac{2Bi}{m}$.

Здесь под \tilde{m} понимается коэффициент термической массивности цилиндра, который численно равен отношению среднемассовой температуры к температуре на поверхности в стадии РРН.

По уравнениям (7)...(14) легко решается так называемая прямая задача – определение поля температур в любой заданный момент времени. На практике часто приходится решать обратную задачу, когда определяется время нагрева тела до заданной температуры, например, на поверхности $t_{п.з.}$. Наиболее просто обратная задача решается после наступления РРН. Тогда, логарифмируя уравнение (12), получим формулу для расчета времени нагрева:

$$Fo_H = \frac{1}{\mu_1^2} \ln \frac{P_1}{\theta_{п.з.}}, \quad (15)$$

где $\theta_{п.з.} = (t_{п.з.} - t_{ж.}) / (t_0 - t_{ж.})$.

Температура в центре цилиндра в момент времени Fo_H

$$\theta_u(Fo_H) = P_1 \cdot B_2 \cdot e^{-\mu_1^2 \cdot Fo_H} = \theta_{п.з.} \cdot B_2. \quad (16)$$

Наружная температура поверхности покрытия в любой момент времени определяется по уравнению (5) при известной температуре поверхности основного тела $t_1(\tau) = t_n(\tau)$, а в момент τ_H :

$$t_2(\tau_H) = \frac{t_{п.з.} + Bi_2 \cdot t_{ж.}}{1 + Bi_2}. \quad (17)$$

Относительный тепловой поток при известной из уравнения (12) температуре поверхности $t_1(\tau)$ получим из граничного условия (6), а именно:

$$Q(Fo) = q_n \cdot R_1 / (\lambda_1(t_{ж.} - t_0)) = Bi \cdot \theta_n(Fo). \quad (18)$$

В заключение приведем формулы для аналитического расчета процесса нагрева двухслойных сферических тел, полученные в [4].

$$\text{Уравнение (4) станет: } \xi = \frac{q_n}{q_2} = \frac{d_2}{d_1} = \left(1 + \frac{\delta}{R_1}\right). \quad (19)$$

Соотношения (5), (6), (10),(15)...(18) останутся без изменения.

В уравнении (7) тепловая амплитуда $P_n(\mu_n) = \frac{2Bi}{(Bi^2 + Bi + \mu_n^2)}$, а координатная функция $U(X) = B_3 \cdot \sin(\mu_n X) / \mu_n X$; $B_3 = \frac{\mu_n}{\sin \mu_n}$.

$$(13) \quad A_n(\mu_n) = B_3 P_n(\mu_n). \quad (20)$$

В уравнении (11) среднемассовая амплитуда $M_n(\mu_n) = P_n(\mu_n) \cdot 3 \cdot Bi / \mu_n^2$, а в

(13) $A_n(\mu_n) = B_3 P_n(\mu_n)$.

Вместо (14) квадрат первого корня согласно работам [5,6]:

$$\mu_1^2 = \frac{3Bi}{\tilde{m}}, \quad (21)$$

где $\tilde{m} = m(1 + \rho)$; $m = (1 + Bi/5)$; $\rho = D^2/525$; $D = 3 \cdot Bi/m$.

Следует отметить, что полученные решения справедливы не только для расчета процесса нагрева двухслойных тел, но и при их охлаждении.

ВЫВОДЫ

В предположении линейности температуры в тонком слое покрытия получены приближенные аналитические решения по расчёту температурного поля двухслойных цилиндрических и сферических тел, покрытых тонкой оболочкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павленко А.М. Развитие методов гидротермичной гомогенизации / А.М. Павленко, Р.А. Климов, Б.И. Басок // Промышленная теплотехника – 2005. – Т. 27. – № 4. – С. 64 – 71.
2. Горбунов А.Д. Аналитический расчёт нагрева (охлаждения) двухслойного шара / А.Д. Горбунов, Е.Л. Глущенко // Металлургическая теплотехника. Сб. научных трудов НМетАУ. – Днепропетровск: ПП Грек О.С., 2007. – С. 105 – 108.
3. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
4. Горбунов А.Д. Нахождение корней трансцендентных уравнений в задачах теплопроводности цилиндра при неоднородных граничных условиях / А.Д. Горбунов, Э.М. Гольдфарб // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1983. – № 12. – С. 94 – 97.
5. Горбунов А.Д. К расчёту температурных полей в телах простой формы при граничных условиях III рода / А.Д. Горбунов. Днепродз. инд. ин-т. – Днепродзержинск, 1982. – 21 с. – Рус. – Деп. в УкрНИИТИ 19.11.82, № 3947 – Ук-Д 82.
6. Горбунов А.Д. Нахождение корней трансцендентных уравнений в задачах теплопроводности шара при неоднородных граничных условиях / А.Д. Горбунов, Э.М. Гольдфарб // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 1984. – № 2. – С. 79 – 83.

УДК 669. 162. 012.7

А.В. Бородулин, А.В. Воронцов*, М.В. Темлянцев**, А.Л. Чайка

Институт черной металлургии Национальной Академии наук
Украины, г. Днепропетровск,

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,

**ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОЛНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА К МАКРОАНАЛИЗУ ДИНАМИКИ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ²

На конкретном примере показана целесообразность и эффективность применения полного энергетического баланса, проф. В.С. Степановым и использующего понятие «эксергия» предложенного металлургического предприятия для анализа динамики энергоемкости металлопродукции в различных экономических условиях

Expedience and efficiency of application of complete power balance is shown on a concrete example by professor V.Stepanov who used a concept «eksergiya» at the offered metallurgical enterprise for the analysis of dynamics of metal production power intensity in different economic terms.

Развитие учения об энергетическом балансе, опирающегося на I и II - е начала термодинамики, как базовой составляющей экономики страны, роли пламенных печей, многочисленные дискуссии, в том числе и об исходной информации и показано в работе Л.А. Мелентьева [1]. Проблемы энергосбережения всегда привлекают внимание и металлургов, особенно в период кризисов, войнах, социальных потрясений. Так «Британская Ассоциация» опросила в 1916 г. главнейшие фирмы Англии, заводы, которых работают в типичных для разных металлургических районов условиях, относительно действительного расхода горючего при выплавке чугуна, его переделе и прокатке слитков. Цель опроса: определить при помощи полученных данных, какой перерасход топлива наблюдается в настоящее время и оценить возможное сбережение топлива, на которое можно рассчитывать в будущем при соответствующем оборудовании и организации производства на металлургических заводах. Проф. W.Vone определил расход коксующегося угля в 1,6 *t* на 1 тонну слитков, а В. Talbot – в 1,75 *t*, из которых только 1,65 идет

² Инициативу в развитии данного научного направления и творческое участие проявили Н.Е. Рехтин и Б.И. Сельский, которым авторы всегда благодарны и признательны

в коксовальные печи и дает нужное для выплавки чугуна количество кокса. На практике только один завод имел расход угля 2 т, один 2,5 и один – 2,75, а остальные гораздо больше.

В отечественной металлургии усилиями технологов, теплотехников и иных специалистов созданы научные основы управления энергопотреблением агрегатов различного технологического назначения. Особенно интенсивно развивалось это направление в годы период роста промышленности в начале XX века и индустриализации страны [2 – 13]. Отметим некоторые особенности работ по основам энергетических балансов металлургических печей.

Так в работах Н.Е. Скаредова для расчетов печей впервые были использованы законы термодинамики (цикл Карно) и теплопередачи, дано удовлетворительное для того времени описание роли факела в рабочем пространстве печей и указаны важнейшие факторы, определяющие его длину. Обращает на себя внимание и наличие взаимосвязи между отдельными элементами расчета печей – определение расхода топлива в зависимости от производительности, определение тепловой мощности и расчет регенераторов, боровов, тяги дымовой трубы и т.п., что характерно для современных методов расчета печей. По глубине понимания теплотехнических процессов, происходящих в печах, Н.Е. Скаредов опередил своих современников в области печной теплотехники, но его работы не были по достоинству поняты и оценены. Дальнейшее развитие идеи Н.Е. Скаредова получили в работах И.Д. Семикина.

Потребности в металлопродукции стимулировали работы по печной теплотехнике, повышению производительности печей различного технологического назначения, сокращению, нормированию расхода топлива [7 – 14]. Эти работы, выполненные на высоком научном уровне в различных регионах страны, как говорят в настоящее время, в режиме «он лайн», способствовали формированию и становлению научных школ на Урале, Украине, Центре и в Сибири.

Г.П. Иванцов [14] утверждает следующее: «Советская наука о нагреве металла начала сильно развиваться в начале тридцатых годов под влиянием запросов практики, возникавших при освоении нагревательных печей на новостройках первой пятилетки. Сильнейшим толчком к ее дальнейшему развитию явилось стахановское движение. О советских исследованиях нагрева металла и о влиянии стахановского движения на развитие советской науки о нагреве металла красноречиво свидетельствует составленная в хронологическом порядке библиография, приведенная в конце книги. Приятно отметить, что количество советских работ, опубликованных за полтора десятка предвоенных лет, значительно превышает количество работ, опубликованных за то же время во всей зарубежной печати».

Все превращения с материалами, поданными в печь, иные энерготехнологические установки, агрегаты и системы с целью получения готовой продукции, в конечном итоге, отражаются материальными и энергетическими балансами, которые целесообразно использовать для анализа эффективности функционирования не только отдельного агрегата, технологической линии, производства, и предприятия в целом и отрасли. Энергобаланс металлургического предприятия полного цикла формировался усилиями специалистов различного профиля – технологов,

теплотехников, энергетиков, экономистов и др. Разобщенность действий специалистов разного профиля вызывала и известные недостатки, которые не ликвидированы и в настоящее время. Например, современный технолог, как правило, рассматривает проблему слишком узко, принимая во внимание лишь единичный сегмент того сложного энерготехнологического цикла, каким является производство металла. Это отрицательно сказывается на экономике предприятия, качестве металла, эксплуатационной надежности агрегатов и придает решающую роль так называемой гибкости, т.е. быстрой и экономичной перестройке технологических режимов, самих агрегатов и в целом человеко - технических комплексов. Эффект от внедрения работ такого плана по мнению экспертов и зарубежной практики может составлять от 5 до 20 % от общих затрат энергии.

Используемые для этих целей традиционные методы управления энергией, наиболее распространенные на отечественных предприятиях и основанные на составлении перечня мероприятий, просты для контроля, но не позволяют наилучшим образом выбирать наиболее рациональные решения из возможных вариантов, особенно в нестабильных экономических условиях. Внедрения того или иного энергосберегающего мероприятия - это скорее вопрос времени и денег, а выбор наиболее рационального из огромного количества мероприятий, имеющих в арсеналах техники и технологии является важнейшей задачей современной науки.

Классические методы оптимизации управления производством, широко используемые на металлургических предприятиях стран Запада, Японии, Китая, а в России, наиболее эффективно развиваются учеными Московского энергетического института и др. Здесь не обойтись лишь основами технологии, необходимы производственные знания, теплотехнические, экономические, математические, т.е. целенаправленные. Методы эти дороги и наукоемки, требуют целенаправленных действий специалистов различного профиля, соответствующего финансирования. Пока не видно на просторах СНГ металлургического предприятия, на котором решена эта проблема.

Анализ эффективности использования энергетических и сырьевых ресурсов при производстве металла показал, что эта проблема комплексная, где ведущую роль играют экономические, научно- организационные, а не только технические факторы. Проблемы и перспективы развития методов энергетического баланса в управлении энергоемкостью металлопродукции заслушивает, как и в большой энергетике, специального внимания [15 – 30].

Для оценки потенциала энергосбережения целесообразно использовать методы термодинамического анализа с построением полного энергетического баланса предприятия, которые благодаря работам В.С. Степанова [25 – 30] начали применяться на ЗСМК. Данные методы позволяют оценить и потери энергии по различным причинам; техническим, связанным с необратимостью технологического процесса и управленческими потерями.

Покажем это на конкретном примере. В таблице 1 и на рисунках 1 – 6, приведена динамика полного энергобаланса ЗСМК, по сравнению с иными металлургическими предприятиями Украины, России и мира.

Таблица 1 – Полный энергетический баланс АО «ЗСМК» за 1988, 1990, 1994, 1995, 1999, 2003 годы

Статьи баланса	Масса, килотонн					Энергия, ГДж					Эксергия, ГДж				
	1988	1990	1994	1995	2003	1988	1990	1994	1995	2003	1988	1990	1994	1995	2003
П Р И Х О Д															
Сырье (всего)	10555.0	15292.2	10405.8	11056.1	14320.0	19766	40941.0	24278	21692	28639	15860	27518	15658	12962	25692
в т. ч.:															
Руда и железорудные материалы	8761.9	10711.8	7713.1	8274.4	10570.0	4994	16325	11755	10335	6025	4381	7691	5538	3571	5285
Известняк	66.6	1840.2	1285.6	1556.1	550.0	26	723	506	616	214	42	1146	800	971	343
Металлолом	1726.5	2326.1	1407.1	1225.6	3200.0	14745	19866	12017	10741	22400	11438	15407	9320	8420	20064
Чугун жидкий	-	41.4	0	0	-	-	4607	0	0	-	-	3693	0	0	-
Топливо (всего)	9345.0	9093.9	4610.0	4963.4	9200.0	306222	280744	129862	155864	265689	253398	267798	129314	148310	250406
в т. ч.:															
Угли рядовые	6164.2	6149.3	2788.2	2977.4	6500.0	193066	152191	69006	73693	150150	157719	150437	68211	72845	144950
Угольный концентрат	2100.0	2281	1371	1356.9	2400.0	81481	97627	38377	58075	102720	65101	88959	38196	52919	93600
Природный газ	1080.8	665.6	450.8	492.2	300.0	31675	30926	22479	20021	12819	30578	28402	22900	18469	11856
Кокс	-	0	0	1367	-	-	0	0	4075	-	-	0	0	4077	-
Электроэнергия	3197.0	-	-	-	3300	11509	11531	9833	10173	11880	11509	11531	9833	10173	11880
Теплоэнергия	2132.9	-	-	-	1450	8930	5209	5904	5342	6071	2674	1563	1771	1602	1822
Полуфабрикаты	202.3	216.1	292.7	312.2	197.2	5552	6432	9931	10862	6172	5437	6335	9860	10818	6081
ИТОГО ПРИХОД:	19900.0		15308.5	16331.7	23717.2	351979	344857	179808	203933	318451	288878	314745	166436	183865	295881
Р А С Х О Д															
Металлопродукты (всего)	7372.0	6574	4163.1	5111.1	7405.0	64887	60861	36677	44952	54554	50908	45429	28805	35283	48850
в т. ч.:															
Сталь в слитках	1409.1	921.4	0	0	-	13411	8075	0	0	-	10816	6330	0	0	-
Заготовка товарная	-	697.7	651.1	837.9	-	-	6114	5706	7343	-	-	4792	4472	5756	-
Прокал товарный	5402.4	4693	3302.9	4098.9	7400.0	46141	41128	28946	35923	54539	35791	32240	22690	28159	48841
Чугун товарный	560.5	86.3	136.5	98.9	-	5335	9839	1328	962	-	4302	682	1080	782	-
Изложницы	-	170.6	61.3	66	-	-	1660	597	642	-	-	1350	485	522	-
Прочие (литье)	-	5.1	11.4	9.4	-	-	45	99.6	82	-	-	35	78	64	-
Топливо (всего)	4478.9	4621.7	880.9	859.3	5287.0	103925	114164	13276	13289	127075	90342	107356	12928	12520	120227
в т. ч.:															
Промпродукт	736.5	614.3	241.5	176.7	650.0	12182	11638	4575	3347	10750	12064	11432	4494	3289	10647
Доменный газ	1267.0	1416	399.8	462.2	1600.0	4919	4488	1245	1465	4592	4450	4059	1126	1325	4160
Коксовый газ	151.0	81.1	26.1	24.1	110.0	3001	3426	1169	1093	4755	2663	3039	1037	970	4217
Угольный концентрат	1624.3	1527.3	43.8	118.5	1527.0	63023	65370	1238	5071	65356	50353	59566	1219	4621	59553
Кокс на сторону	699.1	982.9	169.7	77.8	1400.0	20800	29242	5049	2313	41622	20811	29260	5052	2315	41650
Коксохимические продукты	433.7	389.8	398.6	415	412.0	13800	12873	13143	14679	12808	13625	12754	13021	14397	12697
Переработанные отходы	1827.9	3701.1	2650.2	2946.4	4110.0	581	290.2	269.3	303.3	2920	350	1710	1601	1306	1854
ИТОГО РАСХОД:	12363.6	21905.4	8113.8	9350.8	23717.2	183193	188188	63365	73223	197357	155225	167249	56355	63506	183628
Коэффициент использования, %	-	-	-	-	-	52.9	54.6	35.2	35.9	62.0	-	-	-	-	-
- энергии	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.8	53.1	33.9	34.5	62.1
- эксергии	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Особый интерес представляют результаты анализа влияния потребления энергетических и сырьевых ресурсов на КПИ энергии и эксергии в энергетическом балансе ЗСМК (таблица 2).

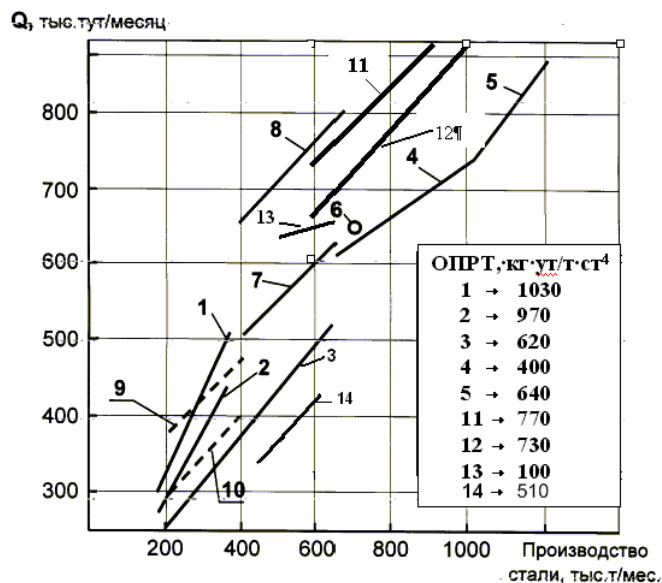


Рисунок 1 – Энергетические характеристики меткомбинатов: «Запорожсталь» – (1, 2), ЗСМК – (3, 6), в Хирохате – (4, 5), НТМК – (7, 8), ОХМК – (9, 10), «Северсталь» – (11, 12) и «Криворожсталь» – (13), Q – общие затраты энергоресурсов (1, 4–6, 8, 9, 11) и топлива (2, 3, 7, 10, 12). Точка (6) – среднемесячные данные по ЗСМК за 1989 год; 14 – среднемесячные данные по ЗСМК за 2001 – 2007 гг.

Σ ГДж/т стали

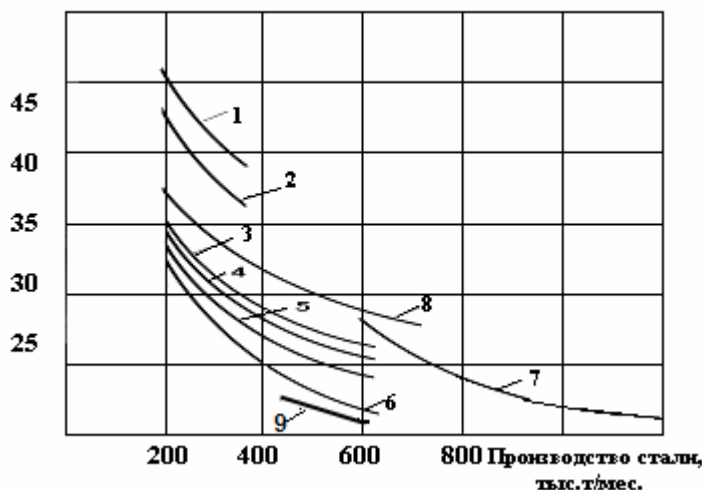


Рисунок 2 – Характеристики удельных расходов Σ Т энергии (1, 7, 8) и топлива (2–6) для комбинатов: (1, 2) – «Запорожсталь», (3–6, 8, 9 – 2001 – 2007 гг.) – ЗСМК, (7) – Хирохате. Доля чугуна в шихте конвертеров, %: (3) – 92, (4) – (88), (5) – 84, (6) – 80, (9) – 79–82

Макроанализ влияния энергетической и сырьевой базы, потребления вторичных энергоресурсов на КПИ показывает, что увеличение использования металлолома, углей и угольных концентратов, кокса, доменного и коксового газа, электроэнергии однозначно повышает КПИ, а использование полуфабрикатов уменьшают КПИ энергии и эксергии.

Коэффициент полезного использования энергии растет с ростом объемов производства металлопродукции и количества переработанных отходов. Переработка продуктов коксохимического производства в углеводородное топливо понижает КПИ, а использование, как топлива, в переделах ЗСМК, повышает КПИ энергии и эксергии.

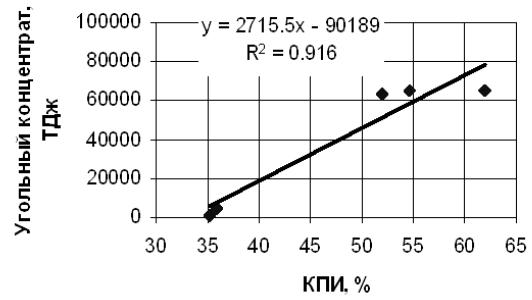
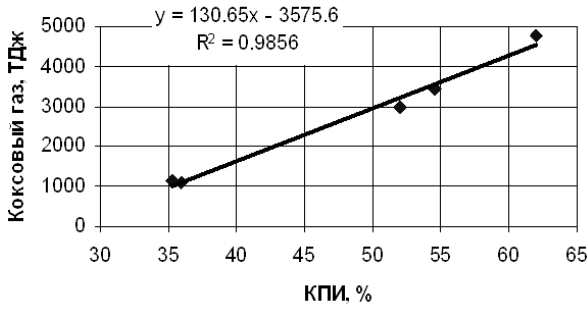
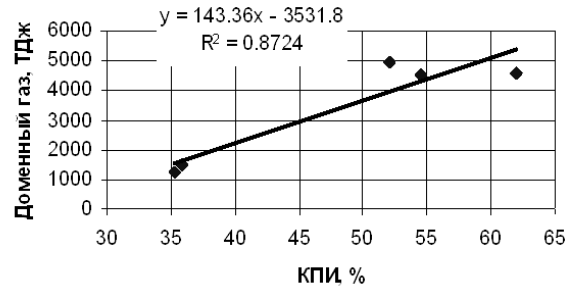
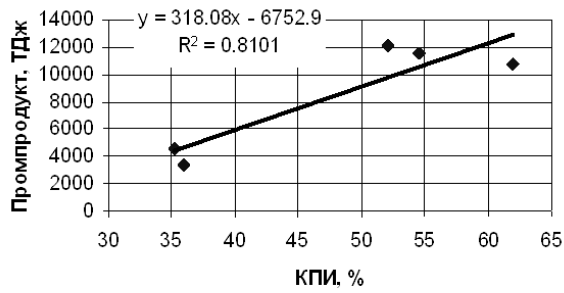


Рисунок 3 – Влияние потребления вторичных энергоресурсов на коэффициент полезного использования (КПИ) энергии на ЗСМК

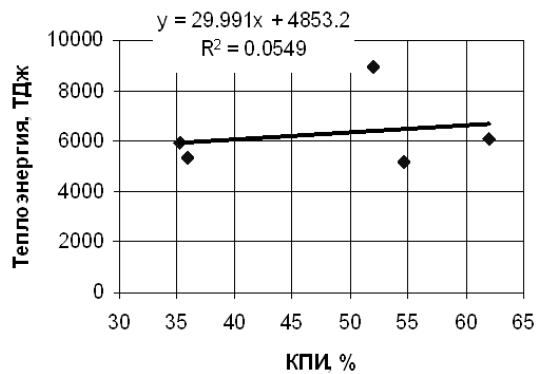
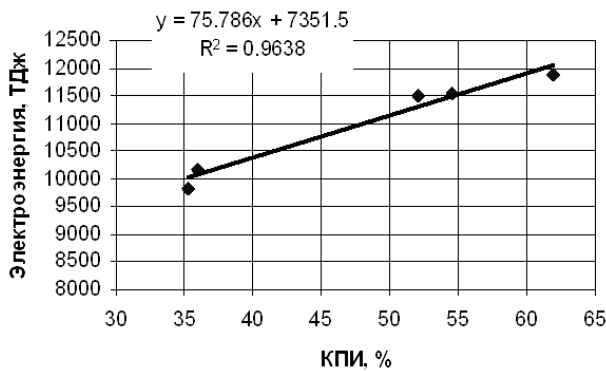


Рисунок 4 – Влияние потребления тепловой и электроэнергии на коэффициент полезного использования (КПИ) на ЗСМК

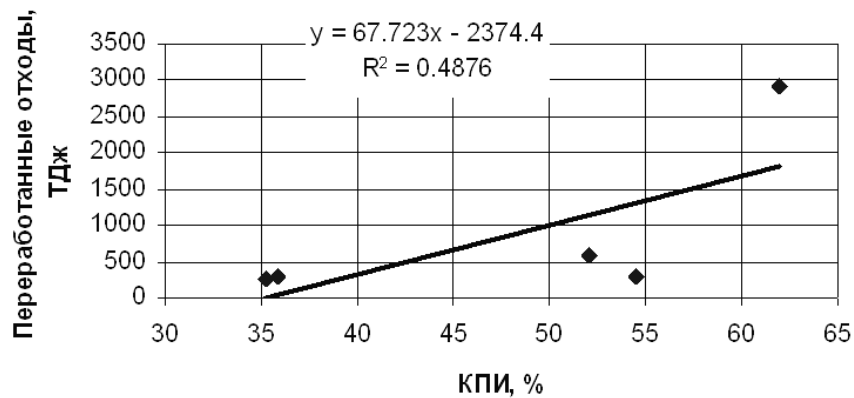


Рисунок 5 – Влияние количества переработанных отходов на коэффициент полезного использования (КПИ) энергии на ЗСМК

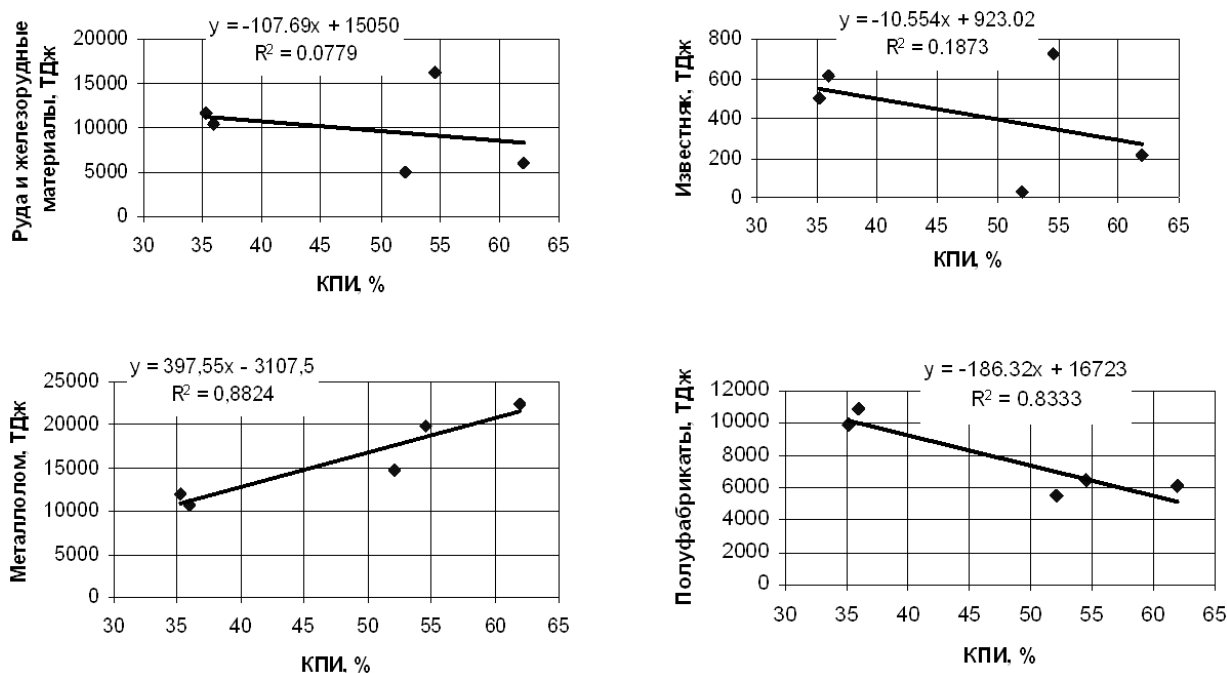


Рисунок 6 – Влияние сырьевой базы ЗСМК на коэффициент полезного использования (КПИ) энергии на ЗСМК

Нестабильность поставок энергетических и материальных ресурсов, их качество, конъюнктурные соотношения, экологические ограничения и иные факторы определяют состав, параметры работы энерготехнологических агрегатов и энергоемкость металлопродукции.

Анализ энергетических балансов показал, что в нестабильных, конъюнктурно – кризисных условиях 1994 и 1995 гг., эффективность использования энергии по сравнению с 1988, 1990 и 2003 гг., снизилась в среднем на 35 %, коэффициент полезного использования (КПИ) энергии на 21 %. Анализ существующего положения по энергосбережению показывает, что главной причиной высоких энергетических затрат является не отсутствие наличия технических мероприятий, а трудности в управлении, отсутствии достоверной информации, определении приоритетов и эффективно работающего механизма управления в сложной финансово-экономической обстановке. В период «кризиса» регулировать интенсивность выплавки металла при отсутствии природного газа, поддерживать на рабочем уровне газораспределение в печи, выход доменного газа и его теплоту сгорания с наименьшими потерями по производству, расходу кокса и сокращению простоев мощнейших агрегатов, позволит использование в доменном производстве дутья, обогащенного нагретым азотом. Это повысит надежность технического состояния агрегатов. Применение дутья, обогащенного нагретым азотом, позволяет максимально использовать тепловые мощности воздухонагревателей системы Калугина в доменной печи, работающей с низкой интенсивностью.

В доменном производстве потребляется 50 – 75 % энергетических ресурсов металлургического предприятия полного цикла. Соответственно,

экономия энергетических ресурсов в доменном производстве на 1 %, позволяет, снизить энергоемкость производства стали до 0,5 – 0,75 %.

Выбор концепции управления энергосбережением и анализ взаимосвязей между показателями расходов энергии в наиболее энергоемких агрегатах и производствах металлургического комбината полного цикла являются предметом дальнейшего исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

1. Анализ использования энергетических и сырьевых ресурсов при производстве металла показал, что эта проблема комплексная, где ведущую роль играют экономические, научно-организационные, а не только технические факторы.

2. Применение пылеугольного топлива в доменной плавке целесообразно совмещать с вдуванием природного газа, что позволит получать в различных дутьевых и шихтовых условиях наиболее высокие и устойчивые технико – экономические показатели производства металла на комбинате полного цикла.

3. Расширение энергетической базы производства чугуна необходимо совмещать с повышением энерговооруженности доменного производства: нагревом дутья свыше 1200 °С в воздухонагревателях системы «Калугин», нагревом природного газа, широкого применения азота.

4. В условиях кризиса возрастает роль формализованных методов выбора рациональных путей развития и структуры производства, количества и параметров работы агрегатов, взаимодействия со смежниками и иным проблемам управления экономикой в экстремальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев Л.А. Очерки по истории отечественной энергетики / Л.А. Мелентьев. – М: Наука, 1987. – 280 с.

2. Скаредов Н.Е. Теоретические основания расчета мартеновских печей / Н.Е. Скаредов // Горный журнал. – 1915. – Т II, № 5 – 6. – С. 109 – 66.

3. Павлов М.А. Обзор успехов в металлургии железа за последние три года (1919–1921). Отдельный оттиск из журнала «Технико-экономический вестник». – М. – Петербург, 1922. – № 4/5.

4. Соколов И.А. «О сбережении горючего при доменной плавке» на Первом Уральском съезде теплотехников / И.А. Соколов. – УОСНХ, 1924. – С. 53.

5. Рубин П.Г. Усовершенствованный металлургический завод с точки зрения экономии топлива: примерный анализ заводов Юга / П.Г. Рубин // Вестник металлопромышленности. – 1924. – № 4 – 6. – С. 186.

6. Старк Б.В. Явления нагрева в муфельных печах / Б.В. Старк // ЖРМО. – 1926. – № 2. – С. 184 – 99.

7. Семикин И.Д., Шабли М.Д. Тепловая работа отражательных печей / И.Д. Семикин, М.Д. Шабли // Цветные металлы. – 1939. – № 3. – С. 71 – 85.

8. Масловский П.М. Исследование теплообмена в методических печах. Кузнецкий металлургический комбинат / П.М. Масловский, Б.В. Мясников // Сб. научно-технических статей КМЗ. №4. – Изд. Центральной лаборатории КМК, 1939. – С. 99 – 110.

9. Тимофеев В.Н. Тепловая работа нагревательной печи / В.Н. Тимофеев, А.В. Кавадеров // Сб. НИР УО ВТИ. Вып. 5. Повышение экономичности и производительности нагревательных и мартеновских печей. – Свердловск, 1940. – С. 5 – 38.

10. Скворцов А.А. Определение наивыгоднейшей производительности методических печей с точки зрения расхода топлива и к.п.д. / А.А. Скворцов. – Горьковский индустриальный институт им. Жданова. Труды. Том. III. Вып. III. 1940.

11. Скворцов А.А. Нормирование времени нагрева крупных слитков / А.А. Скворцов // Теория и практика металлургии. – 1940. – № 9. – С. 10 – 13.

12. Печи для нагрева металла./ Доброхотов Н.Н., Куроедов В.А., Копытов В.Ф., Глинков М.А., Будрин Д.В., Соколов В.Н., Кармазин В.И., Лоськов Д.И., Грошев М.В., Кузнецов А.В. и Веселков, Н.Г., Топерверх Н.И., Шабли М.Д. Под ред. и с предисл. Н.Н. Доброхотова. – Л.: ГОСИНТИ, 1941. – 416 с.

13. Китаев Б.И. Схема теплообмена в доменной печи и подготовка руд к плавке / Б.И. Китаев // Сталь. – 1944. – № 7 – 8. – С. 202 – 205.

14. Иванцов Г.П. Нагрев металла (теория и методы расчета) / Г.П. Иванцов. Под ред. и с добавлениями Д.В. Будрина. – Свердловск – М.: Металлургиздат, 1948. – 191 с.

15. Голдобин М. Единые показатели по брутто – балансам / М. Голдобин. // Сталь. – 1940. – № 11 – 12. – С. 78 – 85.

16. Вейц В.И. Энергетические характеристики и коэффициент полезного действия промышленной энергетики / В.И. Вейц // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. – 1946. – № 11. – С.1549 – 1565.

17. Гофман И.В. Энергетические характеристики промышленного производства / И.В. Гофман // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. – 1948. – № 12. – С.1803 – 1817.

18. Виленский Н.М. Оптимизация топливо-энергетического баланса / Н.М Виленский., И.И. Еремин. – Свердловск: УФ АН СССР, 1966. – 100 с.

19. Виленский Н.М. Топливо-энергетический баланс металлургического завода / Н.М Виленский., В.М. Лац. – М.: Металлургия, 1970. – 129 с.

20. Системный анализ энерготехнологического комплекса как основа выбора путей снижения энергоемкости металлургической продукции/ Ф.Н. Демченко, Л.С. Горностаев, О.В. Баклан и др. // Сталь. – 1984. – С. 83 – 87.

21. Использование экономико-математических моделей для оптимизации энерготехнологических комплексов металлургических комбинатов / Ф.Н. Демченко, В.Н. Корнфельд, М.Н. Шашкова и др. // Сталь. – 1991. – № 6. С. 87 – 92.

22. Вишнеvский Б.Н. Концепция создания автоматизированной системы формирования и оптимизации энергетического баланса металлургического предприятия / Б.Н. Вишнеvский, Ю.Г. Банников, А.А. Цуканов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1993. – № 3. – С. 58 – 62.
23. Математическое моделирование и оптимизация как метод решения проблем энергосбережения и экологии промышленных районов / А.Б. Анохин, В.И. Ситас, А.В. Бородулин и др. // Теплоэнергетика. – 1994. – № 6. – С. 38 – 41.
24. Степанов В.С. Анализ энергетического совершенства технологических процессов / В.С. Степанов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 273 с.
25. Озолинг И.Х. Энергетический баланс предприятий цветной металлургии / И.Х. Озолинг, Н.И. Тажбеков. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1986. – 112 с.
26. Степанов В.С. Химическая энергия и эксергия веществ / В.С. Степанов. Изд. 2-е. – Новосибирск: Наука, 1990. – 163 с.
27. Степанов В.С. Эффективность использования энергии / В.С. Степанов, Т.Б. Степанова. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1994. – 257 с.
28. О научном обеспечении энергосберегающей и природоохранной деятельности в горно-металлургических регионах / Б.А. Кустов, Н.Е. Рехтин, В.С. Степанов, А.В. Бородулин и др. // Сталь. – 1992. – № 12. – С. 75 – 81.
29. Программа модернизации и технического перевооружения Западно-Сибирского металлургического комбината / Р.С. Айзатулов, Н.Е. Рехтин, В.С. Степанов, А.С. Янковский // Сталь. – 1992. – № 6. – С. 1 – 7.
30. Проблемы и политика энергосбережения на Западно-Сибирском металлургическом комбинате / Р.С. Айзатулов, А.В. Бородулин, В.С. Степанов и др. // Сталь. – 1997. – № 8. – С. 70 – 77.

УДК 669.012.3

А.В. Бородулин

Институт черной металлургии Национальной Академии наук
Украины, г. Днепропетровск

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОКСОДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА

Рассмотрены системные аспекты функционирования подотрасли («черного куста») в условиях кризиса на разных уровнях, приведены некоторые мероприятия в доминирующем доменном производстве по выводу черной металлургии из кризиса.

The system aspects of operation branch («of a black bush») in conditions of crisis at different levels are considered, some measures in dominating blast production on a injection of black metallurgy from crisis are adduced.

«В лесу фактов и океане мыслей можно одинаково заблудиться без теорий и доктрин»

Д.И. Менделеев

На научно – практическом совещании «Обобщение передового опыта металлургических предприятий Украины в области ресурсо- и энергосберегающих технологий, прогрессивных решений при реконструкции и модернизации оборудования в агломерационном и доменном производстве. Решение экологических проблем», проходившего 27 – 28 ноября 2008 г. в Запорожье, рассмотрены конкретные решения в области экологии доменного производства; кроме этого проведен полезный обмен мнениями профессионалов по работе металлургических предприятий в условиях кризиса. Доктор экон. наук В.Г. Урчукин утверждает в газете «2000» от 28.11.08 г., что первой причиной кризиса, из пяти им перечисленных, является «Технологическая отсталость металлургического и химического производства». Ну дает! Возникает дилемма: «Стоит ли вообще на Украине заниматься металлургией?» Давайте проведем структурную перестройку экономики: все, что нужно и не нужно, распашем, засеем и ... будем заниматься сбором «плодов», развивать туризм, транзит, а, если получится, то и высокими технологиями. Выдающийся ученый-энциклопедист XIX века Д.И. Менделеев на подобные вопросы отвечал однозначно – что бы государство функционировало экономично, создавался средний класс, необходимо, кроме сельского хозяйства развивать и фабрично-заводское дело! Его советы архи актуальны и в настоящее время – см. эпитафия. Одна из доктрин – «устойчивое развитие» высказано в Rio de Janeiro в конце XX века. Ранее высказано много и иных полезных идей!

Экологическая проблема является комплексной, связанной с решением социальных, экономических, технологических, токсикологических, энергетических и иных вопросов. В этом направлении важнейшая роль принадлежит энергетическим балансам агрегатов, устойчивых технологических линий, производств, предприятий в целом, промышленного узла, региона и державы в целом. Например, в Японии, энергоемкость ВВП рассматривается как комплексный энерго - экологический критерий. Решение задач по экономии энергетических ресурсов будь то на отопление агрегатов или, наоборот, на их охлаждение есть важнейшая часть эффективного решения экологических проблем. При стабильной экономике эффект энергосбережения от повышения уровня управления оценивается различными экспертами от 5...10 до 30 %. В период кризиса роль управления и организации производства существенно возрастает. По нашим оценкам до 75 % перерасхода энергии на производство металла может вызываться возникшими трудностями управления производством в нестабильных условиях.

Необходимо освоить проблему всесторонне, прежде всего, на гуманитарном уровне. Анализ технической литературы, нормативных документов и других материалов показал, что проблема энергосбережения и взаимосвязанная с ней экологическая задачи даже теоретически недостаточно разработаны и осмыслены специалистами, занимающимися этими проблемами. Сейчас самое время поставить на научную основу проблему энергосбережения и выработать эффективные пути снижения энергоемкости валового национального продукта. Огромную роль играет информационное обеспечение проблемы, начиная с терминологии, оценки того социального – экономического положения в котором находится общество и направления социально - политического развития Державы. Исключительная роль в решении энергетических и экологических проблем принадлежит государству. Необходимо выработать соответствующую законодательную базу для проведения активной энергосберегающей и экологической политики и определиться с принципами формирования и стратегией формирования цен на энергоресурсы и энергосберегающее оборудование.

В отличие от формулировки в первом законе Украины об энергосбережении как либерального «вида деятельности», мы считаем, что «энергосбережение» – это государственная научно – техническая и экономическая стратегия развития общества, направленная на сокращение энергоемкости валового национального продукта. Принятая 18.05.04 року Постановва Верховної Ради України № 1823 – IV «Про проект Закону України про внесення змін до Закону України «Про енергозбереження» (щодо впровадження нових напрямів політики енергозбереження) близка к концепции по повышению роли государственной политики регулирования энергосбережением, изложенной в работе [1].

Накопленный человечеством опыт показывает, что эффективный выход из кризиса возможен на основе жесткого целенаправленного государственного управления усилиями всех членов общества. Об этом говорит лик-

видация разрухи в России после Октябрьской Революции, создании мощной экономической базы на востоке в годы войны и восстановлении народного хозяйства после Великой Отечественной войны, практика выхода из великой депрессии и управления экономикой США в годы второй мировой войны (Джон Гелбрейт), послевоенном возрождении Германии и Японии (Людвиг Эрхарт, Василий Леонтьев). Проблема энергосбережения является комплексной и должна решаться на нескольких уровнях. Прежде всего, она должна быть в числе государственных приоритетов и иметь соответствующую законодательную базу и экономическую платформу.

Создание государственной системы управления энергосбережением давно вышло на передний план, она жизненно необходима в период кризиса и будет весьма полезна и при цивилизованных рыночных отношениях. Она невозможна без верной оценки приоритетов и тенденций развития экономики, стратегического прогнозирования и планирования развития энергосбережения, создания государственной энергетической статистики, совместимой с МЭА, квотировании государственных заказов на экологию, энергосбережение и т.д. Государство должно вынести принципиальные социально - политические решения по управлению и структуре экономики и составить полный энергетический баланс всего общественного производства.

Разработки по энергетической и экологической безопасности державы необходимо начинать с анализа существующей и перспективной энергетической базы. Например, для Днепропетровского региона интерес представляет Верхнеднепровское месторождение бурых углей. Проведенная в 1996 г. в ДГИ конференция читателей журнала «Уголь Украины» по перспективам и целесообразности использования бурых углей показала широкие возможности, которые открываются при использовании этих углей и продуктов их переработки в различных областях экономики региона: энергетике, металлургии, химии, сельском хозяйстве (О.В. Колоколов, С.В. Поляков, И.И. Ярчук и др.). Острейший энергетический кризис подвел к необходимости рассматривать энергосбережение как мощный альтернативный источник энергии, вопрос осуществимости того или иного варианта использования продуктов комплексной переработки бурых углей, иных энергоносителей становится экономическим вопросом стоимости и сроков, а проблема оптимального выбора между несколькими вариантами является важной научной задачей. Многовариантность путей минимизации отходов лишь повышает роль научно-методического и информационного обеспечения решения проблемы.

Опыт, накопленный в классической экологии, технологии промышленных производств и других областях, показывает, что за узловую концепцию природоохранной стратегии в крупнейших горно-металлургических регионах целесообразно взять концепцию материально-энергетического баланса и его оптимизацию (в ее наиболее совершенной форме – эксергетической). Понятие «эксергия» способно объединить три аспекта оптимизации: термодинамический, технико-экономический и экологический, а баланс эксергии интегрирует все позитивные и негативные последствия хозяйствен-

ной и научной деятельности человечества и отражает комплексный характер процессов протекающих не только в промышленных, но и сельскохозяйственных технологиях и окружающей среде. За рубежом имеется опыт составления эксергетического баланса отдельных регионов, государств и имеются соответствующие законодательные акты. Эксергетическая концепция не подвержена инфляции, галопирующему росту цен и социальным катаклизмам, она «обладает изоморфностью независимо от разнообразия явлений и систем» и восходит своими истоками к научному наследию выдающихся естествоиспытателей, философов, экологов: С.А. Подолинского, В.А. Вернадского, Д.И. Менделеева, Н.Ф. Федорова, Н.М. Федоровского, Д. Гиббса, Р. Клаузиса, Юджина и Генри Одумов, Н.Н. Моисеева и многих других.

Ну а что сейчас? Кризис, смутное время не проходит. Мы должны не забывать, что причина экологических проблем и кризиса экономики общая – это следствие стремления людей получить максимальную прибыль (Б. Коммонер, Технология прибыли, М.: 1976 г.), эксплуатации одних групп населения другими, т.е., прежде всего, причины социально-экономические, а не только научно-технические. Эффективность использования энергии обратно пропорционально благосостоянию многих членов общества соответственно и действия должны быть адекватные. Опыт, который накопило человечество, показывает, что эффективный выход из кризиса возможен лишь на основе жесткого целенаправленного государственного управления усилиями всех членов общества. Консолидация действий всех членов общества в экстремальных условиях намного эффективнее, чем конфронтации. Техника и технология накопили много рациональных предложений, направленных на стабилизацию энергетического баланса, как отдельных агрегатов, производства, так и промышленных узлов, регионов и государства в целом. Здесь на первый план выходит информационное обеспечение эффективного решения проблемы, чтобы действовать расчетливо, сбалансировано, а не по принципу – «наше дело сталь варить, а ваше дело дым ловить». Это актуальнейшая проблема управления большими системами, но проблема несколько иного качества.

Особое место в кризисе металлургии принадлежит коксодоменному производству как наиболее энергоемкому, с высоким экологическим воздействием на окружающую среду. Коксовые батареи и доменные печи, не только доминирующие потребители топлива, но своими вторичными энергоресурсами (коксовым и доменным газами, паром) они "конкурируют" с внешними поставщиками энергии в смысле взаимозаменяемости некоторых видов топлива и электроэнергии. Эти гигантские газогенераторы, во многом формирующие энергобаланс металлургического комбината, являются двигателем современной черной металлургии; в кризис техническое состояние и работоспособность этих агрегатов играют исключительную роль. Доменные печи, оборудованные мощными газоочистными сооружениями и переводящие до 80 – 90 % поступающей серы в шлак, обладают уникальными технологическими возможностями по переработке не экологических видов топлива, промышленных и бытовых отходов. Предварительные расчеты и анализ

показывают, что необходима структурная перестройка коксодоменного производства и рациональное энерготехнологическое комбинирование при работе доменных печей в различных режимах.

Рассмотрим некоторые полезные для условий кризиса пожелания:

- Не останавливать коксовые батареи; жизненно необходимо, чтобы черный куст в металлургии находился в работоспособном состоянии. Опыт показывает, что идеи «замкнутых энергетических балансов» и «спасайся (обогащайся), кто как может» оказались не совсем прогрессивными и на повестку дня снова выходят вопросы энерготехнологического комбинирования, кооперации и др. Например, ОАО «Запорожсталь» передает часть избыточной теплоты среднего и низкого температурного потенциала, которой с избытком на предприятии полного металлургического комплекса, на отопление города и прочие нужды. По-видимому, рациональным окажется использование коксового газа для металлургических технологий, а коксовые батареи поддерживать в работоспособном состоянии с применением КДС.
- Дополнительные затраты на подготовку шихты более чем окупятся экономией, полученной при ведении доменного процесса, и являются величиной первого ранга в направлении сокращения расхода кокса и общих энергетических затрат на производство металла и в условиях кризиса. Целесообразно организовать «запас» мощностей по производству кокса и железорудного сырья высокого качества, организовав отсев мелочи перед подачей в доменные печи и проведя иные мероприятия по повышению качества шихты.
- Повышение КПД доменного процесса в изменяющихся шихтовых, энергетических и конъюнктурных условиях связан со стабилизацией и совершенствованием теплового и газодинамического режима, уменьшением тепловых потерь рабочего пространства доменных печей за счет организации центрального распределения газового потока в печах различного объема. В этот период возрастает значение превентивной подачи физической теплоты в доменную печь (таблицы 1 и 2). Это обеспечивается высокотемпературным дутьем, нагревом природного газа и др.

Таблица 1 – Относительные приросты расходов кокса (ОПРК) и условного топлива (ОПРТ) при изменении содержания кислорода в дутье с 13 до 25 % и различном нагреве дутья

Показатели	Температура доменного дутья, °С			
	900	1100	1300	1500
ОПРК, кг кокса/ на дополнительную тонну чугуна	615 - 628	613 - 618	613 - 618	613 - 618
ОПРТ, кг условного топлива/ на дополнительную тонну чугуна	614 - 627	576 - 602	568 - 602	570 - 613

Таблица 2 – Величины ОПРК и ОПРТ при нагреве дутья с 900 до 1500 °С и различном содержании азота в дутье

Показатели	Содержание кислорода в дутье, %					
	11	13	15	17	21	25
ОПРК, кг кокса/ на дополнительную тонну чугуна	270-284	270-284	269-283	263-298	267-296	265-295
ОПРТ, кг условного топлива/ на дополнительную тонну чугуна	334-391	316-295	300-291	287-305	265-350	253-390

Принятый в Украине курс на вдувание пылеугольного топлива в доменные печи при полном сокращении подачи природного газа не является наиболее прогрессивным вариантом выплавки чугуна. Во первых, углей на Украине для пылевдувания пока нет в достаточном количестве и надо строить шахты или покупать за рубежом, во вторых, подача в доменные печи природного газа и кислорода улучшает выход и теплоту сгорания доменного газа, а его использование в дальнейших металлургических переделах позволяет стабилизировать газовый баланс предприятия. Опыт металлургии США, где в домны вдувается до 100 – 150 м³ природного газа на тонну чугуна и подается 10 – 15 % металлошихты, целесообразно использовать и в Украине. Природный газ является важнейшей технологической составляющей выплавки чугуна и подача его в доменные печи нагретым в определенных количествах весьма эффективна. Необходимо активнее развивать опыт ОАО «Северсталь» и «Свободный Сокол» по подогреву природного газа за счет теплоты от охлаждения доменных печей.

Чтобы в период кризиса интенсивность выплавки металла уменьшить, поддержать на рабочем уровне газораспределение в печи, выход доменного газа и его теплоту сгорания с наименьшими потерями по производству и сокращении простоев мощнейших агрегатов, целесообразно подавать в доменные печи нагретый азот. Это повысит и надежность технического состояния агрегатов. Авторы обладают «ноу-хау» по работе доменных печей с использованием нагретого азота, апробированного при задувках доменных печей ЗСМК и Кривого Рога. В таблице 3 показана возможность эффективного и максимального использования тепловой мощности воздухонагревателей системы Калугина в доменной печи, работающей с пониженной интенсивностью плавки. Увеличение величины коэффициента использования топлива (КИТ) в нижней ступени теплообмена (Н.С.Т) и в печи при повышении нагрева дутья и содержании в нем нагретого азота позволит добиться высоких показателей по энергоиспользованию в условиях кризиса. Здесь есть, над чем работать.

В период энергетического кризиса возрастает роль структурной оптимизации доменного производства, умения работать на переменных режимах и гибкая, экономичная перестройка их согласно конъюнктуры рынка и иных ограничений. Технолог при решении энергетических и экологических проблем рассматривает свою задачу слишком узко, принимая во внимание лишь единичный сегмент того сложного энерготехнологического цикла, каким является производство металла. Подчеркнем особую роль в решении комплексных проблем в условиях кризиса системных аналитиков – специалистов, которые в существующих экстремальных ситуациях могут комплексно и профессионально анализировать проблему и выработать конкретные решения. Таких специалистов немного и целесообразно в ближайшее время организовать их подготовку и переподготовку.

Таблица 3 – Прогнозные показатели вдувания нагретого азота в доменную печь № 9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог по теплоэнергетической модели И.Д. Семикина

Параметры доменной плавки	Базы		Проект без NG					Перспективные доменные плавки без NG				
	реальная	виртуальная	18 % кислорода в дутье	4	5	6	7	8	9	10	11	12 % кислорода в дутье
Содержание кислорода в дутье, %	25,4	21	18	18	18	15	15	15	12	12	12	12
Температура дутья, °С	1080	1100	1100	1100	1100	1300	1300	1300	1500	1500	1500	1500
Влажность дутья, г/м ³	10	10	10	10	30	10	10	30	10	10	30	30
Производительность печи, т/сутки	7800	7200	6360	7128	7104	6192	6864	6768	6576	7032	7152	7152
Производительность печи, %	100	92,3	81,5	91,4	91,1	79,4	88	86,8	84,3	90,2	91,7	91,7
Расходы на тонну чугуна:												
• кокса, кг	489	545	536	541	550	502	505	513	472	474	482	482
• природного газа, м ³	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• условного топлива, кг	596	546	536	540	550	500	502	510	467	469	476	476
• технологического кислорода, м ³	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• технологического азота, м ³	0	0	205	207	208	422	417	422	652	664	653	653
Расход технологического азота, м ³ /мин	0	0	907	1024	1024	1814	1986	1986	2979	3243	3224	3224
Расход дутья, м ³ /мин	6350	6350	6350	7167	7167	6350	6950	6950	6950	7567	7567	7567
Выход влажного колошникового газа, м ³ /час	580100	551100	512800	551000	602952	497400	561700	568230	534000	572500	588400	588400
Теплота сгорания колошникового газа, кДж/м ³	4066	3327	2985	2980	3100	2626	2621	2738	2257	2250	2363	2363
Общая тепловая мощность печи, МВт	947	795	682	769	769	566	621	621	497	541	541	541
Условно тепловая мощность в Н.С.Г., МВт	260	272	235	267	267	229	253	252	249	272	272	272
КИТ в нижней ступени теплообмена	0,293	0,364	0,369	0,369	0,369	0,420	0,420	0,420	0,478	0,478	0,478	0,478
• кокса в том числе и	0,355	0,364	0,369	0,369	0,369	0,420	0,420	0,420	0,478	0,478	0,478	0,478
• природного газа	-0,061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Теоретическая температура горения углерода кокса в сухом дутье, °С	2148	2278	2205	2205	2205	2214	2214	2214	2145	2145	2145	2145
Температура колошника, °С	226	172	231	242	247	242	245	257	254	254	269	269
Степень использования СО, %	39,7	42,1	42,5	42,4	41,9	44,5	44,4	43,9	46,4	46,2	45,8	45,8
Степень прямого восстановления железа по М.А. Павлову, rd, %	40,3	55,5	54,6	55,1	49,8	56,8	57,4	51,7	59,1	60,4	54,4	54,4

А далее: будет чугун, будет и сталь. Будет сталь – будет и Украина. А потом можно упражняться и в структурной перестройке топливно-энергетического комплекса, металлургии, экономике Украины в целом. Но это уже иной вопрос.

Автор с огромной признательностью вспоминает своих товарищей по труду, совместно разрабатывающих энергоэкологические вопросы в металлургии: А.Б. Анохина, В.Г. Зайцева, А.Ф. Ковтуна, И.Г. Костылькова, Н.Е. Рехтина, В.С. Степанова, И.А. Султангузина, Г.Т. Цыганкова, П.А. Шомова, С.Н. Ярунина и других.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об информационном обеспечении энергетической безопасности Украины / А.В. Бородулин, Б.Н. Вишневский, Л.Д. Чумаков и др. // Труды между. Конференции «Экология и теплотехника – 1996» (доп. доклады и тезисы). – Днепропетровск, 1996. – С. 3 – 8.
2. Аналитические исследования работы доменной печи при применении пылеугольного топлива, природного газа и кислорода / А.В. Бородулин, А.М. Камардин, С.Л. Ярошевский и др. // Металлургия и коксохимия: Сборник. – Киев: Изд. «Техніка», 1982. – № 76. – С. 70 – 78
3. Математические модели оптимального использования ресурсов в доменном производстве / А.В. Бородулин, Х.Н. Гизатуллин, Ю.Г. Ярошенко и др. // УНЦ АН СССР. – Свердловск., 1985. – 148 с.
4. Работа доменной печи с пониженной концентрацией кислорода в дутье / М.Д. Жембус, А.И. Васюченко, А.В. Бородулин и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1987. – № 4. – С. 11 – 12.
5. Костыльков И.Г. Новый подход к оценке природных ресурсов в производстве минеральных удобрений / И.Г. Костыльков // Обзор. информация. Сер. Горнохимическая промышленность. – М.: НИИТЭХИМ, 1990. – 102 с.
6. Энергоемкость производства чугуна и пути ее снижения / Бородулин А.В, Марьясов М.Ф., Янковский А.С. и др. // Проблемы энергосбережения: Сб. науч.тр.: Вып. 6. – Киев: «Наукова думка», 1991. – С. 31 – 42.
7. Экологические основы функционирования металлургического предприятия / А.В. Бородулин, А.Ф. Ковтун, И.Г. Костыльков, В.С. Степанов и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1990. – № 1. – С. 53 – 55.
8. Применение методов термодинамического анализа к разработке природоохранной концепции в горно-металлургическом регионе / А.В. Бородулин, А.Ф. Ковтун, И.Г. Костыльков, В.С. Степанов и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1992. – № 1. – С. 74 – 76.
9. О научном обеспечении энергосберегающей и природоохранной деятельности в горно-металлургических регионах / Б.А. Кустов, Н.Е. Рехтин, В.С. Степанов, А.В. Бородулин и др. // Сталь. – 1992. – № 12. – С. 75 – 81.
10. Математическое моделирование и оптимизация как метод решения проблем энергосбережения и экологии промрайонов / А.Б.Анохин, В.И. Ситас, И.А.

Султангузин, А.В. Бородулин и др. // Теплоэнергетика. – 1994. – № 6. – С. 38 – 41.

11. Бородулин А.В. Научные основы рационального использования энергетических ресурсов / А.В. Бородулин. Докторская диссертация в форме научного доклада. – Екатеринбург, 1994. – 47 с.

12. Энергобаланс и проблемы энергосбережения в черной металлургии / А.Б. Анохин, А.В. Бородулин, В.Г. Голуб и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1995. – № 3. – С. 55 – 58.

13. Анализ изменений экологических и энергетических балансов металлургических комбинатов при использовании твердых отходов в доменном производстве / С.Н. Ярунин, И.А. Султангузин, А.В. Бородулин и др. // Бюллетень ЦИИИ ЧМ. – 1995. – № 12. – с. 38 – 41.

14. Перспективы и проблемы использования бурых углей в металлургии / А.В. Бородулин, Б.Н. Вишневский, Н.М. Можаренко, А.Б. Анохин и др. // Уголь Украины. – 1996. – № 9. – С. 34 – 38.

15. Энергоэкологический анализ работы меткомбинатов в нестационарных условиях / Р.С. Айзатулов, А.В. Бородулин., Н.Е. Рехтин и др. // Труды междунар. конференции «Экология и теплотехника – 1996». – Днепропетровск, 1996. – С. 169.

16. Проблемы и политика энергосбережения на Западно-Сибирском металлургическом комбинате / Р.С. Айзатулов, А.В. Бородулин, Н.Е. Рехтин, В.С. Степанов и др. // Сталь. – 1997. – № 8. – С. 90 – 97.

17. О научной поддержке принятия управляющих решений по сокращению энергоемкости производства металла / А.Г. Байбуз, А.В. Бородулин, О.В. Дубина и др. // Металлургическая теплотехника: Сб. научн. трудов Национальной металлургической Академии Украины. Том 4. – Днепропетровск, 2001. – С. 173 – 90.

18. О рациональном использовании марганцевых ресурсов Украины / А.В. Бородулин, С.Т. Войтанник, А.Л. Чайка и др. // Современные проблемы металлургии. Сучасні проблеми металургії Наукови праці. НМетАУ. Том 3: Матеріали науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи одержання конкурентноздатної продукції в гірничо-металургійному комплексі України» (24 – 25. 10. 2000 р.). – Дніпропетровськ: Системні технології, 2001. – С. 208 – 218.

19. Тепловая работа коксовой батареи / А.В. Бородулин, Т.А. Бородулин, А.П. Васильев и др. // Металлургическая теплотехника: Сб. науч. трудов НМАУ. – Днепропетровск, 2002. – Том 8. – С. 48 – 55.

20. Энергетический анализ тепловой работы коксовых батарей / А.С. Афанасьев, А.В. Бородулин, И.А. Султангузин и др. // Химия твердого топлива. – 2003. – № 1. – С. 69 – 76.

21. Домна в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел. – Кривой Рог: СП «Мир», 2004. – 412 с.

22. Системный анализ влияния коксохимического производства на энерго-технологические, экологические и экономические показатели метал-

лургического комбината / И.А. Султангузин, В.И. Ситас, А.В. Бородулин и др. // Кокс и химия. – 2006. – № 5. – С. 44 – 53.

23. Сравнительная оценка воздействия вредных выбросов металлургического комбината на здоровье населения по методам расчета смертности и сокращения жизни / И.А. Султангузин, В.И. Ситас, П.А. Шомов, С.Н. Ярунин, А.П. Яшин А.В. Бородулин // Труды III научно-практ. конференции «Металлург. теплотехника: история, современное состояние, будущее. К столетию со дня рождения М.А. Глинкова». – М.: МИСиС, 2006. – С. 556 – 560.

24. Математическое моделирование процессов нестационарного нагрева угольной шихты в коксовых печах / А.П. Яшин, И.А. Султангузин, А.Н. Беляничев, А.В. Бородулин // Материалы VII междуна. научно-техн. конф. «Тепло-массообменные процессы в металлургических системах». 6 – 8 сентября 2006 г. Ред. Е.А. Капустин, П.С. Харлакин. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – С. 91 – 96.

25. Задувка доменной печи объемом 5000 м³ с применением нагретого азота / А.В. Бородулин, К.А. Дмитренко, Г.П. Костенко и др. // Сталь. – 2006. – № 9. – С. 6 – 9.

26. Тепловая работа ограждения доменных печей и новые методы ее контроля / А.В. Бородулин, Я.М. Гордон, О.В. Дубина, С.П. Суцев, А.Л. Чайка, Ю.Г. Ярошенко // Топливо-энергетический комплекс: Труды междуна. научно-техн. конференции. Том 4. Часть 2. АИН им. А.М. Прохорова. – Екатеринбург: РУО АИН, 2007. – С. 190 – 97.

27. Калугин Я.П. Эволюция доменных воздухонагревателей / Я.П. Калугин, В.Н. Прокопьев, В.Л. Советкин. // Творческое наследие Б.И. Китаева: труды междуна. науч. практ. конференции 11 – 14 февраля 2009 г. Том 28. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – С. 71 – 83.

28. Бородулин А.В. Тепловая работа печей «Clarence» в современном измерении / А.В. Бородулин // Творческое наследие Б.И. Китаева: Труды Междуна. науч. – практ. конференции 11 – 14 февраля 2009 г. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – С. 287 – 289.

29. Николаев А.В. Структурные изменения топливо-энергетического комплекса и их влияние на производство стали / А.В. Николаев // Сталь. – 2008. – № 10. – С. 116 – 23.

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
И СПЛАВОВ**

УДК 669.71

Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

* Российская инженерная академия, г. Москва

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ НА ЗАВОДАХ РОССИИ

Проанализированы состояние и конструкции алюминиевых электролизеров на заводах России и предложены пути их модернизации.

Are analysed a condition and designs aluminium Cells at factories of Russia and ways of their modernization are offered.

Промышленное производство алюминия осуществляется методом электролиза оксида алюминия (Al_2O_3) в расплаве криолита ($3NaF \cdot AlF_3$). Этот процесс осуществляется в электролизерах, аноды которых имеют две разные конструкции. В начале промышленного производства в качестве анодов использовались предварительно обожженные углеграфитовые блоки (ОА), которые затем – по экономическим соображениям – были заменены на самообжигающиеся аноды (СОА), предложенные инженером К. Содербергом, которые изготавливали из анодной массы – смеси электродных коксов и каменноугольного пека. Переход на аноды Содерберга позволил резко сократить себестоимость алюминия и снизить инвестиции в строительство алюминиевых предприятий. Поэтому электролизеры Содерберга, внедрение которых началось в 1926 г., становятся доминирующей конструкцией на всех заводах мира, а сила тока на них достигает 170 кА.

Несмотря на экономическую привлекательность электролизеров Содерберга, они обладают двумя основными недостатками:

- сдерживают дальнейший рост силы тока и производительности;
- при их эксплуатации происходит выделение смолистых соединений с поверхности анода, превышающее допустимые санитарные нормы и содержащих полиароматические углеводороды (ПАУ), значительная часть которых является канцерогенными и относится к первому классу опасности.

В связи с этим, начиная со второй половины XX века, началось широкое внедрение электролизеров с предварительно обожженными анодами, которые практически не выделяют смолистых соединений. Сила тока на них достигла 400 кА, и есть возможность его дальнейшего роста. В настоящее время в мировой практике электролизеры ОА стали доминирующей конст-

рукцией и на них производится более 85 % первичного алюминия. Однако электролизеры Содерберга из экономических соображений продолжают работать на заводах Китая, Бразилии, Индии и ряде других стран.

Развитие отечественной алюминиевой промышленности проходило в несколько этапов. В 1931 г на базе электроэнергии Волховской ГЭС был пущен Волховский алюминиевый завод, оснащенный электролизерами с обожженными анодами. В довоенное время были введены в эксплуатацию Днепровский (г. Запорожье) и Уральский (г. Каменск-Уральский) заводы. В годы второй мировой войны были разрушены Волховский и Днепровский заводы, но введена в эксплуатацию первая очередь Новокузнецкого (1943 г.), и начат пуск Богословского (г. Краснотурьинск) завода, и проводилось восстановление Волховского и Днепровского заводов. После войны быстрыми темпами были возведены алюминиевые заводы в г. Канакер (Армения, 1950 г.), г. Кандалакша (Мурманская обл., 1951 г.), Надвойцы (Карелия, 1954 г.) и в г. Сумгаит (Азербайджан, 1955 г.). Все эти заводы (за исключением Волховского) оснащены электролизерами с анодом Содерберга и боковым подводом тока (БТ) к нему. Начиная с 1959 г. вновь вводимые заводы оснащались электролизерами с анодом Содерберга, но с верхним токоподводом (ВТ). Таким типом электролизеров оснащены корпуса Волгоградского (1959 г.), Иркутского (г. Шелехов, 1962 г.), Красноярского (1964 г.), Братского (Иркутская область, 1966 г.) второй очереди Новокузнецкого (1959 г.) заводов. В 1985 г. начато строительство Саянского (г. Саяногорск, Хакасия) завода, оснащенного электролизерами ОА. И лишь 20 лет спустя построены Хакасский алюминиевый завод (г. Саяногорск) и 5-ая серия Иркутского алюминиевого завода, оснащенные сверхмощными электролизерами ОА на силу тока более 300 кА. Состав электролизеров на заводах России по состоянию на начало 2008 г. приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Парк электролизеров на заводах России

Заводы	Тип, количество (шт.) и сила тока (кА) электролизеров						Годовая производ., ≈ тыс. т.
	БТ		ВТ		ОА		
	колич.	ток	колич.	ток	колич.	Ток	
ВАЗ	–	–	–	–	160	50	25
УАЗ	272	72	–	–	162	162	130
НКАЗ	76	88	351	140	–	–	300
	328	104	180	170	–	–	
НАЗ	260	76	–	–	98	90	80
КАЗ	330	85	–	–	–	–	75
БАЗ	360	76	–	–	–	–	180
	180	95	–	–	–	–	
ВГАЗ	–	–	246	138	–	–	160
	–	–	176	170	–	–	
ИркАЗ	–	–	178	138	200	320	470
	–	–	368	168	–	–	
КРАЗ	–	–	1858	160	278	140-180	1000
БРАЗ	–	–	2160	165	–	–	1000
	–	–	142	105-125	–	–	
САЗ	–	–	–	–	344	200	540
	–	–	–	–	338	300	
ХАЗ	–	–	–	–	320	320	300
Итого	1806		5659		1900		4260

В стадии строительства находятся Тайшетский и Богучанский (Иркутская обл.) заводы, на которых будут установлены электролизеры на 320-400 кА.

В начале 2009 г. в России работали 12 алюминиевых заводов, на которых установлены 9381 электролизер (таблица 2) различных типов.

Таблица 2 – Состав электролизеров на заводах России

Тип электролизера	Количество	
	штук	%
Содерберг, боковой токоподвод (БТ)	1806	19,3
Содерберг, верхний токоподвод (ВТ)	5659	60,4
Электролизер с обожженными анодами (ОА)	1900	20,3
Всего	9365	100,0

Таким образом, в России доминирующим типом являются электролизеры Содерберга, которые составляют почти 80 % всего действующего парка электролизеров, и на них производится около 70 % первичного алюминия, вырабатываемого в стране. Столь неудовлетворительная структура отечественного парка электролизеров, по нашему мнению, является следствием трех основных факторов:

1) Замена действующих электролизеров Содерберга на современные электролизеры требует значительных затрат. Так, согласно расчетам, произведенным компанией VAW (Германия), замена электролизеров второй очереди Новокузнецкого завода потребует около 750 млн. долл., или около 3750 долл./т годовой производительности. Таким образом, для реконструкции всех электролизеров Содерберга, установленных на заводах России, потребуется более 11 млрд. долл., а также значительные средства для создания мощностей по производству обожженных анодных блоков.

2) Санитарные нормы на выброс вредных веществ в атмосферу в России в ряде случаев – более жесткие, чем в некоторых европейских странах. Однако количественное измерение большинства ингредиентов, выбрасываемых в атмосферу, невозможно, а методики их определения крайне несовершенны, что приводит к значительному занижению отчетных данных [1, 2]. Поэтому плата за выбросы вредных веществ в атмосферу значительно меньше, чем в ряде зарубежных стран, что экономически не стимулирует замену устаревшей конструкции электролизеров.

3) Замена электролизеров Содерберга на современную технику приведет к увеличению себестоимости алюминия в пределах 40-100 долл./т. Al [3], что снизит доходы компании РУСАЛ – собственника алюминиевой промышленности в России – от 100 до 300 млн. долл. США/год.

При современном состоянии технологии производства алюминия и улавливания выделяющихся вредностей, по нашему мнению, альтернативы перевода производства на электролизеры с обожженными анодами не существует, что и подтверждает мировой опыт.

Таким образом, в развитии отечественной алюминиевой промышленности можно выделить три этапа:

- существующее положение;
- переходный период, в течение которого будут реализованы меры по замене электролизеров Содерберга на электролизеры ОА;
- далекая перспектива (по данным [6], не менее 20-30 лет), под которой подразумевается полная ликвидация всех электролизеров Содерберга.

Многочисленные предложения, направленные на радикальное снижение вредных выбросов (прежде всего ПАУ) в атмосферу, потребуют инвестиций, сопоставимых со строительством новых мощностей. Большие надежды, возлагаемые в РУСАЛе, на применение коллоидной анодной массы, по нашему мнению, преувеличены [6]. Поэтому предложения Российской инжиниринговой компании (РИК) по решению экономических и экологических аспектов модернизации электролизеров Содерберга [6] нельзя признать приемлемыми даже в переходный период. Сроки полного перевода всего отечественного парка электролизеров на аноды ОА зависят от множества объективных и субъективных факторов, предвидеть которые в настоящее время невозможно.

Наибольший практический интерес представляет переходный период, в течение которого необходимо принять такие технические и организационные решения, внедрение которых не потребует больших инвестиций, но улучшит технико-экономические и экологические показатели серий и будет способствовать снижению затрат в будущем при внедрении электролизеров ОА. К таким мероприятиям могут быть отнесены: «сухая» очистка газов; автоматизированная централизованная система раздачи глинозема по электролизерам; автоматизированная система питания электролита глиноземом и др. Наиболее дорогостоящим мероприятием может оказаться строительство мощностей по производству обожженных анодных блоков. В этот же период при проведении капитального ремонта электролизеров Содерберга без изменения системы подвода тока к аноду имеется возможность реализовать некоторые технические решения по совершенствованию их конструкции, которые не потребуют дополнительных вложений [2]. По нашему мнению в переходный период необходимо сосредоточить усилия на следующих направлениях деятельности:

- организационно-административном, ускоряющем выход отрасли из финансового кризиса и стимулирующем модернизацию производственных мощностей;
- техническом, ориентированным на решение технологических вопросов и улучшение технического состояния электролизеров Содерберга;
- экологическом, ориентированным на повышение экологической безопасности электролизеров Содерберга.

Ниже приведены предлагаемые основные мероприятия и их технико-экономическое обоснование.

ОРГАНИЗАЦИОННО-АДМИНИСТРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

1) Организовать отпуск электроэнергии алюминиевым заводам с ГЭС с оплатой поставщикам после реализации алюминия доли прибыли, пропорциональной ее доли в себестоимости металла.

2) Возвращать алюминиевым заводам до 80 % налога за выбросы вредных веществ в окружающую среду, для целенаправленного финансирования природоохранных мероприятий.

3) Установить железнодорожные тарифы для поставки или получения грузов маршрутами более 1000 т, так как они не требуют обработки на железных дорогах.

4) Рассмотреть возможность снижения налога на прибыль алюминиевых заводов в период финансового кризиса в мире.

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Электролизеры с анодом Содерберга с боковым подводом тока (БТ) в настоящее время работают на силе тока 60-100 кА, в основном расположены продольно в одно- и двух пролетных одноэтажных корпусах высотой 11-16 м, шириной 21-27 м. При четырехрядном расположении ширина корпусов составляет 36-42 м. Из-за невысокой степени механизации технологических процессов условия труда технологического персонала, особенно при обслуживании анодного узла, крайне дискомфортны. Удельные трудозатраты технологического персонала (долл. США/т Al) в 4-5 раз больше, чем на электролизерах большей производительности (рисунок 1), чему способствует и низкая сила тока. Используемые шторные укрытия рабочего пространства электролизера несовершенны. Поэтому отсос газа достигает 10 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$, то есть на порядок больше, чем на других типах электролизеров. При этом пространство над анодом не герметизировано, что является причиной эмиссии в атмосферу смолистых соединений, содержащих ПАУ. Конструкция подвода тока к аноду исключает возможность увеличения тока выше 100-105 кА, а, следовательно, и их производительности. Корпуса с двухрядным расположением электролизеров этого типа, введены в эксплуатацию 50-75 лет назад, их конструкция и техническое состояние не позволяют разместить в них современные электролизеры большой производительности. Тем более, не могут быть использованы для этой цели корпуса с четырехрядным расположением электролизеров. Таким образом, коренная реконструкция серий, оборудованных электролизерами Содерберга БТ, технически, экономически и экологически нецелесообразна. Существующие здания корпусов из-за значительного износа не могут быть использованы в дальнейшем. Сроки и условия ликвидации этих мощностей должны быть согласованы с региональным руководством, так как они используются в структуре заводов, в ряде случаев, являющихся градообразующими (БАЗ, НАЗ, КАЗ).

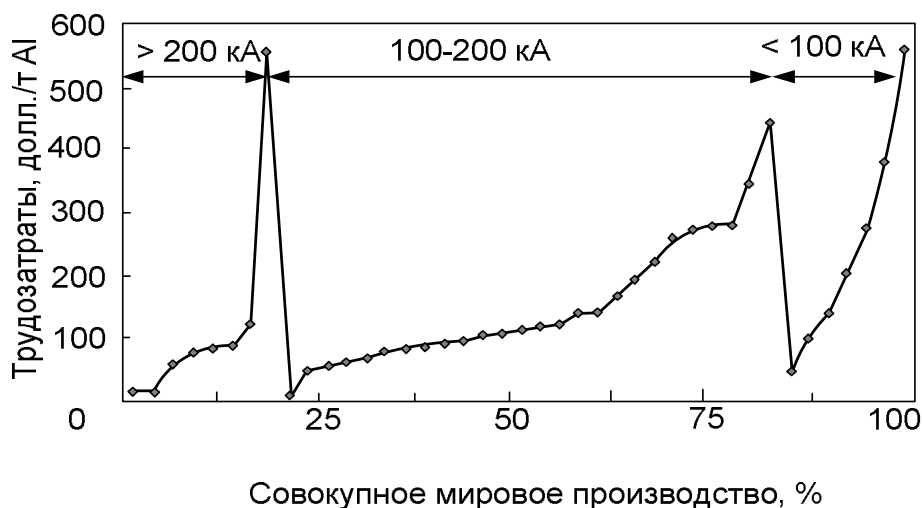


Рисунок 1 – Трудозатраты на производство алюминия (долл. США/т. Al) в зависимости от силы тока

Электролизеры с анодом Содерберга с верхним подводом тока (ВТ) являются доминирующей конструкцией электролизеров и располагаются в однотипных корпусах шириной 27 м. Из 66 действующих корпусов, оснащенных электролизерами Содерберга ВТ, лишь 10 корпусов являются одноэтажными, в которых размещены электролизеры типа С-2 и С-3, с проектной силой тока 120 кА. Подавляющую часть ванн, размещенных в двухэтажных корпусах, составляют электролизеры типов С-8Б и С-8БМ, спроектированные на силу тока 155 кА. В настоящее время все электролизеры интенсифицированы: сила тока составляет 140-145 и 165-175 кА для типов С-2, С-3 и С-8Б, С-8БМ соответственно. Рост силы тока привел к увеличению выделения тепла во всех токоведущих элементах, но теплоизоляция катода не изменялась. Поэтому пришлось резко поднять столб металла в шахте, увеличив поверхность электролитной корки, так как в противном случае перегрев электролита был бы неизбежен. Интенсификация электролизеров по току вызвала рост температуры поверхности коксо-пековой композиции (КПК) в анодах не менее чем на 10 °С. По данным М. Сорлье [4], это увеличило скорость эмиссии ПАУ из анодов примерно в 7 раз. Однако радикальных мер по снижению этих вредных выбросов принято не было, так как в соответствии с действующей методикой [5] учитываются только те выбросы ПАУ из анода, которые происходят в период перестановки штырей.

В последние годы на заводах успешно внедрялись системы автоматического питания электролита глиноземом (АПГ). На КРАЗе практически все корпуса, оснащенные электролизерами Содерберга, оборудованы этими системами. Внедрение систем АПГ, особенно в сочетании с централизованной автоматизированной раздачей глинозема по электролизерам, является практически единственным возможным фактором увеличения производительности труда в действующих корпусах в России, которая в настоящее время в 3-5 раз ниже, чем на передовых зарубежных предприятиях. При внедрении систем АПГ конструкция электролизера не претерпела заметных изменений,

хотя совершенно очевидно, что в этом случае объем электролита может быть существенно уменьшен. Разработанная методика определения необходимого количества электролита в зависимости от способа введения в него глинозема [2], позволила проанализировать состояние этого важного параметра на электролизерах различных типов. Сравнение электролизеров С-8БМ и РА-300 (ХАЗ), на которых установлены системы АПГ, показал, что фактическая удельная масса электролита (кг/кА) на электролизерах КРАЗа почти в 1,5 раза больше, чем на электролизерах ХАЗа. Следовательно, с внедрением системы АПГ при очередном капитальном ремонте электролизера можно уменьшить габариты катодного устройства, сократив потребность в материалах и снизив затраты на капитальный ремонт. Как показывает анализ, снижение объема электролита в шахте влечет за собой снижение выбросов фтора в атмосферу; расход AlF_3 РА-300 составляет не более 18, а на электролизерах КРАЗа – около 40 кг/т Al.

Анализ катодного устройства подины электролизера типа С-8БМ выявил ряд конструктивных недостатков, а именно:

- проектная подовая плотность тока на ней составляет только $0,4 \text{ A/cm}^2$, что с современных позиций является совершенно недостаточной и является основной причиной низкого выхода по току и повышенной эмиссии фтора в атмосферу;
- ширина периферийных торцевых швов составляет 295 мм, что превышает разумные пределы, а ширина периферийных продольных швов составляет 140 мм, что значительно шире межблочных швов, которые составляют около 40 мм, что негативно влияет на срок службы подины;
- использование углеграфитовых блоков шириной 200 мм в бортовой футеровке не обеспечивает отвод необходимого количества тепла от расплава через борт ванны и препятствует созданию оптимальной формы рабочего пространства (ФРП);
- применение составной подовой секции, состоящей из двух подовых блоков разной длины, снижает стойкость подины и ухудшает распределение тока в ней.

Как показали расчеты [2], при использовании поточной обработки корки, существующие размеры шахты обеспечивают работу электролизера только при 8-9 кратной обработке в сутки. При внедрении систем АПГ объем электролита может быть уменьшен, что обеспечит работу электролизера при более стабильной концентрации глинозема в электролите. Поэтому целесообразно уменьшить расстояние от анода до борта шахты до минимально возможной величины. Расчеты показали, что при незначительном уменьшении ширины секции колокола можно сократить расстояние от анода до борта шахты до 350 мм по длинной стороне, и до 550 мм в торце. С целью устранения отмеченных недостатков предлагается:

- сократить расстояние от анода до борта шахты; по длинной стороне до 350 мм, а в торце – до 565 мм., что позволит установить дополнительную подовую секцию;

- вместо углеродистого бортового блока установить карбидокремниевую плиту – по аналогии с электролизером РА-300;
- изменить конфигурацию футеровки шахты так, как это показано на рисунке 2.

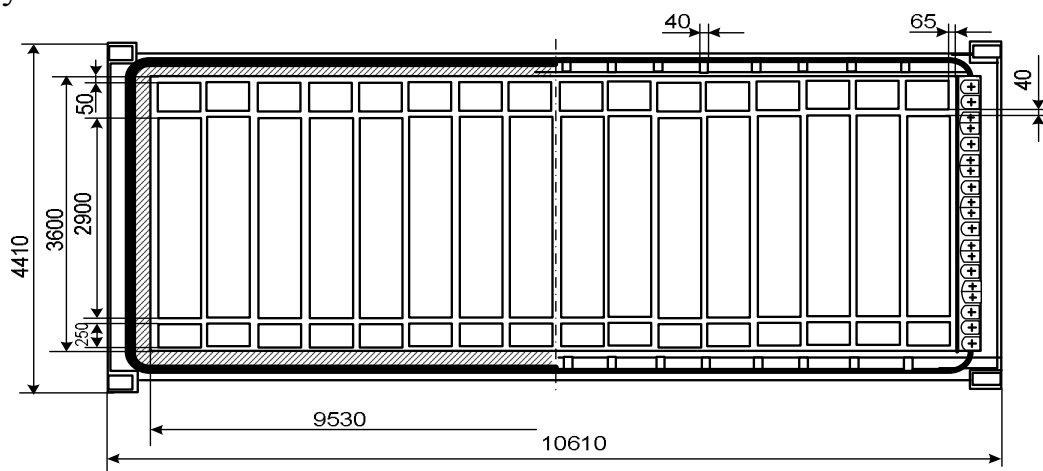


Рисунок 2 – Конфигурация предлагаемого варианта подины

Размеры катодного кожуха будут уменьшены – он будет уже на 780 мм, и короче на 200 мм, что позволит оптимизировать конструкцию ошиновки, расположенную в промежутке между торцами катодных кожухов. Ориентировочные расчеты показали, что футерованное катодное устройство будет легче существующего приблизительно на 20 %, и, следовательно, заметно дешевле. Кроме этого, подовая плотность тока на электролизере С-8БМ увеличится на 16 % ($0,464 \text{ A/cm}^2$), что благотворно скажется на выходе по току и эмиссии фтора в атмосферу. Целесообразно также оценить экономику замены существующего контрфорсного кожуха на шпангоутный, который хорошо зарекомендовал себя в зарубежной практике и успешно работает на электролизере РА-300 ХАЗа.

Следует отметить, что предлагаемое катодное устройство может быть применено и на электролизерах ОА, сила тока на котором может быть доведена ориентировочно не менее чем до 200 кА. Это позволит снизить затраты на внедрение электролизеров ОА на последнем этапе реконструкции алюминиевых заводов.

Таким образом, на действующих электролизерах типа С-8БМ, оснащенных системой АПГ, проведение модернизации электролизера во время капитального ремонта не только не потребует дополнительных инвестиций, но и снизит затраты на капитальный ремонт ориентировочно на 700-750 тыс. руб./электролизер. Более подробно технико-экономические аспекты предлагаемой модернизации освещены в работе [2].

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Важнейшей задачей, подлежащей обязательному решению при модернизации электролизеров Содерберга, является снижение выхода ПАУ с по-

верхности анода. В ряде предложений по модернизации электролизеров Содерберга, основанных на требованиях действующей «Методики» [5], не рассматривающей эмиссию смолистых соединений, в частности, разработанных Русской инжиниринговой компанией (РИК) [6], эта важнейшая проблема вообще не рассматривается. Однако работы М.И. Аливойводича, М. Сорлье, М.А. Коробова, М.Я. Минциса и др. [2] показали, что выход смолистых соединений при температуре поверхности анода 150-160 °С достигает 45 г/т Al. Выбросы ПАУ с поверхности анода достигают 30 – 50 % от общего содержания летучих веществ в аноде. По мнению норвежских специалистов [7], выбросы ПАУ из анодов Содерберга в атмосферу корпусов составляют около 35 % всех выбросов ПАУ и поэтому без организации фонарной газоочистки достижение санитарных норм более чем проблематично. Значительное снижение выбросов ПАУ с поверхности анода компания РУСАЛ связывает с внедрением коллоидной анодной массы. Действительно, есть основания полагать, что некоторое снижение выбросов ПАУ произойдет. Однако наличие в коллоидной массе до 20 % каменноугольного пека (вместо 27 – 30 % в «сухой» массе) может снизить выход ПАУ не более чем на 30 – 35 %, что не обеспечит достижения санитарной нормы по их выбросам. Внедрение коллоидной массы может оказаться полезным в период замены анодов Содерберга на обожженные аноды. Его реализация не потребует крупных инвестиций, в связи с чем следует приветствовать проведение крупномасштабных промышленных испытаний. Однако, по нашему мнению, применение коллоидной анодной массы нельзя рассматривать как альтернативу внедрению электролизеров ОА.

Значительно больший экологический эффект может быть получен при снижении температуры поверхности анода до 100 – 120 °С. В качестве промежуточного решения предлагается применить испарительное охлаждение поверхности анода, периодически подавая на него распыленные струи воды [2]. По данным М. Сорлье [4], при достижении температуры поверхности анода 100 – 110 °С эмиссия ПАУ снизится, по крайней мере, на 2 порядка, что обеспечит достижение санитарных норм. Действительно, расчеты показывают, что для снижения температуры поверхности анода на 50 °С необходимо испарять с поверхности анодов всех электролизеров корпуса не более 1,5 м³ воды в час [2]. Образующийся при этом пар незначительно повысит влажность вентиляционного воздуха (менее чем на 0,015 %), что исключит его конденсацию и осаждение воды на конструкциях корпуса в холодное время года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. 2-е изд. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – М.: Флинта·Наука, 2005. – 268 с.

2. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – М.: Флинта·Наука, 2008. – 238 с.
3. Бузунов В.Ю. Технические аспекты экологической безопасности алюминиевого производства / В.Ю. Бузунов, Б.П. Куликов // ТЭВ РУСАЛа. – 2005. – № 11. – С. 5 – 14.
4. Сорлье М. ПАУ и выбросы паров пека с поверхности анода Содерберга / М. Сорлье // ТЭВ РУСАЛа. – 2005. – № 11. – С. 33 – 37.
5. Расчетная инструкция (методика) по определению состава и количества вредных (загрязняющих) веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при электролитическом производстве алюминия. Утверждена Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.03.2005 № 182. – 72 с.
6. Технологические и экономические аспекты модернизации электролизеров с анодом Содерберга: материалы междунаро. конф. «Алюминий Сибири–2007». – Красноярск: [б. и.], 2007. – 29 с.
7. Фаердан Тор. Стандарты для выбросов алюминиевой промышленности / Тор Фаердан // Материалы конф. по защите ОС. – М.: [б. и.], 2006. – 4 с.

УДК 669.15-198.017

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, П.Ю. Шефер*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

*«Сорский ферромолибденовый завод», Республика Хакасия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА ОТ СОСТАВА ВОССТАНОВИТЕЛЯ ПРИ СИЛИКОАЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКЕ ФЕРРОМОЛИБДЕНА

Исследована зависимость температуры расплава от состава восстановителя при силикоалюминотермической плавке ферромолибдена.

Dependence of temperature of smelt from structure of a reducer at silicon aluminium thermal melting of ferromolybdenum is investigated.

Ферромолибден – лигатурный сплав, используемый для введения добавок молибдена в хромистые, никелевые, хромоникелевые, вольфрамовые и другие специальные стали с целью улучшения их механических, антикоррозионных или магнитных свойств. Ферросплавная промышленность производит ферромолибден марок ФМо60, ФМо58, ФМо55, ФМо52 с содержанием молибдена соответственно не менее 60, 58, 55 и 52 %.

Производство ферромолибдена в СССР было освоено в 1937 г. В последующие годы в результате активной геологической разведки был открыт ряд месторождений молибденсодержащих руд, разрабатываемых и в настоящее время.

До недавнего времени основным производителем ферромолибдена являлось ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат». В связи с трудностями в поставке сырья и ужесточением требований к качеству ферромолибдена получение сплава на данном предприятии было прекращено. Сегодня производителями ферромолибдена в России являются предприятия компании «Союзметаллресурс», а добыча молибденового концентрата ведётся на Сорском ГОКе (горно-обогатительном комбинате), Жирекенском ГОКе и Тырны-Аузском ГМК (горно-металлургическом комбинате). Сорский ГОК и Сорский ФМЗ (ферромолибденовый завод) расположены в Республике Хакасия. Готовой продукцией, выпускаемой на комбинате и заводе, являются флотационные молибденовый и медный концентраты, обожженный молибденовый концентрат, ферромолибден.

Химический состав ферромолибдена по стандартам некоторых стран приведен в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Химический состав ферромolibдена по стандартам стран – производителей

Марка	Стандарт	Массовая доля, %													
		Mo	W	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Zn	Bi	
		не менее	не более												
Россия															
ФМо60нк	ГОСТ	60	0,3	0,5	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
ФМо60	4759-	60	0,3	0,8	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
ФМо58нк	91	58	0,5	0,5	0,08	0,05	0,1	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1	
ФМо58		58	0,5	1,0	0,08	0,05	0,12	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1	
ФМо55		55	0,8	1,5	0,1	0,1	0,15	1,0	–	0,05	0,05	–	–	–	
ФМо50		50	–	3,0	0,5	0,1	0,5	2,0	–	0,1	0,1	–	–	–	
США															
–	AST M A 132- 74	60	–	1,0	0,10	0,05	0,15	1,0	–	–	–	0,01	–	–	
Япония															
ФМоН	JISG2	55-65	–	3,0	6,0	0,1	0,2	0,5	–	–	–	–	–	–	
ФМоL	307 1978	60-70	–	2,0	0,1	0,06	0,1	0,5	–	–	–	–	–	–	

Чистый молибден и его сплавы широко применяют в различных отраслях техники и промышленности, но основным потребителем является черная металлургия, использующая ~ 75 % всего добываемого молибдена. Сложилась следующая структура мирового потребления молибдена: легированные стали – 29 %, нержавеющие и жаропрочные стали – 34 %, специальные марки чугуна и сталей – 12 %, катализаторы – 8 %, сверхпрочные и специальные сплавы – 4 %, химические соединения – 7 %, металлический молибден – 6 % [2-4]. Добавка молибдена обеспечивает получение однородной мелкокристаллической структуры стали, увеличивает прокаливаемость стали и способствует устранению хрупкости в результате отпуска. Содержание молибдена в конструкционных и легированных сталях составляет 0,15-0,50 %, в инструментальных сталях – 3-10 %. В быстрорежущей стали молибден заменяет часть вольфрама, причем 1 % его эквивалентен 2 % W. Молибден в сочетании с другими легирующими элементами находит широкое применение при производстве нержавеющих, жаропрочных, кислотостойких и инструментальных сталей и сплавов с особыми физическими свойствами. Добавка молибдена в чугун увеличивает его прочность и сопротивление износу. Для легирования стали обычно используют ферромolibден (таблица 1), а также металлический молибден (для легирования специальных сплавов), молибдат кальция и технический триоксид молибдена MoO_3 (≥ 50 % Mo, ~ 0,10 % C и

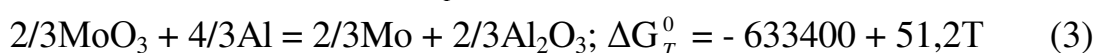
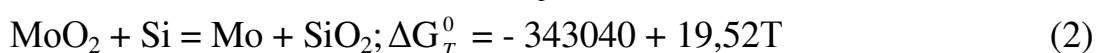
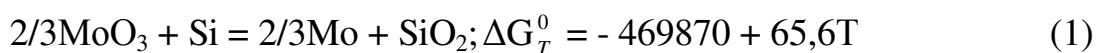
~ 0,12 % S). 90-е годы и начало нынешнего столетия характеризуются устойчиво возрастающим спросом на молибден. Это обусловлено двумя обстоятельствами:

- ростом объемов производства трубных сталей, применение которых продолжает расширяться в связи со строительством газо- и нефтепроводов;
- значительным увеличением производства молибденсодержащей нержавеющей стали.

Эти обстоятельства формируют определенный дефицит ферромolibдена и его высокую стоимость [5]. В настоящее время мировой рынок стали продолжает испытывать большие проблемы от непомерно высоких цен на ферромolibден. Начиная с 2005 г., ведущие производители стали вынуждены вводить специальные «молибденовые» доплаты за свою продукцию и сокращать производство молибденсодержащих сортов стали, а также стимулировать исследования и технологические разработки по созданию более дешевых альтернативных материалов, в частности, футерованной углеродистой стали.

Для получения ферромolibдена с малым содержанием углерода (0,1-0,2 %) применяется простой и экономичный внепечной металлургический способ – силикоалюминотермическое восстановление триоксида молибдена.

При выплавке ферромolibдена восстановление молибдена идет по реакциям:



Равновесие приведенных реакций сильно сдвинуто вправо и практикой установлено, что в процессе плавки восстанавливается > 99 % оксидов молибдена. Окисление кремния оксидами железной руды сопровождается дополнительными выделениями тепла. Восстановление оксида железа руды Fe_2O_3 до Fe составляет ~ 42 %, а остальное количество Fe_2O_3 восстанавливается до FeO, при этом FeO переходит в вязкий высококремнеземистый шлак и способствует его разжижению.

Реакции восстановления оксидов при выплавке ферромolibдена и удельная теплота реакций приведены в таблице 2.

Степень восстановления металла из оксида кремнием и алюминием зависит от температуры, активности SiO_2 и Al_2O_3 в шлаке, содержания Si и Al в сплаве. Для увеличения степени восстановления металла необходимо понижать температуру процесса. Однако при этом повышается вязкость шлака, затрудняется массоперенос, что ведет к уменьшению степени восстановления и увеличению потерь сплава в виде корольков с вязким шлаком. Поэтому металлургические процессы проводят при температурах, обеспечи-

вающих получение шлаков с высокой жидкоподвижностью и хорошее разделение шлака и сплава. Степень восстановления металла из оксида увеличивается при снижении активности SiO_2 и Al_2O_3 в шлаке, что достигается введением в шихту флюса – извести, которая с кремнеземом и глиноземом образует прочные химические соединения. Степень восстановления металла из оксида увеличивается также при увеличении расхода восстановителя, однако это приводит к увеличению содержания восстановителя в сплаве.

Таблица 2 – Удельная теплота реакций плавки ферромолибдена

Реакции	Теплота реакции H_{298} , Дж	Удельная теплота, кДж/кг
$2/3\text{MoO}_3 + \text{Si} = 2/3\text{Mo} + \text{SiO}_2$	- 368104	2999
$2/3\text{MoO}_3 + \text{FeSi} = 2/3\text{Mo} + \text{Fe} + \text{SiO}_2$	- 280261	1556
$2/3\text{MoO}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	- 609463	4798
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} = 4\text{Fe} + 3\text{SiO}_2$	- 958325	2372
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Si} = 4\text{FeO} + \text{SiO}_2$	- 309960	904
$2/3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Al} = 4/3\text{Fe} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	- 564705	4091

Зависимость температурного режима процесса от теплового эффекта алюминотермического восстановления описывается эмпирической формулой Н.Т. Ключникова [2]:

$$t = [(\Delta H_{\text{Al}_2\text{O}_3} + \Delta H_1) / (\mathcal{E}_{\text{Al}} + \mathcal{E}_2)] K = K\delta H, \quad (5)$$

где t – температура расплава в момент расслоения шлака и металла, °С; $\Delta H_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ – изменение энтальпии образования Al_2O_3 , Дж/моль; ΔH_1 – энтальпия образования восстанавливаемого оксида; \mathcal{E}_{Al} – эквивалентная масса алюминия; \mathcal{E}_2 – эквивалентная масса восстанавливаемого оксида; K – коэффициент пропорциональности, обычно $K = 0,752$; $\delta H = (\Delta H_{\text{Al}_2\text{O}_3} + \Delta H_1) / (\mathcal{E}_{\text{Al}} + \mathcal{E}_2)$ – тепловой эффект алюминотермического восстановления, отнесенный к 1 кг шихты, т.е. удельная теплота процесса.

Удельная теплота алюминотермического процесса δH и коэффициент пропорциональности K не являются постоянными и зависят от температуры и уровня тепловых потерь при различных условиях алюминотермической плавки. В результате фактические температуры процесса могут отличаться от расчетных даже для одного и того же процесса, проводимого в разных условиях (например, при существенном различии навески шихты), что исключается при использовании уравнения В.А. Боголюбова [2]:

$$\delta H = gt, \quad (6)$$

где g – тепловой коэффициент, зависящий от температуры, теплового эффекта восстановления и аппаратного оформления алюминотермической плавки (т.е. от удельных тепловых потерь в зависимости от вида плавильного агрегата).

Экспериментально изученные зависимости температуры расплава и теплового коэффициента от удельной теплоты процесса восстановления показали применимость формул Н.Т. Ключникова и В.А. Боголюбова для практических расчетов алюминотермической плавки.

Температура металлотермического процесса может быть определена из выражения [2]:

$$t = 1420 + 107 \delta H, \quad (7)$$

где t – температура расплава в момент расслоения шлака и металла, °С;

$\delta H = Q_{\Sigma}/m_{\Sigma}$ – удельная теплота металлотермического процесса; Q_{Σ} – тепло, выделяющееся в экзотермических реакциях, кДж; m_{Σ} – масса шихтовых материалов, г.

Для самопроизвольного протекания процесса (без подвода тепла извне) термичность должна составлять 2,0...2,1 МДж/кг шихты. Тепла, выделяющегося при силикотермической реакции (если использовать чистый кремний), достаточно для самопроизвольного протекания процесса ($\delta H_{Si} = 2,8$ МДж/кг). При использовании ферросилиция $\delta H_{FeSi} = 1,5...1,6$ МДж/кг, и этого тепла уже недостаточно для самопроизвольного протекания процесса. Термичность процесса повышают введением в шихту железной руды и алюминия. Оптимальной считается температура 1850...1900 °С, причем порядка 42 % оксидов железа руды восстанавливается до железа, а остальные 58 % – до FeO. FeO и Al₂O₃, образовавшиеся при окислении алюминия, переходят в шлак, понижая его температуру плавления и вязкость. Образующийся в результате восстановительных процессов шлак содержит SiO₂, FeO и Al₂O₃, для снижения его вязкости и температуры плавления в шихту дополнительно вводят известь. Реальные шлаки производства ферромolibдена имеют вязкость 6,5...12 Па·с при 1800 °С.

Целью данной работы является исследование зависимости температуры расплава от состава восстановителя (соотношения в нем кремния и алюминия) при выплавке ферромolibдена внепечным силикоалюминотермическим способом. Температура расплава в момент расслоения шлака и металла определялась расчетным методом по формуле (7) по результатам анализа материального и теплового баланса плавки.

Для выплавки ферромolibдена использовались шихтовые материалы, приведенные в таблице 3. Зависимость температуры расплава от массового соотношения Si/Al приведена в таблице 4.

Зависимость температуры расплава от массового соотношения кремний / алюминий в шихте описывается регрессионным уравнением вида

$$t = 2148,32 - 12,05 [Si / Al] \quad (8)$$

при $r = -0,753$. Анализ полученных результатов показывает, что формула (7) дает несколько завышенные результаты. Так, при реализуемом в производственных условиях массовом отношении Si / Al в шихте 4,40 расчетная температура расплава в момент расслоения шлака и металла составляет 2047 °С, а реально находится в пределах 1850-1900 °С, что свидетельствует о необходимости дополнительного учета тепловых потерь на уровне 30 %.

Таблица 3 – Химический состав шихтовых материалов

Шихтовые материалы	Мо-обожженный концентрат	Fe - руда	Fe - стружка	Fe-Si 75	Al - крупка	Известь	
Химический состав, % масс.	MoO ₃	81,93	–	–	–	–	
	FeO	5,22	–	–	–	–	
	SiO ₂	11,15	2,00	–	–	0,50	
	CuO	0,20	–	–	–	–	
	S	0,08	–	0,02	–	–	
	P ₂ O ₅	0,10	0,02	0,04 (p)	0,05 (p)	–	0,06
	Al ₂ O ₃	1,32	–	–	–	–	0,20
	Fe ₂ O ₃	–	97,00	–	–	–	0,60
	CaO	–	0,98	–	–	–	93,30
	Fe	–	–	99,60	22,86	2,00	–
	C	–	–	0,20	0,09	–	–
	Si	–	–	0,14	75,00	1,00	–
	Al	–	–	–	2,00	93,00	–
	Cu	–	–	–	–	4,00	–
	MgO	–	–	–	–	–	0,74
CO ₂	–	–	–	–	–	4,60	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчетным методом с использованием формулы (7) по результатам анализа материального и теплового балансов внепечной плавки ферромolibдена исследована зависимость температуры расплава в момент расслоения шлака и металла от массового отношения кремний / алюминий в шихте. Установлено, что зависимость описывается уравнением вида

$$t = 2148,32 - 12,05 [Si / Al] \quad (r = -0,753),$$

а формула (7) дает завышение по сравнению с практическими результатами, что обуславливает необходимость учета тепловых потерь на уровне 30 %.

Таблица 4 – Зависимость температуры расплава от массового отношения кремний / алюминий в шихте

Массовое отношение Si / Al в шихте	Количество кислорода в шихте, связанное кремнием, % масс.	t, °C
0,04	5	2219
0,09	10	2208
0,14	15	2198
0,19	20	2187
0,26	25	2176
0,33	30	2165
0,42	35	2155
0,52	40	2144
0,64	45	2133
0,78	50	2123
0,95	55	2112
1,17	60	2101
1,44	65	2090
1,81	70	2079
2,33	75	2069
3,11	80	2058
4,41	85	2047
7	90	2036
10,33	93	2030
14,78	95	2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1985. – 344 с.
2. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов :учебник для вузов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. – М.: Металлургия, 1988. – 784 с.
3. Поволоцкий Д.Я. Электрoметаллургия стали и ферросплавов: учебник для вузов / Д.Я. Поволоцкий, В.Е. Рощин, Н.В. Мальков. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.
4. Зеликман А.Н. Молибден: учебник для вузов / А.Н. Зеликман. – М.: Металлургия, 1970. – 440 с.
5. Лаптева А.В. Мировой рынок молибдена // Национальная металлургия. – 2005. – № 11. – С. 15 – 21.

В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина, О.Е. Дмитровская
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ПЛАВКИ И ЗАЛИВКИ В ЛИТЕЙНУЮ ФОРМУ

В работе исследуется процесс кристаллизации литейных алюминиевых сплавов. Выявлено, что при одинаковых условиях охлаждения параметры кристаллизации зависят как от способа обработки расплава внешними воздействиями при плавке и заливке в литейную форму, так и от наследственности используемых шихтовых материалов.

The crystallization process of aluminum alloys is investigated in the article. It is discovered that under equal conditions of cooling the parameters of crystallization depends both on method of alloy treatment by external influences during melting and pouring into casting forms and on inheritance of used charge materials.

Известно, [1, 2] что внешние модифицирующие воздействия на металлические расплавы в процессе плавки и кристаллизации приводят к изменению параметров кристаллизации сплавов. Так, доказано [2, 3], что интервал «ликвидус – солидус» после обработки расплава внешними воздействиями (термовременной обработки, электрическим током, вибрацией) уменьшается, а полное время затвердевания – увеличивается.

Было исследовано влияние термовременной обработки (ТВО), а также комплексной обработки (ТВО и магнитным полем при заливке) на параметры кристаллизации сплавов АК7ч, АМ5, АК5М2. Шихта состояла из чушковых материалов и вторичного сырья. В качестве вторичного сырья использовали лом деталей и отходы механических цехов состава вышеуказанных сплавов. Экспериментальные плавки проводили в печах СНОЛ и ИСТ-0,06. Заливку проб и образцов осуществляли при температуре – 720...750 °С.

Предварительно определенные оптимальные параметры ТВО расплавов составляли: для сплава АК7ч $T = 970...1000$ °С, $\tau = 7...10$ мин (для 100 % чушковых материалов в шихте); $T = 1000...1030$ °С, $\tau = 10...12$ мин (для 50...100 % вторичного сырья в шихте); для сплава АК5М2 $T = 970...990$ °С, $\tau = 8...10$ мин; для сплава АМ5 $T = 950...970$ °С, $\tau = 7...10$ мин.

Обработку расплавов переменным магнитным полем в процессе заливки осуществляли с помощью специального устройства, сконструированного на кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» [4]. Параметры

обработки расплавов магнитным полем составляли: индукция магнитного поля $B = 0,4 \dots 0,5$ Тл, угол наклона устройства $30 \dots 50^\circ$.

Для исследования процессов кристаллизации сплавов использовали методы термического анализа (ТА), дифференциального термического анализа (ДТА), которые реализовывали с помощью разработанного на кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» измерительного комплекса. В состав комплекса входят первичные датчики (термопары), аналого-цифровой преобразователь IPC CON 7018 и персональный компьютер. Образцы длиной 300 мм и диам. 26 мм для исследования процессов кристаллизации заливались в цилиндрическую полость песчано-глинистой формы, с обеих сторон закрытую графитовыми пробками, по оси цилиндрического образца устанавливали хромель-алюмелевые термопары. С помощью измерительного комплекса фиксировали изменение температуры кристаллизующегося сплава с интервалом времени 1 сек.

Химический состав полученных сплавов соответствовал ГОСТ 1583-93.

Из анализа представленных в таблице 1 результатов следует, что обработка ТВО расплавов состава АК7ч, АК5М2, АМ5 уменьшает температурный интервал кристаллизации (ΔT_{LS}) на $8 \dots 19$ °С, а комплексная технология обработки расплавов ТВО и магнитным полем – на $12 \dots 26$ °С. Причем наибольший эффект по изменению величины ΔT_{LS} наблюдался у сплава АМ5, что, очевидно, связано с его широким интервалом кристаллизации. Также была зафиксировано увеличение времени затвердевания сплавов (τ_n) после обработки расплавов ТВО в сравнении с исходным в $1,11 \dots 1,16$ раз, после комплексной обработки ТВО и магнитным полем – в $1,19 \dots 1,28$ раз. Очевидно, определенное влияние оказывает и наследственность используемых шихтовых материалов. Изменения параметров кристаллизации рассматриваемых сплавов способствует формированию мелкозернистой структуры последних, что было подтверждено металлографическими исследованиями.

В таблице 1 приведены параметры кристаллизации, определенные методами ТА и ДТА, сплавов АК7ч, АМ5, АК5М2. Сплавы были получены по следующим вариантам: 1. исходные (без обработки); 2. обработка расплава ТВО; 3. комплексная технология обработки расплава ТВО и магнитным полем при заливке.

ВЫВОДЫ: Таким образом, показано, что параметры кристаллизации литейных алюминиевых сплавов при одинаковых условиях охлаждения зависят как от способа обработки расплава внешними воздействиями при плавке и заливке в литейную форму, так и от наследственности используемых шихтовых материалов.

Таблица 1 – Параметры кристаллизации сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5, полученных из шихты разного состава

Технология обработки расплава	Температура ликвидус T_L , °С	Температура солидус T_S , °С	Интервал кристаллизации ΔT_{LS}	Полное время затвердевания τ_n , сек	Увеличение времени затвердевания
Сплав АК7ч (100 % чушковых материалов)					
Исходный (без обработки)	623	575	48	57	-
ТВО	621	581	38	63	1,11
ТВО + магнитное поле	619	585	34	70	1,22
Сплав АК7ч (50 % чушковых материалов + 50 % вторичного сырья)					
Исходный (без обработки)	627	583	44	55	-
ТВО	619	583	36	64	1,16
ТВО + магнитное поле	616	584	32	68	1,24
Сплав АК7ч (100 % вторичного сырья)					
Исходный (без обработки)	628	581	47	54	-
ТВО	620	586	34	62	1,14
ТВО + магнитное поле	618	590	28	69	1,28
Сплав АК5М2 (15...20 % чушковых материалов + 80...85 % вторичного сырья)					
Исходный (без обработки)	627	579	48	59	-
ТВО	618	581	37	68	1,15
ТВО + магнитное поле	615	588	27	74	1,25
Сплав АМ5 (20...25 % чушковых материалов + 75...80 % вторичного сырья)					
Исходный (без обработки)	660	551	109	63	-
ТВО	657	567	90	71	1,12
ТВО + магнитное поле	653	570	83	75	1,19

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование технологических параметров и расчет количества твердой фазы при кристаллизации литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, И.Ю. Кольчурина и др. // Литейщик России. – 2007. – № 8. – С. 18 – 22.
2. Башмакова Н.В. Исследование влияния электрического тока на кристаллизацию и свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа / Н.В. Башмакова. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – 16 с.
3. Деев В.Б. Особенности кристаллизации литейных алюминиевых сплавов, обработанных внешними воздействиями в жидком состоянии / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина // Наследственность в литейных процессах: труды VII международного научно-технического симпозиума. – Самара: ГОУ ВПО «СамГТУ», 2008. – С. 88 – 94.
4. Модифицирующая обработка сплавов магнитным полем / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.И. Нохрина, В.Ф. Горюшкин, С.А. Цецорина // Литейщик России. 2008. – № 3. – С. 23 – 25.

А.А. Уманский, В.Н. Кадыков

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

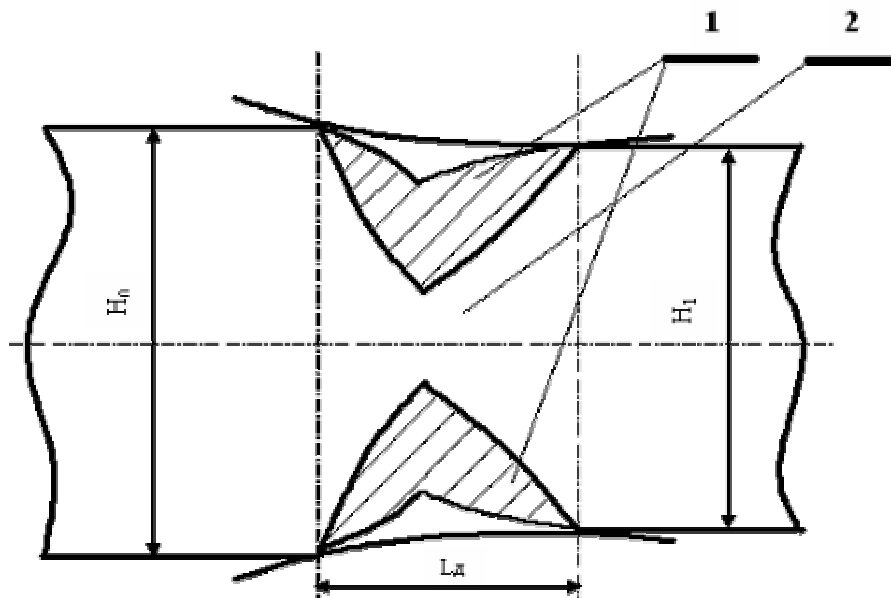
ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ С ВЫСОКИМ ОЧАГОМ ДЕФОРМАЦИИ

В лабораторных условиях проведено исследование закономерностей течения металла при прокатке с высоким очагом деформации. Получены регрессионные зависимости, характеризующие изменение неравномерности продольных деформаций приконтактных и осевых слоев слитка при изменении формы очага деформации. Установлены закономерности течения металла в центральной и боковой части приповерхностных слоев раската. Полученные зависимости позволяют с достаточной степенью достоверности прогнозировать величину торцевой утяжки и технологической обрезки при использовании различных режимов обжатий, что подтверждено результатами опытной прокатки слитков в условиях блюминга «1250» ОАО «ЗСМК».

It was made the laboratory researching of deformation of steel billets. The statistical dependences, which characterize deformation of various parts of ingots, were defined. With the help of such dependences the size of cutting metal can be predicted. The trustworthiness of prediction was confirmed by the results of rolling of ingots on blooming mill «1250» of «ZSMK».

Процесс прокатки с высоким очагом деформации (отношение продольно вертикальных размеров очага деформации $L_d/H_{cp} < 1$) характерен для производства заготовок на блюмингах, слябингах или заготовочных станков различного типа. Особенностью такой прокатки является неполное проникновение деформации вглубь слитка: то есть приповерхностные слои металла подвергаются пластической деформации, а осевые слои – только упругой деформации (рисунок 1). В результате имеет место вытяжка приповерхностных слоев, а зона металла в осевой части сохраняет свои первоначальные размеры. Следует отметить, что вследствие наличия внутриметаллической связи различных частей слитка фактически продольные деформации постепенно затухают от поверхности к оси слитка. В результате указанных процессов концевые участки раската приобретают дефектную форму, называемую торцевой утяжкой (рисунок 2). Величина технологической обрезки, необходимость которой вызвана наличием торцевой утяжки, достигает 3,0 – 3,5 % от длины раската и поэтому разработка мероприятий по ее снижению

является актуальной с точки зрения уменьшения расхода металла на прокат. Для разработки таких мероприятий необходимо получить достоверные качественные и количественные зависимости, характеризующие изменение неравномерности деформаций различных слоев слитка при изменении формы очага деформации.



1 – зоны интенсивной пластической деформации,
2 – зоны упругой деформации

Рисунок 1 – Характер распределения зон интенсивной пластической деформации при прокатке



Рисунок 2 – Торцевая утяжка на слябе сечением 140×740 мм, прокатанном на блюминге «1250» ОАО «ЗСМК»

В целом большинство исследователей сходится во мнении, что увеличение соотношения продольно-вертикальных размеров очага деформации при прокатке высоких тел приводит к снижению неравномерности деформации.

ции и при определенном соотношении L_d/H_{cp} продольные деформации приповерхностных и осевых слоев слитка выравниваются. Дальнейшее увеличение соотношения L_d/H_{cp} , то есть прокатка тел со средним и низким очагом деформации, приводит к обратному процессу, когда продольные деформации осевого слоя превышают деформации поверхностных слоев раската. При этом среди исследователей отсутствует единое мнение о границе такого перехода. Так по результатам исследования В.В. Гетманца и В.Я. Шевчука [1] граничным значением параметра формы очага деформации является $L_d/H_{cp}=0,5$, а согласно классификации данной А.П. Чекмарёвым [2] – $L_d/H_{cp}=1,5$. Также не существует единой методики, позволяющей оценить численные значения неравномерности продольных деформаций при определенных значениях параметра формы очага деформации. Таким образом, исследования, направленные на изучение закономерностей течения металла при прокатке с высоким очагом деформации являются на сегодняшний день актуальными.

Для исследования закономерностей течения металла при прокатке проведены лабораторные исследования. Свинцовые слитки прокатывались на стане «80», размеры калибров и катающие диаметры которого в масштабе 1:15 моделируют размеры действующего блюминга «1250» ОАО «ЗСМК». Лабораторные слитки отливались в уширенные книзу изложницы и имели размеры, в масштабе 1:15 моделирующие промышленные слитки, прокатываемые на ОАО «ЗСМК». Для исследования коэффициентов вытяжки по длине раската на поверхность образцов наносили координатную сетку с шагом 2 мм. По изменению размеров ячеек координатной сетки рассчитывали коэффициенты вытяжек участков по длине и ширине раската. Для исследования вытяжек осевых слоёв раската образцы перед прокаткой разрезались на равные доли в продольном направлении, на которые также наносилась координатная сетка. Полученные части разрезанных образцов спаивались при помощи сплава Вуда. После прокатки образцы рассоединялись и фиксировалось изменение размеров ячеек.

На основании обработки данных лабораторных экспериментов получены зависимости, характеризующие неравномерность коэффициентов вытяжек по высоте раската при различном соотношении продольно-вертикальных размеров очага деформации (рисунки 3, 4). Установлено, что при соотношении $L_d/H_{cp}<0,60-0,65$ коэффициент вытяжки приконтактных слоев раската превышает вытяжку осевого слоя и неравномерность продольных деформаций возрастает с уменьшением значения параметра L_d/H_{cp} . При увеличении соотношения продольно-вертикальных размеров очага деформации выше уровня $L_d/H_{cp}=0,60-0,65$ картина меняется на обратную и в этом случае продольные деформации осевого слоя превышают продольные деформации приповерхностных слоев раската. Следует отметить, что разница вытяжек осевого и поверхностных слоёв в этом случае незначительна по величине. Также установлено, что характер зависимостей в значительной мере определяется направлением прокатки. Так на противоположном относитель-

но направления прокатки концевом участке неравномерность продольных деформаций выше, чем на входном конце раската. Граница перехода при этом смещена влево. Это объясняется различной скоростью течения металла в зонах отставания и опережения.

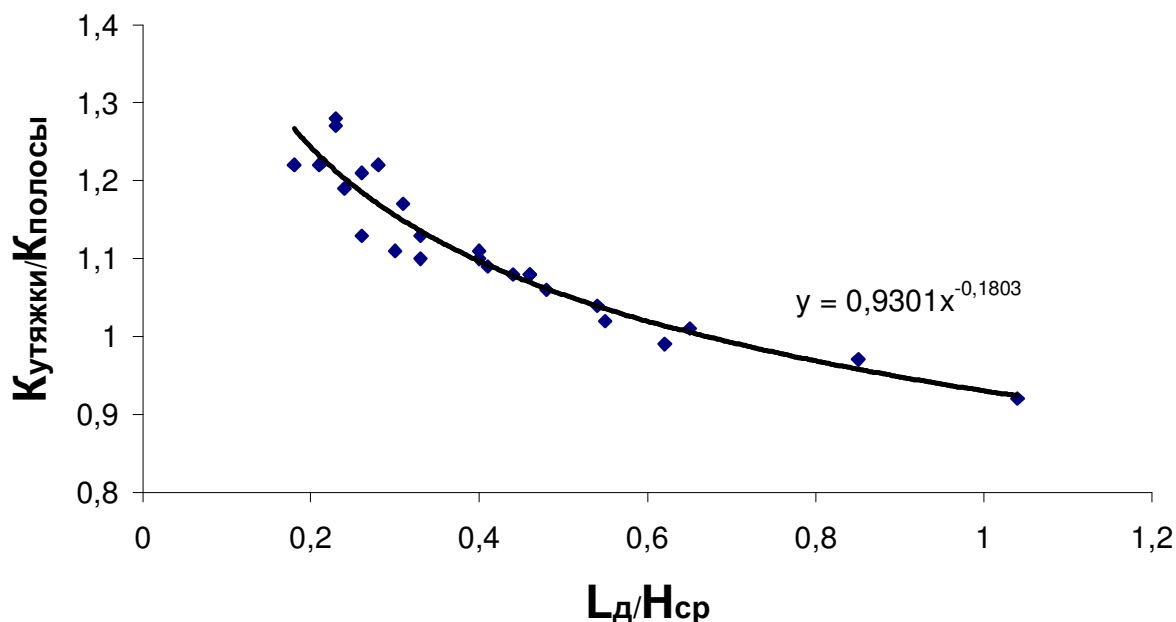


Рисунок 3 – Изменение неравномерности коэффициентов вытяжек в зависимости от формы очага деформации на противоположном относительно направления прокатки торце

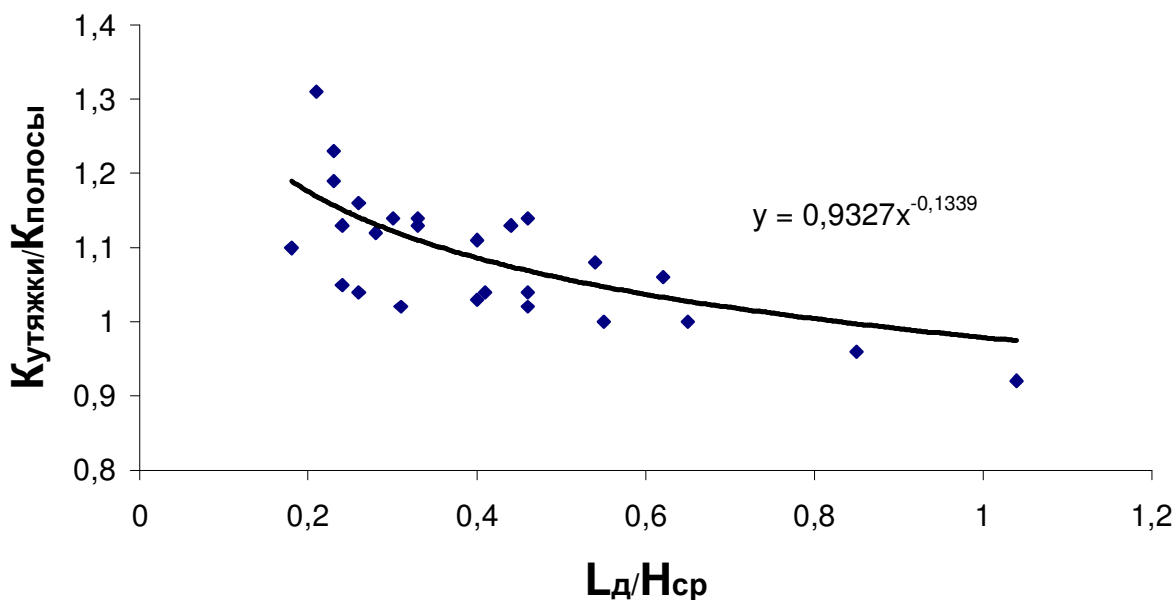


Рисунок 4 – Изменение неравномерности коэффициентов вытяжек в зависимости от формы очага деформации на входном торце раската

Для изучения закономерностей течения металла в приконтактных слоях проведён опыт, сущность которого заключается в следующем: в середине

прохода двигатель стана затормаживали и выбрасывали полученный недокат – таким образом, на поверхности раската фиксировался очаг деформации.

В результате установлено, что продольная деформация центральной части поверхностных слоёв и участков вблизи боковых кромок качественно различаются. Наличие на кривой, характеризующей продольные деформации центральных участков поверхности, горизонтального участка (рисунок 5) свидетельствует о наличии зоны прилипания. При этом протяжённость зоны прилипания снижается с увеличением соотношения $L_d/H_{ср}$. Так при $L_d/H_{ср}=0,20$ длина зоны прилипания составляет 51% от длины очага деформации, при $L_d/H_{ср}=0,65$ и $L_d/H_{ср}=1,05$ длина такой зоны составляет 34 % и 17 % соответственно.

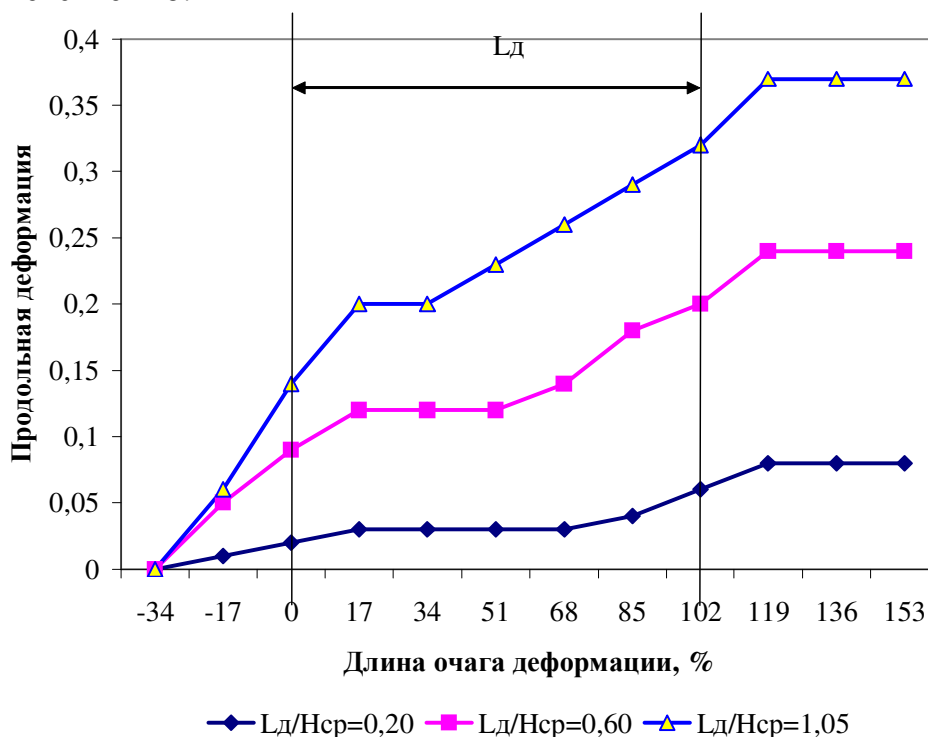


Рисунок 5 – Продольные деформации центральных участков поверхности по длине очага деформации

На кривой, характеризующей вытяжку участков поверхности вблизи боковых кромок, такой участок отсутствует (рисунок 6). Это говорит о том, что вблизи боковых кромок имеет место скольжение металла по всей длине дуги захвата.

Также установлено, что к моменту входа металла в валки уже существует продольная деформация поверхностных слоёв, которая составляет до 33÷38 % от полной продольной деформации за проход. Протяжённость такой зоны внеконтактной деформации составляет 34 % от длины дуги захвата. Таким образом, физический очаг деформации значительно шире геометрического, что объясняется наличием внутриметаллической связи в раскате.

Проверка достоверности полученных зависимостей проводилась путем сравнения расчетных данных с результатами опытной прокатки слитков на

блуминге «1250» ОАО «ЗСМК» [3]. Слитки прокатывались на слябы сечением 140×740 мм по пяти различным режимам обжатий. В результате установлено, что отклонение расчетной величины торцевой утяжки от фактических значений не превысило 15 % (таблица 1), что говорит о достаточной сходимости расчётных и фактических данных.

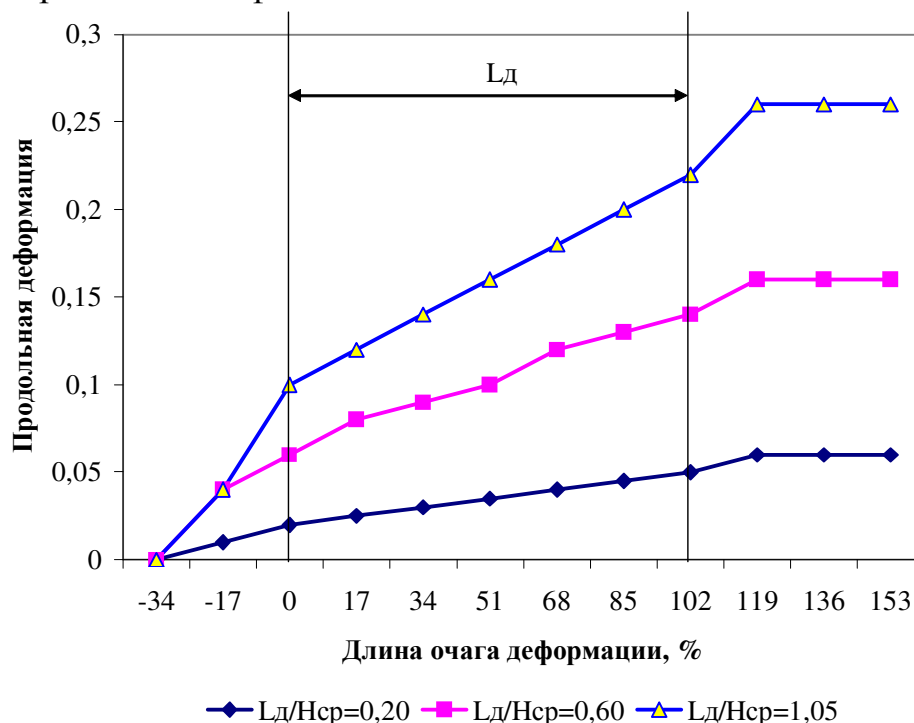


Рисунок 6 – Продольные деформации боковых участков поверхности по длине очага деформации

Таблица 1 – Проверка достоверности зависимостей величины торцевой утяжки от формы очага деформации

№ режима обжатий	Величина торцевой утяжки донной части сляба, мм		Отклонение, %
	фактическая	расчетная	
1	310	319	+2,9
2	240	214	-10,8
3	260	224	-13,8
4	320	281	-12,2
5	270	297	+10,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетманец В.В. Рациональные режимы работы блюминга / В.В. Гетманец, В.Я. Шевчук – М.: Металлургия, 1990. – 136 с.
2. Чекмарёв А.П. Теория прокатки крупных слитков / А.П. Чекмарёв [и др.] – М.: Металлургия, 1968. – 252 с.
3. Кадыков В.Н. Построение математической модели развития торцевой утяжки раската при реверсивной прокатке / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. – № 6. – С. 14 – 16.

УДК 544.33

А.П. Коробейников, А.Н. Филин
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Сравнительными методами однотипных соединений вычислены стандартные энтальпии алюминатов, силикатов, ферратов Ca, Mn, Fe, Ni, Co.

Unknown standard enthalpies of silicates and aluminates of Ca, Mn, Fe, Ni, Co have been calculated.

Постоянное снижение качества сырья для металлургической и химической промышленности и строительной индустрии приводит к необратимому снижению качества продукции и резкому увеличению отходов производства, что требует дальнейшего совершенствования и усложнения технологий. К сожалению, теоретические и экспериментальные исследования отстают от хозяйственных запросов. Термодинамический анализ металлургических процессов является одним из главных методов прогнозного исследования. Экспериментальные измерения термодинамических свойств веществ являются сложными и дорогостоящими. В связи с этим разработка и совершенствование прогнозных методов определения физико-химических свойств веществ является актуальной задачей. Данная работа преследует цель оценить перспективу использования отходов черной и цветной металлургии с применением прогнозных методов.

Известны [1] термодинамические свойства ряда силикатов и алюминатов кальция, которые послужили основой для проведения графического анализа (рисунок 1) стандартных энтальпий для однотипных групп соединений. Эта взаимосвязь определяется уравнением:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{MeO} \cdot \text{SiO}_2} = 1,0203 \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{MeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} - 726,19 \quad [R^2 = 0,9997] \quad (1)$$

и свидетельствует о надежности и достоверности справочных величин, и позволяет использовать их для прогнозных методов вычисления и анализа термодинамических свойств.

Результаты математического и графического анализов (рисунок 2) показывают параллельную связь свойств стандартных энтальпий групп силикатов и алюминатов кальция. Указанная связь позволяет определить неизвестные свойства расчетным способом, не применяя экспериментальных измерений, по уравнению:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{xMeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} \pm A = \Delta H^{\circ}_{\text{xMeO} \cdot \text{SiO}_2}, \quad (2)$$

где A – разность энтальпий однотипных веществ силикатов и алюминатов (648, 98 кДж/моль). Приведенная зависимость позволяет определить свойства обеих групп соединений.

Таблица 1 – Расчет энтальпий по двум рядам однотипных веществ

Вещество	-ΔН ⁰ ₂₉₈ вычисленное по уравнению, (кДж/моль):								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaO·2SiO ₂		3331,60(с)							
4CaO·SiO ₂		3571,51(с)							
12CaO·7SiO ₂		18795,02(с)							
2CaO·Al ₂ O ₃		2958,01							
FeO·Al ₂ O ₃			1986,31						
2FeO·Al ₂ O ₃			2616,44						
3FeO·Al ₂ O ₃			3240,83						
4FeO·Al ₂ O ₃			3878,93						
12FeO·7Al ₂ O ₃			19102,44						
FeO·SiO ₂				1195,81	1195,81				
2FeO·SiO ₂				1825,94	1868,79				
3FeO·SiO ₂				2450,33	2493,11				
4FeO·SiO ₂				3088,43	3131,49				
12FeO·7SiO ₂				18311,94	18354,72				
MnO·Al ₂ O ₃						2098,11			
2MnO·Al ₂ O ₃						2728,24			
3MnO·Al ₂ O ₃						3352,63			
4MnO·Al ₂ O ₃						3990,73			
12MnO·7Al ₂ O ₃						19214,24			
MnO·SiO ₂							По урав.7	По уравнению 8	
2MnO·SiO ₂							1058,34	1321,84 [1]	
3MnO·SiO ₂							1731,32 [1]	1994,80	
4MnO·SiO ₂							2355,64	2619,14	
12MnO·7SiO ₂							2993,37	3257,24	
							18217,32	17795,09	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaO·Fe ₂ O ₃ 2CaO·Fe ₂ O ₃ 3CaO·Fe ₂ O ₃ 4CaO·Fe ₂ O ₃ 12CaO·7Fe ₂ O ₃	По уравнению 10 1510,68 2140,81(с) 2765,2 3403,3 18626,81							По ур. 9 1519,88(с) 2150,01 2774,40 3412,50 18636,01
NiO·Al ₂ O ₃ 2NiO·Al ₂ O ₃ 3NiO·Al ₂ O ₃ 4NiO·Al ₂ O ₃ 12NiO·7Al ₂ O ₃	По уравнению 11 1916,81(с) 2546,94 3171,33 3809,43 19032,94	По уравн. 14 1916,8(с) 2546,94 3171,33 3809,43		По ур. 17 CoO·Al ₂ O ₃ 2CoO·Al ₂ O ₃ 3CoO·Al ₂ O ₃ 4CoO·Al ₂ O ₃	1988,82(с) 2661,81 3286,13 3924,23	По ур. 13		
NiO·Fe ₂ O ₃ 2NiO·Fe ₂ O ₃ 3NiO·Fe ₂ O ₃ 4NiO·Fe ₂ O ₃ 12NiO·7Fe ₂ O ₃	По уравнению 12 1067,27(с) 1697,37 2323,76 2939,86 18376,74			CoO·Fe ₂ O ₃ 2CoO·Fe ₂ O ₃ 3CoO·Fe ₂ O ₃ 4CoO·Fe ₂ O ₃	По ур. 16 1088,20(с) 1718,33 2342,72 2980,82		По ур. 15	
NiO·SiO ₂ 2NiO·SiO ₂ 3NiO·SiO ₂ 4NiO·SiO ₂	По уравнению 13 765,72 1430,70(с) 2063,02 2701,12							
По ур. 15 CoO·SiO ₂ 2CoO·SiO ₂ 3CoO·SiO ₂ 4CoO·SiO ₂	738,88 1411,86(с) 2036,18 2674,28							

Кроме этого, по уравнению (2) определены неизвестные энтальпии для $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ —3331,60 кДж/моль, для $12\text{CaO} \cdot 7\text{SiO}_2$ —18798 кДж/моль, для $4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ —3571,51 кДж/моль и для $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ —2958,01 кДж/моль.

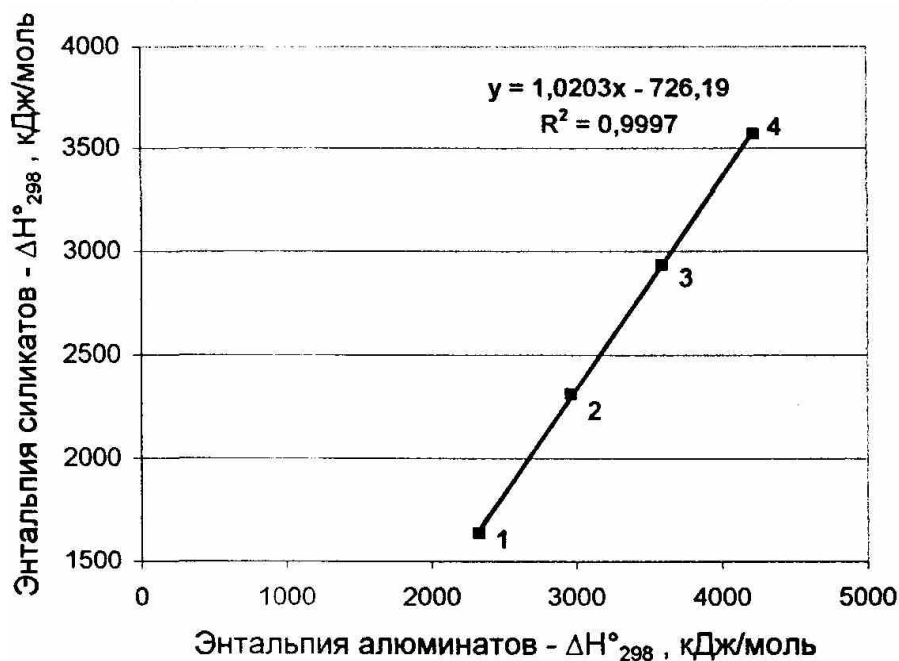


Рисунок 1 – Взаимосвязь стандартных энтальпий алюминатов и силикатов кальция: 1 – однокальциевые, 2 – двухкальциевые, 3 – трехкальциевые, 4 – четырехкальциевые вещества

В справочной литературе [1] имеются энтальпии силикатов и алюминатов ванадия, хрома, железа, марганца, кобальта, никеля, молибдена, вольфрама для одного – двух соединений. Учитывая их близкие химические и физические свойства можно спрогнозировать предложенными методами неизвестные энтальпии этих соединений, например, энтальпию алюмината железа $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = 1986,31$ кДж/моль. Алюминаты кальция и железа одноподобные вещества с одинаковыми химическими свойствами, следовательно, и энтальпии образования этих веществ должны быть пропорциональными. Тогда разность энтальпии алюминатов кальция и железа составит 341,57 кДж/моль. Неизвестные характеристики энтальпии алюминатов железа определяются уравнением

$$\Delta H_{\text{xFeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}^\circ = \Delta H_{\text{xCaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}^\circ - 341,57. \quad (3)$$

Характеристики силикатов железа рассчитываются с учетом свойств алюминатов кальция

$$\Delta H_{\text{xFeO} \cdot \text{SiO}_2}^\circ = \Delta H_{\text{xCaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}^\circ - 1132,07. \quad (4)$$

При вычислении энтальпии силикатов железа по уравнению результаты получаются несколько выше

$$\Delta H_{\text{xFeO} \cdot \text{SiO}_2}^\circ = \Delta H_{\text{xCaO} \cdot \text{SiO}_2}^\circ - 440,3. \quad (5)$$

В уравнении (5) для расчета использовали справочную величину энтальпии силиката железа равную – 1195,81 кДж/моль.

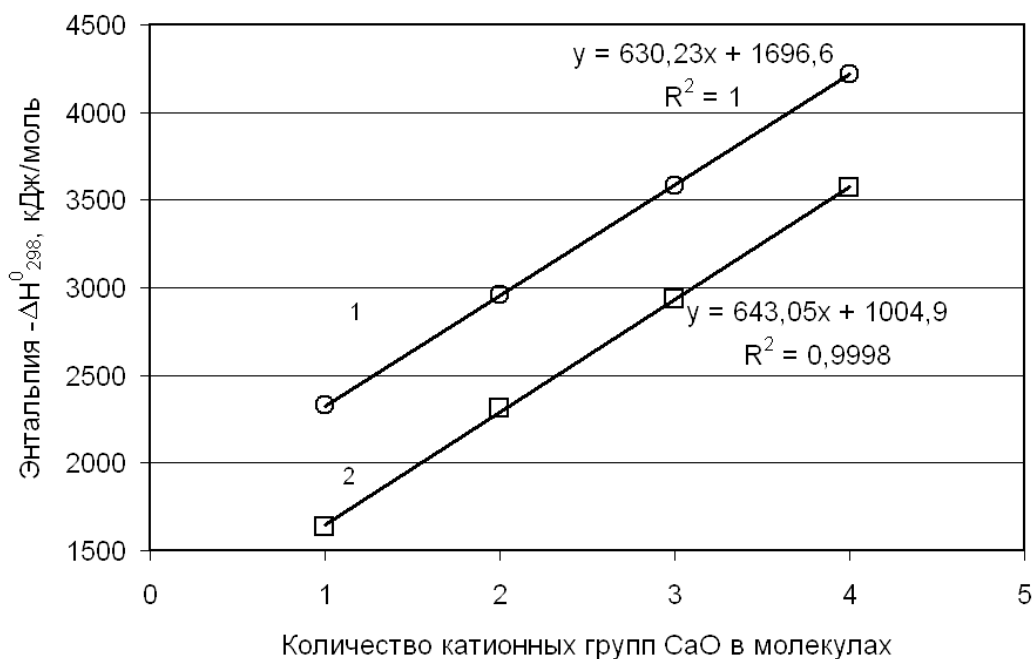


Рисунок 2 – Взаимосвязь стандартных энтальпий алюминатов (1) и силикатов (2) с количеством катионных групп CaO в молекулах.

Для вычисления энтальпии алюмината марганца использовалась справочная величина $\Delta H^{\circ}_{\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} = 2098,11$ кДж/моль, в качестве сравнительного ряда алюминатов кальция расчеты выполнялись по уравнению

$$\Delta H^{\circ}_{\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} - 229,77. \quad (6)$$

Энтальпию силикатов марганца вычисляли по уравнению

$$\Delta H^{\circ}_{x\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2} - 577,77 \text{ кДж/моль}. \quad (7)$$

Здесь в качестве сравнительного ряда использовались характеристики силикатов кальция и энтальпия силиката марганца [1]: ($2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2 = 1731,32$ кДж/моль).

Для сравнения полученного уравнения

$$\Delta H^{\circ}_{x\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2} - 314,27 \text{ кДж/моль} \quad (8)$$

использовали энтальпию [1] $\Delta H^{\circ}_{\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2} = 1636,11$. Следует отметить, что ранее (таблица 1) аналогичным способом вычислены энтальпии алюминатов и силикатов железа, никеля, кобальта.

В справочнике [1] приведена также энтальпия $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1519,88$ кДж/моль. Это позволило предложить следующее уравнение

$$\Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} - 808 \text{ кДж/моль} \quad (9)$$

и определить неизвестные характеристики по однотипным соединениям алюминатов кальция (таблица 1). Аналогично предложено следующее уравнение

$$\Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} - 817,2 \text{ кДж/моль} \quad (10)$$

с использованием справочной величины [1] $\Delta H^{\circ}_{2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3} = 2140,81$ кДж/моль и ряда однотипных соединений алюминатов кальция.

Энтальпию алюминатов никеля определяли по уравнению:

$$\Delta H^{\circ}_{x\text{NiO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} = \Delta H^{\circ}_{x\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} - 411,34 \text{ кДж/моль} \quad (11)$$

с использованием энтальпий алюмината кальция и этого же свойства алюмината никеля [1] ($-\Delta H^{\circ}_{\text{NiO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3}=1961,81$ кДж/моль).

Подобным способом получено уравнение для вычисления энтальпии ферратов никеля $-\Delta H^{\circ}_{\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}=1067,27$ кДж/моль:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}=\Delta H^{\circ}_{\text{xCaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3}-1260,64 \text{ кДж/моль}, \quad (12)$$

и с применением характеристики феррата железа и однотипного ряда алюминатов кальция (таблица 1). Аналогично предложены уравнения и вычислены характеристики силикатов и алюминатов никеля, кобальта.

Выводы. Предложены прогнозные способы вычисления энтальпий однотипных соединений с использованием ряда известных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рузинов Л.П. Равновесные превращения металлургических реакций / Л.П. Рузинов, Б.С. Гуляницкий. – М.: Металлургия. 1975. – 415 с.

УДК 544.33

А.П. Коробейников, А.Н. Филин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В статье проведен анализ термодинамических свойств карбонильных соединений.

In the article the analysis of thermodynamic properties of connections is conducted.

Снижение качества металлургического сырья требует значительных теоретических исследований с целью совершенствования действующих технологий и разработки новых процессов. Термодинамический анализ является одним из основных методов оценки химических реакций в сложных системах. Работа посвящена анализу термодинамических констант карбонильных соединений с применением сравнительных методов. В металлургическом производстве не уделялось особого внимания проблеме угара металла при выплавке. Задача данной работы – оценка причин угара металла при его выплавке. В [1] описан угар железа в производстве алюминия электролизом расплава. По данным [2] потери марганца при выплавке сплавов достигают 10 % и более.

В справочной литературе [3] приведены стандартные теплоты образования карбонильных соединений для 8 веществ в газообразном, для 4 – в кристаллическом и для 2 веществ в жидком состоянии; температура и теплота плавления известны только для $Mn_2(CO)_{10}$. Для анализа свойства веществ приведены в таблице 1 и расположены в горизонтальные ряды по физическому состоянию: кристаллическая, жидкая, газообразная фазы. Справочные константы отмечены знаком (с), расчетные – (р). Наблюдается снижение абсолютных значений энтальпии в вертикальных рядах при переходе из кристаллического состояния в жидкое и далее в газообразное. В горизонтальных рядах также наблюдается снижение абсолютной величины энтальпии. Знаком (Δ) обозначено изменение энтальпии между веществами в горизонтальных и вертикальных рядах.

Из анализа однотипных веществ следует, что разность энтальпий между кристаллическими и газообразными веществами для $V(CO)_6$ и $Cr(CO)_6$ составляют одну величину 66,16 кДж/моль. Разность энтальпий между этими веществами в кристаллическом и газообразном состоянии составляют также одну величину 94,63 кДж/моль. Из этого следует, что эти два соединения обладают стабильными свойствами с одинаковыми стабильными кристаллическими решетками, следовательно, в жидком состоянии эти вещества должны иметь близкие физические, химические свойства и термодинамические характеристики.

Таблица 1 – Результаты анализа стандартной энтальпии карбонильных соединений

Кристаллические вещества	Mo(CO) ₆ к 987,27 (с) $\Delta=27,8$	$\Delta=180,07$	V(CO) ₆ к 1167,34 (р) $\Delta=25,96$	$\Delta=94,63$	Cr(CO) ₆ к 1072,71 (с) $\Delta=25,96$	$\Delta=606,28$	Mn ₂ (CO) ₁₀ к 1678,99 (с) $\Delta=22,81$	$\Delta=839,50$
Жидкие вещества	Mo(CO) ₆ ж 959,47 (р) $\Delta=40,20$	$\Delta=181,91$	V(CO) ₆ ж 1141,38 (р) $\Delta=40,20$	$\Delta=94,63$	Cr(CO) ₆ ж 1046,75 (р) $\Delta=40,20$	$\Delta=609,43$	Mn ₂ (CO) ₁₀ ж 1656,18 (р) $\Delta=40,00$	$\Delta=828,09$
Газообразные вещества	Mo(CO) ₆ г 919,27 (р)	$\Delta=181,91$	V(CO) ₆ г 1101,18 (с)	$\Delta=94,63$	Cr(CO) ₆ г 1006,55 (с)	$\Delta=609,63$	Mn ₂ (CO) ₁₀ г 1616,18 (с)	$\Delta=808,09$

Продолжение таблицы 1

Mn (CO) ₅ к 839,50 (с) $\Delta=11,41$	Fe(CO) ₅ к 797,10 (р) $\Delta=22,50$	$\Delta=730,32$	Co ₂ (CO) ₈ к 1527,42 (с) 1476,22 (р) $\Delta=73,70$ (с) $\Delta=21,50$ (р)	$\Delta=763,71$ $\Delta=711,79$	Co(CO) ₄ к 764,43 (р) $\Delta=21,78$	$\Delta=108,44$	Ni(CO) ₄ к 655,27 (с) $\Delta=21,79$
Mn (CO) ₅ ж 828,09 (р) $\Delta=20,00$	Fe(CO) ₅ ж 774,60 (с) $\Delta=40,20$	$\Delta=679,12$	Co ₂ (CO) ₈ ж 1453,72 (р) $\Delta=30,14$	$\Delta=711,49$	Co(CO) ₄ ж 741,93 (р) $\Delta=30,14$	$\Delta=108,44$	Ni(CO) ₄ ж 633,49 (с) $\Delta=30,14$
Mn (CO) ₅ г 808,09 (р) $\Delta=73,69$	Fe(CO) ₅ г 734,40 (с)	$\Delta=689,18$	Co ₂ (CO) ₈ г 1423,58 (с)	$\Delta=711,79$	Co(CO) ₄ г 711,79 (с)	$\Delta=108,44$	Ni(CO) ₄ г 603,35 (с)

Рассмотрены свойства карбонильных соединений железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ и марганца $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$. Согласно закона Гясса теплота образования сложных веществ равна сумме теплот образования компонентов этого соединения, что позволило поделить энтальпию $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ на две равные части и получить ΔH°_{298} для $\text{Mn}(\text{CO})_5$ 839,50 кДж/моль для кристаллического состояния и 808,09 кДж/моль для газообразного состояния молекул $\text{Mn}(\text{CO})_5$. Разность теплот образования для этого вещества в кристаллическом и газообразном состоянии составляет 31,41 кДж/моль. Разность энтальпии для $\text{Fe}(\text{CO})_5$ при переходе из кристаллического состояния в газообразное состояние составляет 62,70 кДж/моль. Разность энтальпий для жидкого и газообразного состояния $\text{Fe}(\text{CO})_5$ составляет 40,20 кДж/моль. Наличие таких закономерностей в изменении энтальпии в кристаллическом, жидком и газообразном состоянии позволило приближенно оценить неизвестные теплоты образования для $\text{Mn}(\text{CO})_5$ и $\text{Fe}(\text{CO})_5$. Аналогичным способом оценивались величины энтальпии для $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ сравнением свойств с $\text{Ni}(\text{CO})_4$. По предлагаемому методу оценены энтальпии карбонильных соединений ванадия, хрома, марганца, кобальта, никеля в кристаллическом, жидком, газообразном состоянии.

Из результатов анализов следует, что разность стандартных энтальпий кристаллических и жидких веществ изменяется в пределах 11,41 – 27,8 кДж/моль. Разность стандартных энтальпий между жидким и газообразным состоянием изменяется в пределах 30,14 – 40,2 кДж/моль (таблица 1).

Разность энтальпий для исследуемых веществ в твердом и газообразном состоянии изменяется незначительно и составляет 51,92 – 66,14 кДж/моль, за исключением соединения железа.

Наличие указанных закономерностей в изменении энтальпии позволяет использовать их в качестве прогнозного метода для вычисления стандартной энтальпии карбонильных соединений и рекомендовать для приближенных расчетов технологических процессов. Вычисленные константы приведены в таблице 1 и обозначены знаком (р).

Взаимосвязь справочных и расчетных констант стандартных энтальпий с массой веществ представлена на рисунке 1 и описывается уравнениями прямых линий.

Для проверки прогнозных величин энтальпии, справочные и расчетные характеристики сравнивались с наиболее стабильным свойством – массой этих соединений.

На рисунке 1 представлена взаимосвязь энтальпии с массой веществ в кристаллическом, жидком и газообразном состоянии. Результаты графического анализа указывают на удовлетворительную связь этих свойств. Математически эти связи определяются уравнениями (рисунок 1).

С использованием справочных констант установлена взаимосвязь энтальпии газообразных карбонильных соединений ванадия, хрома, марганца, никеля с потенциалом ионизации катиона и описывается уравнением (рисунок 2).

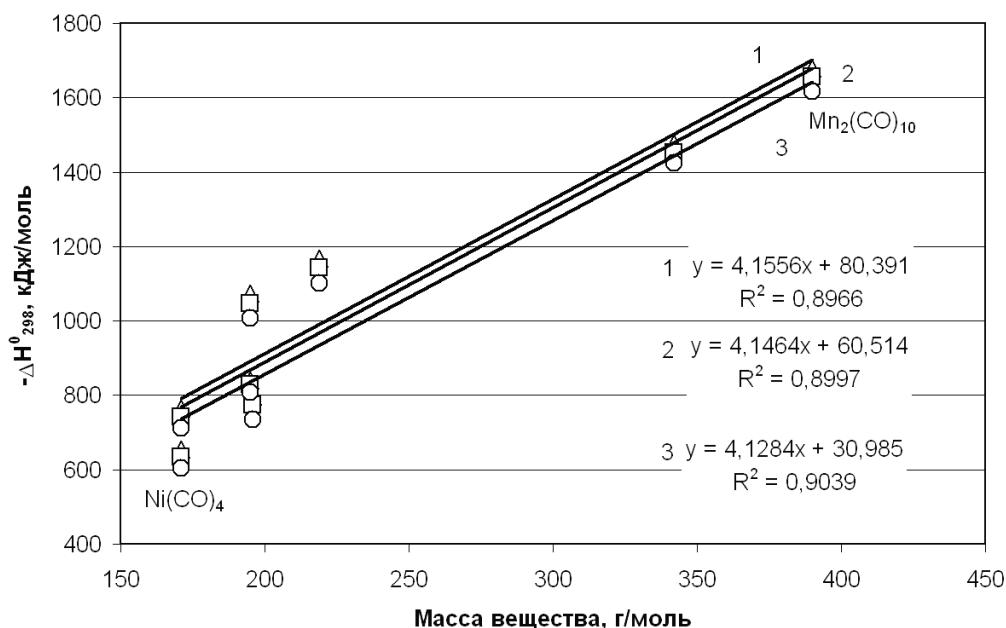


Рисунок 1 – Взаимосвязь энтальпии с массой

Наблюдается зависимость энтальпии от характеристической температуры [4] для кристаллических соединений $\text{Cr}(\text{CO})_6$, $\text{Fe}(\text{CO})_5$, $\text{Ni}(\text{CO})_4$, $\text{Co}(\text{CO})_4$ и определяется уравнением (рисунок 2). Следовательно, возможно использование указанных закономерностей для прогнозной оценки неизвестных величин энтальпии по потенциалам ионизации и характеристической температуре катионов.

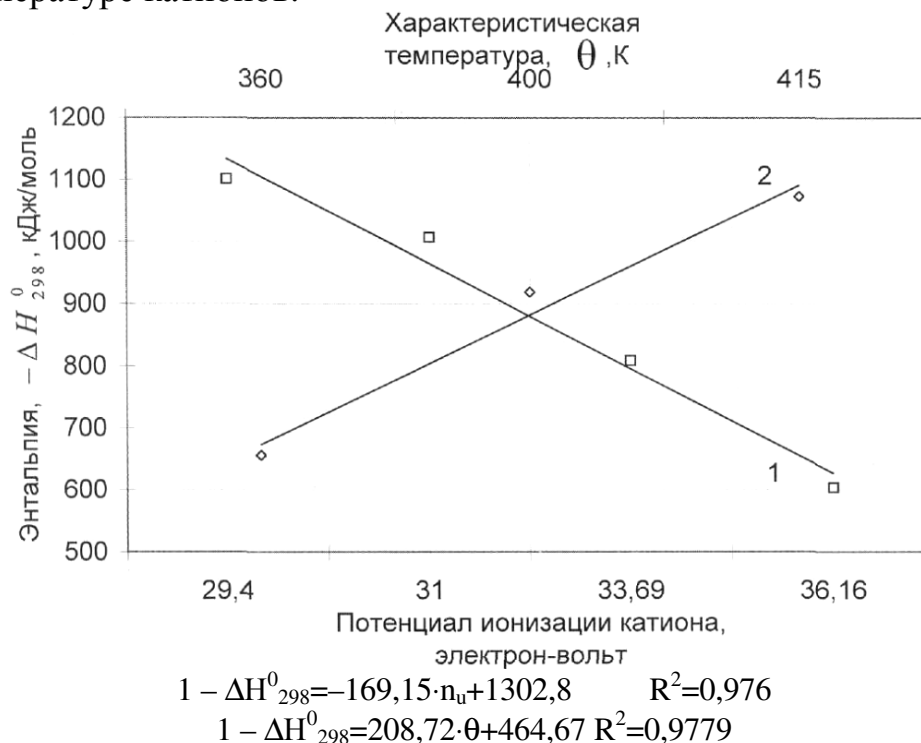


Рисунок 2 – Взаимосвязь энтальпии с потенциалом ионизации (1) для газообразных карбонильных соединений $\text{V}(\text{CO})_6$, $\text{Cr}(\text{CO})_6$, $\text{Mn}(\text{CO})_5$, $\text{Ni}(\text{CO})_4$ и с характеристической температурой (2) для кристаллических соединений

На основании анализа справочных величин вычислены стандартные энтальпии известных и гипотетических карбонильных соединений скандия, титана, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля по уравнениям (рисунок 1) в рядах $\text{Me}(\text{CO}) - \text{Me}(\text{CO})_{10}$, $\text{Me}_2(\text{CO})_8$, $\text{Me}_2(\text{CO})_{10}$ (таблица 2). Рекомендуются для оценки потери металла в металлургических процессах.

Ранее авторами наблюдалась следующая закономерность для хлоридов металлов

$$\Delta H^{\circ}_{298,\text{к}} - \Delta H^{\circ}_{298,\text{г}} = L_{\text{возг}},$$

где ΔH°_{298} – энтальпия вещества для кристаллического (к) и газообразного (г) состояния, кДж/моль; $L_{\text{возг}}$ – теплота возгонки при 298К, кДж/моль.

Наблюдается аналогичная закономерность для карбонильных соединений $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$, $\text{Cr}(\text{CO})_6$, $\text{Co}_2(\text{CO})_8$, $\text{Mo}(\text{CO})_6$. Для этих веществ вычисленная теплота возгонки при 298К составила соответственно 14, 16,2, 14,8, 17,3 кДж/моль. Справочные величины [1] составляли соответственно 15,58, 16,36, 15,00, 16,00(16,42) кДж/моль.

По разности энтальпии веществ в кристаллическом и газообразном состоянии вычислены теплоты возгонки при стандартной температуре 298 К. При этом наблюдается увеличение теплоты возгонки на 0,76 – 0,77 кДж/моль за счет увеличения массы карбонильного соединения на одну группу оксида углерода. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Вещест-во	Масса, грамм/моль	Энтальпия, $-\Delta H^{\circ}_{298}$, кДж/моль			Теплота возгонки при температуре 298К, кДж/моль
		Кристаллическое	Жидкое	Газообразное	
1	2	3	4	5	6
Sc(CO)	73	383,75	363,20	332,36	51,39
Sc(CO) ₂	101	500,11	479,30	447,95	52,16
Sc(CO) ₃	132	628,93	607,84	575,93	53,00
Sc(CO) ₄	157	732,82	711,50	679,14	52,89
Sc(CO) ₅	185	849,18	827,60	794,74	54,44
Sc(CO) ₆	213	965,53	943,70	910,33	55,2
Sc(CO) ₇	241	1081,89	1059,80	1025,93	55,96
Sc(CO) ₈	269	1198,25	1175,90	1141,52	56,73
Sc(CO) ₉	297	1314,60	1292,00	1257,12	57,48
Sc(CO) ₁₀	325	1430,96	1408,09	1372,72	58,24
Sc ₂ (CO) ₈	314	1385,25	1362,48	1327,30	57,95
Sc(CO) ₁₀	370	1617,96	1594,68	1558,49	59,47
Ti(CO)	76	396,22	375,64	3447,74	51,48
Ti(CO) ₂	104	512,57	491,74	460,34	52,23
Ti(CO) ₃	135	641,40	620,28	588,32	53,08
Ti(CO) ₄	160	745,29	723,94	691,53	53,76
Ti(CO) ₅	188	861,43	840,04	807,12	54,31
Ti(CO) ₆	216	978,00	956,14	922,72	55,28

1	2	3	4	5	6
Ti(CO) ₇	244	1094,36	1072,24	1038,31	56,05
Ti(CO) ₈	272	1210,71	1188,33	1153,91	56,80
Ti(CO) ₉	300	1327,07	1304,43	1269,50	57,57
Ti(CO) ₁₀	328	1443,43	1420,53	1385,10	58,33
Ti ₂ (CO) ₈	320	1410,18	1387,36	1352,07	58,11
Ti ₂ (CO) ₁₀	376	1642,90	1619,56	1583,26	59,64
V(CO)	79	412,84	392,23	357,13	55,71
V(CO) ₂	107	525,04	504,18	472,72	52,32
V(CO) ₃	135	641,40	641,40	588,32	53,08
V(CO) ₄	163	757,75	736,38	703,91	53,84
V(CO) ₅	191	874,11	852,48	819,51	54,60
V(CO) ₆	219	990,47	968,58	935,10	55,37
V(CO) ₇	247	1106,82	1084,67	1050,70	56,12
V(CO) ₈	275	1223,18	1200,77	1166,30	56,88
V(CO) ₉	303	1339,54	1316,87	1281,89	57,65
V(CO) ₁₀	331	1455,89	1432,97	1397,48	58,41
V ₂ (CO) ₈	326	1435,12	1412,24	1376,84	58,28
V ₂ (CO) ₁₀	382	1667,83	1644,44	1608,03	59,80
Cr(CO)	80	412,84	392,23	361,26	51,58
Cr(CO) ₂	108	529,20	508,32	476,85	52,35
Cr(CO) ₃	139	658,02	636,86	604,83	53,19
Cr(CO) ₄	164	761,91	740,52	708,04	53,87
Cr(CO) ₅	192	878,27	856,62	823,64	54,63
Cr(CO) ₆	220	994,62	912,21	939,23	55,39
Cr(CO) ₇	248	1110,98	1088,82	1054,83	56,15
Cr(CO) ₈	276	1227,34	1144,41	1170,42	56,92
Cr(CO) ₉	304	1343,69	1321,02	1286,02	57,67
Cr(CO) ₁₀	332				
Cr ₂ (CO) ₈	328	1443,43	1428,53	1385,10	58,33
Cr ₂ (CO) ₁₀	384	1676,14	1652,73	1616,29	59,85
Mn(CO)	83	425,31	404,66	373,64	51,67
Mn(CO) ₂	111	541,66	520,76	489,24	52,42
Mn(CO) ₃	139	658,02	636,86	604,83	53,19
Mn(CO) ₄	167	774,38	722,96	720,43	53,95
Mn(CO) ₅	195	890,73	839,06	836,02	54,71
Mn(CO) ₆	223	1007,09	955,16 (c)	836,02	
Mn(CO) ₇	251	1123,45	1101,26	1067,21	56,24
Mn(CO) ₈	279	1239,80	1217,36	1182,81	56,99
Mn(CO) ₉	307	1356,16	1333,46	1298,40	57,60
Mn ₂ (CO) ₁₀	390	1678,91	1449,56	1641,06	
Mn ₂ (CO) ₈	334	1468,36	1445,41	1409,87	58,47
Mn(CO) ₁₀	335	1472,52	1449,56	1414,00	58,52
Fe(CO)	84	429,46	408,81	377,77	51,69
Fe(CO) ₂	112	283	524,91	493,36	
Fe(CO) ₃	140	662,18	641,01	493,36	
Fe(CO) ₄	168	778,53	757,11	724,56	53,97
Fe(CO) ₅	196	894,89	873,21	840,15	54,74
Fe(CO) ₆	224	1011,24	989,31	955,75	55,49

1	2	3	4	5	6
Fe(CO) ₇	252	1127,60	1105,41	1071,43	56,17
Fe(CO) ₈	280	1243,96	1221,51	1186,94	57,02
Fe(CO) ₉	308	1360,32	1357,60	1302,53	57,79
Fe ₂ (CO) ₁₀	392	1709	1685,90	1649,32	59,68
Fe ₂ (CO) ₈	336	1476,67	1453,70	1418,13	58,54
Fe(CO) ₁₀	336				
Co(CO)	87	441,93	421,25	390,16	51,77
Co(CO) ₂	115	558,28	537,35	505,75	52,53
Co(CO) ₃	146	687,11	665,89	633,73	53,38
Co(CO) ₄	171	791,00	769,55	736,94	54,06
Co(CO) ₅	199	907,36	885,65	852,54	54,82
Co(CO) ₆	227	1023,71	1001,75	968,13	55,58
Co(CO) ₇	255	1140,07	1117,85	1083,73	56,34
Co(CO) ₈	283	1256,42	1233,94	1199,32	57,10
Co(CO) ₉	311	1372,78	1350,04	1314,92	57,86
Co(CO) ₁₀	349	1530,70	1507,61	1471,80	58,90
Co ₂ (CO) ₈	342	1501,61	1478,58	1442,90	58,71
Co ₂ (CO) ₁₀	398	1734,32	1710,78	1674,09	60,23
Ni(CO)	87	442,45	421,25	390,16	52,29
Ni(CO) ₂	115	558,28	537,35	505,75	52,53
Ni(CO) ₃	146	687,11	665,89	633,73	53,38
Ni(CO) ₄	171	791,00	769,55	736,94	54,06
Ni(CO) ₅	199	907,36	885,65	852,54	54,82
Ni(CO) ₆	227	1023,71	1001,75	968,13	55,58
Ni(CO) ₇	255	1140,07	1117,85	1083,73	56,34
Ni(CO) ₈	283	1256,43	1233,94	1199,32	57,11
Ni(CO) ₉	311	1372,78	1350,04	1314,92	57,86
Ni(CO) ₁₀	349	1530,70	1507,61	1471,80	58,90
Ni ₂ (CO) ₈	398	1734,32	1710,78	1674,09	60,23
Ni ₂ (CO) ₁₀	342	1501,61	1478,58	1442,90	58,71

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жулин Н.В., Комлов А.А., Коробейникова А.П. // Цветные металлы. – 1975. – № 11. – С. 37 – 38.
2. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. – М.: «Металлургия», 1988. – 783 с.
3. Рузинов А.П. Равновесные превращения металлургических реакций / А.П. Рузинов, Б.С. Гуланицкий. – М.: «Металлургия», 1975. – 415 с.
4. Справочник химика. Том 1. – М.: «Химия», 1970 с.

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.23

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Е.Г. Дементьева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ТЕОРИЯ СИНТЕЗА АЛМАЗОВ ПРОФЕССОРА О.И. ЛЕЙПУНСКОГО (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА О.И. ЛЕЙПУНСКОГО И 70-ЛЕТИЮ ЕГО ВЕЛИКОГО ОТКРЫТИЯ)

Выполнен анализ творческого наследия профессора О.И. Лейпунского, впервые в 1939 г. теоретически прогнозировавшего параметры и условия получения синтетических алмазов. Проведена оценка научно-технических результатов этого великого открытия.

Analyses of oeuvre of the professor O.E. Leypunskiy is fulfilled. The article tells about his theoretical prognosis of parameters and conditions of getting synthetic diamonds he made in 1939 for the first time. Assessment of scientific and technical results of this great invention is done.

Историческое предисловие

В настоящее время мир техники и технологии немыслим без применения синтетических (искусственных) алмазов. Они незаменимы в металло- и материалообработке, бурении геологоразведочных и эксплуатационных скважин, радиоэлектронике и других областях. Экономический эффект от применения синтетических алмазов в промышленной практике превысил сотни миллиардов долларов США. Днем рождения искусственного алмаза принято считать 16 декабря 1954 года. В этот день американский химик, доктор, профессор Трейси Холл (1919 – 2008 гг.), сотрудник компании «Дженерал электрик», впервые получил искусственные алмазы. Этот успех мировой науки по своему характеру является интернациональным: решающую роль в его достижении сыграли работы российского физика профессора Овсея Ильича Лейпунского (1909 – 1990 гг.).

О.И. Лейпунский родился в 1909 г. на Востоке Польши, в большой семье дорожного строителя [1]. В семье воспитывалось шесть своих и четверо приемных детей. Трое из них окончили знаменитый Ленинградский политехнический институт, его физико-механический факультет, являлись воспитанниками академика А.Ф. Иоффе [2]. Старший брат, Александр Ильич Лейпунский, впоследствии академик Украинской Академии наук, был директором и научным руководителем крупнейших физических институтов СССР – Украинского физико-технического института в Харькове, Института физики в Киеве и Физико-энергетического института в Обнинске (который ныне но-



О.И. Лейпунский
(1909 – 1990 г.г.)

сит его имя). Его группе физиков первыми в СССР и вторыми в мире удалось расщепить атомное ядро, он выдвинул и реализовал концепцию реактора на быстрых нейтронах (бридера) и теплообменного контура с жидкими металлами, был научным руководителем создания энергетических ядерных реакторов для флота и космических аппаратов. Профессор Овсей Ильич Лейпунский, связавший свою научную деятельность с Институтом химической физики (ИХФ) АН СССР, является основоположником способа синтеза алмазов, применяемого сейчас во всем мире. Наряду с этим он – один из создателей научно-методической базы радиометрии и дозиметрии проникающих излучений, автор (совместно с академиком Я.Б. Зельдовичем) теории внутренней баллистики реактивных пороховых

снарядов («Катюш»), разработчик современных видов твердого топлива для ракет. Профессор Дора Ильинична Лейпунская возглавляла лабораторию в НИИ-9, работавшем над проблемой извлечения плутония из урана, а позже – лабораторию во ВНИИ ядерной геохимии и геофизики, где разработала метод количественного нейтронно-активационного анализа для поиска и разведки полезных ископаемых. Все трое внесли крупный вклад в работы по Атомному проекту СССР. Их имена – в первом секретном списке награжденных орденами за успешное испытание советской атомной бомбы в 1949 г., который был подписан лично И.В. Сталиным.

В литературе содержится несколько противоречивая информация о причинах, побудивших О.И. Лейпунского обратиться к «алмазной тематике». Так, по данным [3], алмазы были кратким и почти случайным эпизодом в научной жизни Овсея Ильича. В 1938 г. после ареста А.И. Лейпунского, которого обвинили в шпионаже в пользу Германии и Англии, на комсомольском собрании в ИХФ Овсей Ильич категорически отказался осудить брата. Его уволили, и тогда Овсей Ильич стал «зарабатывать на жизнь» написанием статей для журналов. Один из обзоров – по перспективам синтеза алмазов – был заказан журналом «Знание – сила». По этой причине Овсей Ильич стал рассчитывать фазовую диаграмму системы графит - алмаз. По другим данным [4], в 1938 году исследовательская группа, в которую входил О.И. Лейпунский, занималась изучением действия высокого давления на различные вещества и имела в своем распоряжении оборудование, на котором можно было доводить давление до 20 тыс. атм. при температуре 2000 °С. Самым естественным было бы попытаться использовать это обстоятельство для изготовления алмаза. Но им казалось, что правильнее было бы начать дело с другой стороны – с расчетов. Ими занялся в 1939 году О.И. Лейпунский.

Фазовая диаграмма состояния углерода профессора О. И. Лейпунского

В ходе работы О. И. Лейпунский пришел к следующему заключению: «Алмаз оказался одним из немногих простейших минералов, которые не удавалось получить в лаборатории» [5, стр. 1519]. Главная причина этого, по его мнению, в том, что: «...все попытки изготовления алмаза были сделаны в условиях, при которых графит является более устойчивой твердой фазой, чем алмаз» [5, стр. 1524]. О.И. Лейпунский не ограничился констатацией этого факта. Он объяснил причину безрезультатных экспериментов, что уже само по себе является научным достижением, и указал пути к достижению цели.

В его работе приведена таблица известных к тому времени сведений о свойствах графита и алмаза (таблица 1) [5, стр. 1525].

Таблица 1 – Физические свойства графита и алмаза

№ п/п	Свойство	Графит	Алмаз
1	Плотность при 25 °С	2,26 г/см ³	3,513 г/см ³
2	Атомный объем	5,314 см ³	3,418 см ³
3	Коэффициент теплового расширения при 20 °С	6·10 ⁻⁶ град ⁻¹	2,7·10 ⁻⁶ град ⁻¹
4	Коэффициент сжимаемости	3·10 ⁻⁶ см ² /кг	0,16·10 ⁻⁶ см ² /кг
5	Теплота сгорания при 25 °С и давлении 1 атм.	94044±11 кал	94498±28 кал
6	Теплота перехода графита в алмаз при 25 °С	454±30 кал	
7	Теплота перехода графита в алмаз при 0 К	578±30 кал	
8	Энергия при 0 К	0	578 кал
9	Энергия при 25 °С	1,365±0,025 кал/град	0,585±0,01 кал/град
10	Температура плавления	4000 К	-

Примечание: 1 кал = 4,19 Дж

О. И. Лейпунский использовал результаты Ф. Россини и Р. Джессопа, которые на основании данных о теплоемкости и теплоте сгорания вычислили разность термодинамического потенциала графита и алмаза при нормальном давлении вплоть до 1300 К. Произведя термодинамические расчеты, он экстраполировал эти данные на более высокую температуру и давление, получив в результате формулу зависимости температуры плавления графита от давления:

$$T = T_0 \pm 0,05 PV/Q,$$

где T_0 – «последняя температура», для которой известны термодинамические функции; P – давление; V – объем; Q – скрытая теплота плавления графита, равная, по расчетам Лейпунского, 9000 кал.

Вычислив значение температуры плавления графита в зависимости от давления (таблица 2) [5, стр. 1527], он построил фазовую диаграмму состоя-

ния углерода (рисунок 1), сейчас известную как диаграмма О.И. Лейпунского. Для сравнения на рисунке 2 приведен современный вариант фазовой диаграммы состояния углерода, предложенный Ф. Банди и Р. Уэнторфом и основанный на результатах экспериментальных исследований [6].

Кривые показывали: для превращения графита в алмаз нужно, кроме температуры 2000 °С, давление не меньше 60 – 70 тыс. атм., а еще лучше 100 тыс. атм. Эта величина оказалась в сто раз больше, чем могло быть у тех, кто пытался изготовить алмаз. Вот как об этом сказано у О.И. Лейпунского:

«Чтобы быть уверенным в получении алмаза, кристаллизацию необходимо производить:

1. При таких давлениях, когда алмаз является более устойчивой фазой, чем графит;
2. При достаточно малых скоростях, чтобы не проявились преимущества графита, как кинетически более вероятной фазы;
3. При таких температурах, когда возможны перестройки в кристаллической решетке, чтобы в случае образования графита последний мог перейти в алмаз.

Таблица 2 – Зависимость температуры плавления графита от давления

Р, атм.	Т, К
1	4000
10000	4000±24°
100000	4000±240°

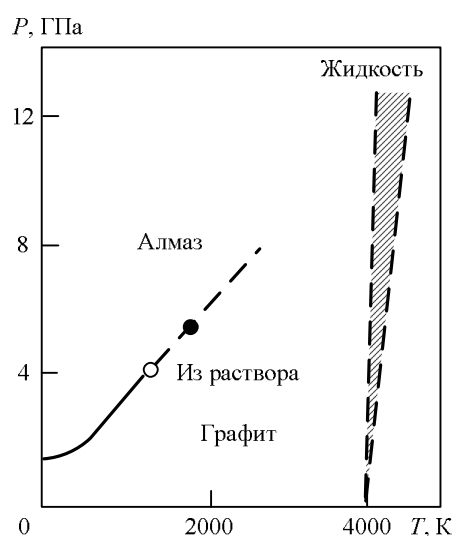


Рисунок 1 – Фазовая диаграмма состояния углерода О.И. Лейпунского

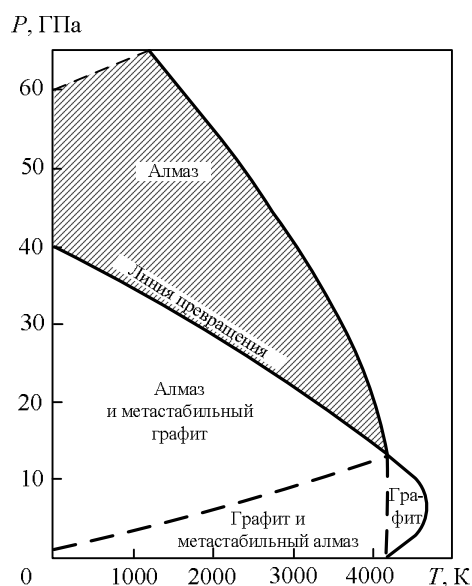


Рисунок 2 – Фазовая диаграмма состояния углерода Ф. Банди и Р. Уэнторфа

Перестройки в решетке алмаза начинаются с 1700 – 1800 °С и при этой температуре нет оснований ожидать, что решетка графита будет устойчивее. Поэтому температура в 2000 К является минимальной для получения алмаза из графита в твердой фазе, при чем опыт должен производиться при таком давлении, когда алмаз при этой температуре устойчивее графита, т.е. при давлении порядка 60 тыс. атм.

Давление, необходимое для кристаллизации алмаза в области его устойчивости, может быть уменьшено, если удастся снизить температуру, при которой возможна кристаллизация. Известно, что наличие среды, являющейся растворителем для твердой фазы или вступающей с ней в нестойкие химические соединения, может значительно облегчить рекристаллизацию.

С принципиальной точки зрения, в железе можно выкристаллизовать алмазы при температуре 1500 – 1700 К, для чего потребуется давление порядка 45 – 50 тыс. атм.

Алмаз может оказаться устойчивее графита и при небольших давлениях, если поверхностная энергия алмаза меньше поверхностной энергии графита. При этом условии для кристаллов очень малых размеров суммарная энергия алмаза будет меньше, чем энергия графита, т.е. очень мелкие кристаллы алмаза будут устойчивее очень мелких кристаллов графита.

Если образование зародышей алмаза менее вероятно, чем образование зародышей графита, то очень существенно наличие готовой алмазной затравки.

Попытки кристаллизации в присутствии алмазной затравки из газовой фазы и из раствора производились при низкой температуре и дали отрицательный результат. Так, Руфф пытался наращивать алмаз из сплава при 800 К, но при этом растворимость углерода в сплаве была ему неизвестна. Подобный опыт – в особенности кристаллизации из раствора – не представляется все же безнадежным, если взять хороший растворитель, например, железо.

Трудность такого опыта заключается в надлежащем подборе температуры кристаллизации. Для возможности роста кристалла необходимы некоторые пересыщения раствора. При этом небольшое пересыщение для алмаза будет более значительным для графита, так как равновесная концентрация растворенного или газообразного углерода над графитом меньше, чем над алмазом, поскольку алмаз менее устойчив. А так как вероятность образования зародыша растет с величиной пересыщения, то пока идет медленный рост кристалла алмаза, на нем может образовываться зародыш графита, который направит дальнейшую кристаллизацию по пути образования графита.

Следовательно, температура алмаза должна быть такова, чтобы с одной стороны, пересыщение раствора над ним было достаточно велико для обеспечения кристаллизации с нужной скоростью, а с другой стороны, чтобы пересыщение относительно графита было достаточно мало, чтобы во время роста алмаза не образовался зародыш графита.

В том случае, когда вероятность образования зародыша алмаза сравнима с вероятностью образования зародыша графита, путем закалки можно получить небольшие кристаллики алмаза. Если в опытах Муассана были получены алмазы, то их количество составляло 10^{-6} по весу от имевшегося в железе графита. Эту цифру можно в данном случае рассматривать как примерную величину отношения вероятностей образования зародышей алмаза и графита.

Исходя из этой величины, мы могли бы ожидать, что при опытах с жидким углеродом в 10 г графита должен содержаться 1 мг алмаза. Однако анализ застывшего расплавленного угля не обнаружил наличия алмаза.

Впрочем, может быть, этот путь не безнадежен при осуществлении быстрой закалки. Уголь плавится при 4000 К и при этой температуре уже само излучение вызывает быстрое охлаждение. Так, например, для капель диаметром в 1 см начальная скорость охлаждения имеет величину порядка 2500 К в 1 с и до охлаждения капли до 2500 К, т.е. до температуры, при которой рекристаллизация алмаза в графит уже затруднена, требуется около 2 с. Дальнейшее увеличение скорости закалки представляет большие трудности, но тем не менее попытки в этом направлении следует рассматривать как один из возможных путей...»

Заканчивалась работа Лейпунского О. И. таким заключением:

«1) Ввиду того, что графит представляет собой кинетически более выгодный путь кристаллизации углерода, чем алмаз, единственным надежным путем изготовления алмаза является кристаллизация или рост уже имеющихся кристалликов в области термодинамической устойчивости (при высоких давлениях) при температуре, когда возможна рекристаллизация графита.

Для этого необходимо усовершенствование техники получения высоких давлений и подбор среды для кристаллизации.

2) В области, где алмаз менее устойчив, чем графит, возможными путями являются:

- а) наращивание алмаза из раствора, содержащего углерод;
- б) закалка расплавленного угля (также при высоком давлении);
- в) спекание алмазной пудры» [5, стр. 1529].

Позднее О.И. Лейпунский конкретизировал термодинамические требования для синтеза алмаза: «Во-первых, надо нагреть графит не менее чем до 2000 К, чтобы атомы углерода могли переходить с места на место. Во-вторых, его надо при этом сжать чудовищным давлением, не меньше чем 60 тысяч атмосфер. Тогда он обязательно перейдет в алмаз, подобно тому, как камень, подброшенный рукой, обязательно поднимется в воздух» [4].

Статья О.И. Лейпунского «Об искусственных алмазах», опубликованная в журнале «Успехи химии» в 1939 г., указывала на то, что для прямого перехода графита в алмаз требуются как минимум следующие условия: $5,5 \cdot 10^9$ Па и 1750 К. В случае же использования раствора углерода в каком-либо веществе, например, в железе, давление и температура должны составлять не менее $4 \cdot 10^9$ Па и 1250 К. Впоследствии полученные

О.И. Лейпунским научные результаты были признаны открытием, зарегистрированным 29 июня 1971 года под номером 101 с приоритетом от августа 1939, т.е. даты их опубликования. О.И. Лейпунский был уверен, что синтез алмаза – перспектива недалекого будущего и в подтверждении ее реальности ссылался на профессора У.П. Бриджмена, который уже достиг давления в 50000 атм. В перспективе ожидалось увеличение этого предела до 60000-70000 атм., хотя для этого требовалась большая работа по подбору соответствующих твердых сплавов.

Научное предвидение профессора О.И. Лейпунского, основанное на глубоком проникновении в суть проблемы, и в настоящее время вызывает восхищение. Его теоретический прогноз заложил основу всех составляющих современной технологии синтеза алмазов: физико-химии процесса, общих принципов создания аппаратов высокого давления, условий синтеза, выбора отраслей приоритетного применения синтетических алмазов, а также указал всему научному и технологическому миру направление движения к лабораторной и промышленной реализации синтеза алмазов и предвосхитил достижение результатов в ближайшее время. Действительно, до успешного осуществления синтеза алмаза оставалось менее 14 лет. Возможно, что в условиях мирного времени этот путь был бы еще короче и привел бы к иному распределению первенства и лидирующей роли различных национальных научно-технологических школ.

Научно-техническое воплощение теории синтеза искусственных алмазов профессора О.И. Лейпунского

P – T параметры синтеза. Определенные О.И. Лейпунским расчетным путем $P – T$ параметры синтеза алмазов впоследствии были экспериментально подтверждены американскими исследователями Ф. Банди и Р. Уэнторфом [6] (см. таблицу 3).

Технологические условия синтеза. О.И. Лейпунский не только термодинамически обосновал возможность синтеза алмазов при определенном сочетании $P – T$ параметров, но и гениально предвосхитил его технологические условия, совокупность которых послужила основой для современной технологии каталитического синтеза:

Таблица 3 – Давление фазового превращения в системе графит - алмаз при различных температурах

T, К	$P_{пр.}$, ГПа, по данным О.И. Лейпунского [5]	$P_{пр.}$, ГПа, по данным Ф. Банди, Р. Уэнторфа [6]
1000	3,19	2,73
1400	4,22	3,82
2400	6,89	6,55
3400	9,65	8,27

- применение в качестве катализаторов – растворителей ряда металлов (никель, железо, марганец, хром и других), способных растворять угле-

род в значительных количествах (от 3 до 6 % масс.); в отечественной промышленной практике применяется сплав никеля и марганца, содержащий 38 – 40 % масс. никеля;

- механизм кристаллизации алмаза, предполагающий образование в области стабильности алмаза пересыщенного по отношению к алмазу раствора углерода в расплаве металла, но не насыщенного по отношению к графиту, что создает предпосылки для непрерывного растворения графита в расплаве и выделения из него кристаллов алмаза;
- умеренные линейные скорости роста кристаллов алмаза при длительности процесса всего лишь десятки секунд, что предопределяет их получение в основном в виде шлифпорошков и в меньшей степени в виде шлифзерна (см. таблицу 4) и требует для получения алмазов ювелирного назначения новых технологических решений.

Таблица 4 – Зависимость числа образовавшихся кристаллов алмаза и линейной скорости роста от давления при температуре 1420 К [7]

Р, ГПа	Число кристаллов	Линейная скорость роста кристаллов, мм/мин
4,75	30	0,02
5,00	70	0,04
5,25	150	0,08
5,40	250	0,15

Необходимость применения в аппаратах высокого давления новых конструкционных материалов. Сформулированный О.И. Лейпунским тезис о необходимости использования в создаваемых аппаратах высокого давления конструкционных материалов будущего оказался действительно пророческим – для изготовления частей аппаратов типа «белт» и типа наковален с углублениями в виде сферы, испытывающих в процессе работы «запредельные» нагрузки по давлению и температуре (цилиндрический пояс, матрицы, вставки опорных плит), были использованы и используются до сих пор сплавы на основе карбида вольфрама типа ВК-6 и ВК-15.

Целесообразность применения синтетических алмазов для бурения геологоразведочных и эксплуатационных скважин. О. И. Лейпунский не только заложил основы современной промышленной технологии синтеза алмазов, но и предвосхитил одно из направлений их наиболее эффективного применения. Он ознакомил со своими теоретическими разработками Л.Ф. Верещагина, будущего академика и директора Института физики высоких давлений АН СССР, вместе с которым они подготовили и направили предложение в Министерство нефтяной промышленности, надеясь вызвать интерес к будущим алмазным буровым коронкам. Позднее О.И. Лейпунский вспоминал: «Ответа мы не получили».

Способ алмазного бурения появился в 70-х годах XIX столетия и является одним из наиболее прогрессивных. Вначале использовались буровые

колонки с крупными природными алмазами типа «карбонадо» весом от 0,5 до 2,0 карат, закрепленные в корпусе коронки ручной чеканкой. В 30-х годах XX столетия для расширения объема алмазного бурения начали использовать мелкие дешевые сорта алмазов типа «борт» зернистостью 20 – 60 штук на карат. С появлением мелкоалмазных коронок были разработаны способы крепления алмазов в матрицах, получаемых литьем или спеканием методом порошковой металлургии, что оказалось значительно дешевле и надежнее. Дальнейшее развитие алмазного бурения привело к созданию нового типа инструмента – импрегнированной коронки. В отличие от однослойных коронок, в которых алмазы располагались по определенной схеме, импрегнированные имеют алмазоносный слой, представляющий собой матрицу, насыщенную по всему объему мелкими алмазами зернистостью 120 – 320 штук на карат. Появление таких коронок способствовало значительному распространению алмазного бурового инструмента как за счет расширения диапазона используемого сырья, так и благодаря эффективному использованию импрегнированных коронок при бурении очень твердых и сильно трещиноватых пород.

Однако несмотря на явные перспективы, до 1960 г. (начала промышленного производства синтетических алмазов в нашей стране) объем алмазного бурения в СССР составлял всего 0,4 % общего объема геологоразведочного бурения. Но и синтетические алмазы, выпускаемые в начале 60-х годов, по своим свойствам не были пригодны для бурения. Однако они позволили высвободить часть природных алмазов из металлообработки для буровых работ. Если раньше основная масса природных алмазов (до 70 %) дробилась на порошки и использовалась в машиностроении для изготовления алмазно-абразивного инструмента, то с 1961 года потребность в порошках стала в значительной степени компенсироваться применением синтетических алмазов. Дробление природных алмазов практически было прекращено, а поступление алмазного сырья для буровых коронок резко возросло. Это позволило увеличить объем бурения с 1961 по 1964 год в 6 раз, а к 1975 году – в 70 раз. Однако алмазов для геологоразведочного инструмента по-прежнему было недостаточно. Полностью решить проблему алмазного сырья для геологоразведочного бурения можно было только путем применения синтетических алмазов и разработки для них соответствующей конструкции бурового инструмента. И уже к середине 70-х годов эта проблема была решена – появились новые конструкции коронок, в частности, с цилиндрическими штабиками из алмазосодержащего сверхтвердого материала «славутич», которые обеспечивали эффективное бурение пород VI – XII категорий, т.е. наиболее трудно проходимых.

Таким образом, на примере этой отрасли четко прослеживается революционизирующее влияние синтетических алмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горобец Б.С. Трое из Атомного проекта (секретные физики Лейпунские): научно-историческое издание / Б.С. Горобец, Под ред. И.О. Лейпунского. – М.: УРСС, 2007. – 324 с. с ил.
2. Сетевой альманах «Еврейская старина» [Электронный ресурс] / Борис Горобец. Секретные физики Лейпунские: – Режим доступа: <http://berkovich-zametki.com/2007/Starina/Nomer4/Gorobec1.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. Синтез алмазов по Лейпунскому. Международная Еврейская Газета – МЕГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.jig.ru/index4.php/2008/07/11/sintez-almazov-po-leipunskomu.html>, свободный. – Яз. рус.
4. Лейпунский О.И. Загадки алмаза / О.И. Лейпунский // Рассказы о науке и её творцах. – М.: Наука, 1949. – 124 с.
5. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах / О.И. Лейпунский // Успехи химии. – 1939. – Т. 8. – № 10. – С. 1518 – 1534.
6. Bandy F.P. Direct conversion of graphite to diamond in stative pressure apparatus / F.P. Bandy // J. Chem. Phys. – 1963. – Vol. 38, № 3. – P. 631 – 643.
7. Галевский Г.В. Физико-химические основы технологии каталитического синтеза сверхтвёрдых материалов / Г.В. Галевский, А.М. Германский. – Л., ЛТИ им. Ленсовета, 1987. – 36 с.

УДК 666.23

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Е.Г. Дементьева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПРОФЕССОР Т. ХОЛЛ И СИНТЕЗ АЛМАЗОВ (К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА Т. ХОЛЛА И 55-ЛЕТИЮ СИНТЕЗА АЛМАЗОВ)

Изложены основные результаты научного историко-аналитического исследования жизни и деятельности профессора Т. Холла – основоположника современной технологии каталитического синтеза алмазов и талантливого создателя аппаратов высокого давления.

The main results of scientific, historic and analytical research of the life and activities of the professor T. Hall are presented. The article tells about him as the founder of modern catalytic diamonds' synthesis technology and gifted creator of high pressure apparatuses.

Синтез алмаза для современного химика столь же заманчивая задача, как получение философского камня для алхимика.

А. Ле Шателье, 1908

Одна из важных особенностей современного научно – технического прогресса – широкое использование сверхтвердых синтетических материалов. Среди них ведущее место принадлежит синтетическому алмазу.

В течении 17 – 20 столетий человечеством были предприняты неоднократные попытки синтезировать алмазы. Многие выдающиеся ученые приложили свои силы и знания к исследованию структуры и свойств алмаза, теоретическому прогнозированию Р – Т условий перехода графита в алмаз, экспериментальному поиску условий графито-алмазных превращений, созданию аппаратов для синтеза алмазов. Среди них – Г. Аверани, К.А. Тарджионо, В.Н. Каразин, Р. Бойль, А. Лавуазье, С. Теннан, Д.Б. Хенкей, А. Муассан, И. Парсонс, П.У. Бриджмен, О.И. Лейпунский, Д.А. Франк Каменецкий и др. Пионер исследований в области физики высоких давлений, Лауреат Нобелевской премии, профессор Гарвардского университета П.У. Бриджмен, обладающий также незаурядным писательским талантом, писал о синтезе алмазов: «Попытки добиться успеха в этой захватывающей проблеме обнажили весь спектр человечества. Люди, от блестящих ученых до откровенных шарлатанов и жуликов, дарили ей свой ум и страсти!» [1]. П.У. Бриджмен отмечал также, что на протяжении 25 лет в среднем 2 – 3 человека в год заявляли о том, что владеют секретом синтеза алмаза, и предлагали

войти в долю при распределении прибылей в обмен на финансирование изготовления аппарата для практической реализации идеи. Однажды он писал



Трейси Холл, 1955 г.

с характерным для него юмором, что «проблема так и просится в детективный роман, и я часто прихожу к убеждению, что успешное решение проблемы представляет опасность для жизни Алмазного синдиката». Первым исследователем, которому посчастливилось осуществить синтез алмаза, был американский ученый доктор Трейси Холл (1919 – 2008 гг.).

По данным [2], Т. Холл родился в 1919 году в Огдене, штат Ютаха, и вырос на ферме в Мариотто –

маленьком сельском городке на севере штата. С раннего детства он интересовался наукой, много времени проводил в городской Огденской библиотеке, изучал жизнь и деятельность великого изобретателя Томаса Эдисона. В пятом классе Холл поставил перед собой стратегическую задачу – быть ученым и работать в компании Т. Эдисона «Дженерал Электрик».

В 1939 г. Т. Холл получает степень бакалавра в Вебер – колледже. В 1941 г. он женится на Иде-Розе Лэнгфорд. В 1942 г. заканчивает Университет Ютахи и в 1943 получает степень магистра. Его учеба прервалась из-за начавшейся второй мировой войны, во время которой он служил в военно-морском флоте. После войны, в 1946 г. Т. Холл работает в Университете Ютахи, в котором он получил возможность обучаться у известного ученого Генри Эйрина. Обучение у Г. Эйрина способствовало тому, что Т. Холл стал уделять большое внимание изучению теоретических основ превращения графита в алмаз. В 1948 г., получив докторскую степень, Т. Холл осуществляет свою детскую мечту – устраивается на работу в исследовательскую лабораторию компании «Дженерал Электрик» в Нью-Йорке.

В 1951 г. Т. Холл входит в состав небольшой исследовательской группы, созданной в 1950 г. на базе секции механических исследований химического отдела в составе Ф.П. Банди и Х.М. Стронга для реализации научно-прикладного проекта с кодовым названием «Сверхдавление», ориентированного на конструирование аппаратуры для синтеза алмазов. В 1952 г. к исследованиям был подключен еще один химик – Р.Х. Уэнторф. Каждому из четырех были предоставлены свобода действий и неограниченные финансовые ресурсы. Работа шла по двум основным направлениям: Ф. Банди и Х. Стронг конструировали аппаратуру, а Р. Уэнторф и Т. Холл пытались подобраться к технологии: определить исходные вещества и катализаторы.

Хотя Т. Холл был химиком, он понял, что главное препятствие на пути успешного решения проблемы синтеза алмаза – отсутствие оборудования высокого давления, и разработал эскизный проект системы, впоследствии названной «халфбелт». Это был только первый шаг к успеху, но он наметил

путь к новой, ставшей знаменитой конструкции «белт». Свой первый аппарат высокого давления Т. Холл создавал на основе неофициальной договоренности с коллегами из механической мастерской. Таким же образом были изготовлены самые важные детали аппарата из твердого сплава на основе карбида вольфрама. Работа по созданию аппарата высокого давления была завершена в июле 1953 г. Применение твердого сплава позволило создать давление в 120000 атм при температуре 1800 °С и выдерживать эти параметры несколько минут. Год исследователя преследовали неудачи, но 16 декабря 1954 г. пришел первый успех. Т. Холл позднее писал: «Руки мои тряслись, учащенно билось сердце, я ощутил слабость в коленях и вынужден был сесть. Мои глаза поймали сверкнувший свет от дюжин мелких треугольных граней октаэдрических кристаллов... и я понял, что наконец-то алмазы сделаны человеком» [1]. Этот эксперимент был выполнен при давлении 70000 атм и температуре 1600 °С с использованием графита и троилита (FeS). Алмазы прилипли к танталовому диску, который использовался для подвода электрического тока при нагреве образца. Тантал, по мнению исследователя, восстанавливал FeS до металлического железа, сыгравшего роль катализатора – растворителя для графита и кристаллизационной среды для алмаза. Синтез алмаза был подтвержден 31 декабря 1954 г. Хью Вудбери. 15 февраля 1955 г. об этом было сообщено в прессе.

Аппарат для синтеза алмаза, предложенный Т. Холлом, назывался «белт» (пояс), потому что центральная часть, где происходит синтез алмазов, поддерживалась кольцом из карбида вольфрама с бандажом из высокопрочной стали (рисунки 1, 2) [3]. Два конических поршня приводились в движение с помощью большого гидравлического пресса из упрочненной стали. Главная трудность при создании аппаратов высоких давлений и температур заключается в том, что стали и другие конструкционные материалы быстро теряют свою прочность при нагреве. Эту проблему можно решить путем нагрева только внутреннего рабочего объема при соответствующей термоизоляции для предотвращения чрезмерного нагрева поршней и пояса. Группа исследователей «Дженерал электрик» с успехом использовала встречающийся в природе минерал пирофиллит: мягкий, достаточно хорошо передающий давление и в то же время обладающий высокой температурой плавления. В полость, образованную поршнями и поясом, помещали ячейку из пирофиллита с вмонтированной электропечью в виде графитовой трубки, с помощью которой достигалась необходимая температура. Зазоры между поршнями и поясом уплотнялись металлическими и пирофиллитовыми прокладками, которые выполняли также роль тепло- и электроизоляторов.

В отличие от неудачных опытов по синтезу алмазов, проводимых в 1941 – 1945 гг. компаниями «Нортон» и «Дженерал электрик» под руководством профессора П.У. Бриджмена, в экспериментах Т. Холла использовался катализатор (железо), что и предопределило успешное решение поставленной задачи [4]. Согласно патенту «Дженерал электрик» (Холл Х.Т., Стронг Х.М., Уэнторф Р.Х. США. Патент 2947610 от 10 августа 1960 г.), ти-

пичная шихта в реакционной камере представляла собой смесь 5 частей графита, 1 части железа, 1/3 части марганца и 1/3 части пентаоксида ванадия. Эту смесь запечатывали и нагревали до 1700 °С под давлением 95000 атм в течение 2 мин, затем охлаждали до 1500 °С за 8 мин. Позднее в качестве растворителя стали использовать смесь никеля и марганца, позволяющую осуществить синтез алмаза при менее жестких условиях, например, при 50000 атм и 1400 °С.

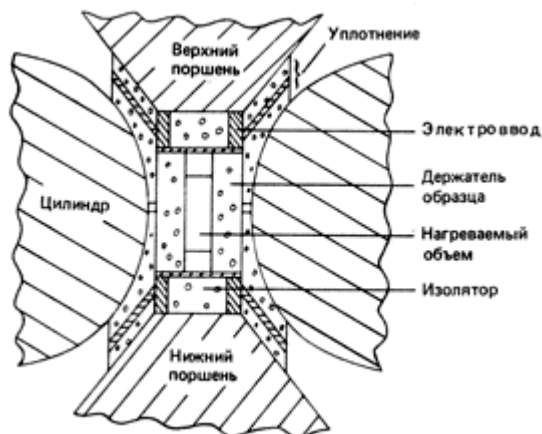


Рисунок 1 – Аппарат высокого давления типа «белт»

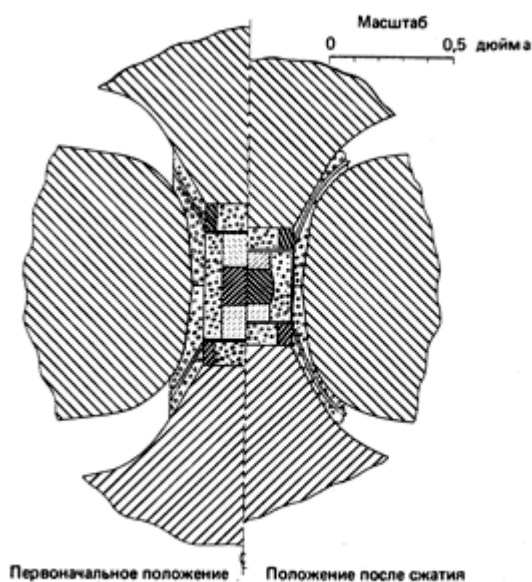


Рисунок 2 – Схема, иллюстрирующая изменение нагреваемого объема аппарата высокого давления «белт», от исходного положения до положения после сжатия

Исследовательская лаборатория компании «Дженерал электрик» представила официальный отчет об успехе группы «Сверхдавление» в 1955 г. Успешный синтез явился результатом четырехлетних исследований. Сообщение о синтезе алмазов увеличило стоимость акций «Дженерал электрик» за один день более чем на 300 млн. долларов, а акции горнорудной корпорации «Де Бирс» упали на несколько пунктов, хотя и восстановились на следующий день. Стоимость алмазов компании «Дженерал электрик» была выше, чем природных. Однако уже в 1957 г. искусственные алмазы в виде порошков, используемых для изготовления шлифовальных кругов, стали конкурировать по цене с природными. В сообщении для печати 22 октября 1957 г. говорилось, что к этому времени компанией «Дженерал электрик» произведено уже 100000 карат синтетических алмазов (цена 4,25 доллара за карат) и что в 1958 г. предполагается произвести 3,5 млн. карат. Через месяц после сообщения компании «Дженерал электрик» в 1955 г. руководство горнорудной корпорации «Де Бирс» пришло к решению о необходимости производства синтетических алмазов. Фабрика в г. Спрингсе близ Йоханнесбурга

(ЮАР), принадлежавшая корпорации, начала давать продукцию в 1958 г., а в 1963 г. открыла дочернее предприятие в г. Шанноне (Ирландия).

Так начиналось мировое промышленное производство алмазов, к 1980 г. превысившее уже более 100 млн. карат (20 т) в год. Мировое научное и технологическое сообщество получило пример блестящей коммерциализации научной разработки.

Технология синтеза алмазов, производимых компанией «Дженерал электрик», начиная с 1955 г., была строго засекречена. Т. Холлом было опубликовано лишь несколько обзорных статей [1]. Он был недоволен как установленным режимом секретности, так и финансовой политикой компании. Поэтому в сентябре 1955 г. он перешел в университет Янг Бригем на престижную должность ведущего профессора химии. В 1957 году Т. Холл конструирует первую в мире тетраэдрическую установку высокого давления и получает на нее патент (US Patent 2,918,699). Вскоре он продает свое изобретение и начинает заниматься конструированием кубического аппарата. В 1966 г. Т. Холл вместе с двумя коллегами создает компанию «Мегадаймонд», которая занимается созданием аппаратуры высокого давления и производством синтетических алмазов.



Трейси Холл рядом со своей первой тетраэдрической установкой для синтеза алмаза, ноябрь 1999 г.

Соединенные Штаты Америки высоко оценили научные, технологические, конструкторские достижения Т. Холла: в 1970 г. он получает награду «Пионер химии в области синтеза алмаза», в 1994 г. - правительственную медаль за достижения в науке и технологии, ряд университетов США, в том числе родной Университет Ютахи, присуждают ему почетную докторскую степень. Однако залогом успеха и самым главным в своей жизни Т. Холл всегда считал дом и семью.

Однако мировая научная общественность, аналитики и историки до сих пор неоднозначно оценивают успех и приоритет профессора Т. Холла в технологии синтеза алмаза. Так, Б. Горобец считает, что без фазовой диаграммы системы графит – алмаз профессора О.И. Лейпунского, предложен-

ной им в 1939 г. [5], экспериментальный результат Т. Холла был бы недостижим [6]. Д. Элуэлл признает, что первыми синтезировали алмазы специалисты фирмы ASEA (Всеобщая шведская электрическая компания) во главе с инженером Эриком Лундблатом [1]. Произошло это событие 17 февраля 1953 г. Но исследовательская группа ASEA не патентовала и не публиковала результатов своих исследований вплоть до 1960 г., а фирма не приступала к коммерческому выпуску алмазов до 1964 г. Представляется, что для этого были весомые причины, а именно:

- молчаливое признание шведскими специалистами приоритета профессора О.И. Лейпунского и пунктуальное следование его рекомендациям при выборе давления, температуры и среды – растворителя (железа);
- несоответствие достигнутых аппаратурного и технологического уровней промышленному.

Б. Горобец в [9] отмечает, что алмазы у шведов долго не получались. Сначала блок высокого давления разрывало на части. Его стягивали рояльными струнами, что увеличило прочность на порядок. Каждый раз струн наматывали по 300 км. После опыта все это разматывали и в грязном спеке искали алмазы. Сам руководитель работ Э. Лундблат писал [9]: «17 февраля 1953 г. начали в 8 утра, сняли давление в 10. Извлекли спекшийся материал из камеры часа в три. В те времена это длилось долго – пока все расковыряешь – медь, тальк, спекшееся железо. И когда на этот раз вскрыли пробу, мы сразу увидели: что-то не так. Мы считали, что у нас держалось около 80 тысяч атмосфер и примерно 2500 градусов минуты две. В серой затвердевшей массе были зерна – множество мелких кристалликов, зеленоватых, желтоватых, черных. Часа через два у нас была рентгенограмма, и она не оставляла сомнений – это были кристаллики алмаза!» Размеры алмазов составляли 0,1 – 0,5 мм. При синтезе образовалось около 20 – 50 кристаллов. На следующий день рентгенограммы, сделанные в Стокгольмском университете, также подтвердили успешный результат эксперимента.

- слабое понимание физико-химических закономерностей образования алмаза в исследуемых условиях: Э. Лундблат: «...Мы сомневались: а много ли мы знаем, что там происходит, в нашем графитовом растворе? Надо продолжать опыты, объяснить механизм. Что мы можем положить на стол, чтобы фирма брала патент и платила за него немалые деньги? Что поделат: мы, кажется, не были опытными дельцами» [1].

По мнению авторов, в основе успеха Т. Холла – благоприятное сочетание следующих обстоятельств:

- блестящее профессиональное физико-химическое образование, необычное для физика и химика креативное конструкторское мышление, позволившее в течение почти 40 лет генерировать основополагающие идеи создания аппаратов высокого давления для синтеза алмазов и кубического нитрида бора, колоссальная работоспособность, умение работать в команде;

- возможность использования гениального теоретического прогноза профессора О.И. Лейпунского (1939 г.) – Р – Т параметров и условий синтеза (наличие железа в качестве катализатора – растворителя), общедоступного и хорошо изученного специалистами США, Швеции, СССР;
- ускоряющее воздействие сформировавшейся в мире к началу 50-х годов жесткой научно-технологической конкурентной среды, способствующей высокой плотности достигнутых результатов по синтезу алмаза: 1953 г. – Швеция, 1955 г. – США, 1960 г. – СССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Элуэл Л. Искусственные драгоценные камни: Пер. с англ. Р.А. Имбулатова / Л. Элуэл. – М. : Мир, 1981. – 176 с. с ил.
2. Н. Trasy Hall [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://67.50.46.175/History/bio.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
3. Галевский Г.В. Аппараты высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов / Г.В. Галевский, А.М. Германский, В.В. Работнов. – Л.: ЛТИ, 1985. – 36 с. с ил.
4. Галевский Г.В. Физико-химические основы каталитического синтеза сверхтвердых материалов / Г.В. Галевский, А.М. Германский. – Л.: ЛТИ, 1987. – 36 с. с ил.
5. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах / О.И. Лейпунский // Успехи химии. – 1939. – Т. 8. – № 10. – С. 1518 – 1534.
6. Горобец Б. Трое из Атомного проекта. Секретные физики Лейпунские / Б. Горобец. – М.: Изд-во УРСС, 2008. – 324 с. с ил.
7. Н. Trasy Hall Foundation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://67.50.46.175/index.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
8. Н. Trasy Hall Foundation High Pressure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.htrasyhall.org>, свободный. – Яз. англ.
9. Синтез алмазов по Лейпунскому. Международная Еврейская Газета – МЕГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.jig.ru/index4.php/2008/07/11/sintez-almazov-po-leipunskomu.html>, свободный. – Яз. рус.

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПРИВЕДЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА К КЛАССИЧЕСКОМУ ВИДУ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ЧЛЕНА, СВЯЗАННОГО С ВОЛНОВЫМИ СВОЙСТВАМИ ЭЛЕКТРОНА

Рассмотрена возможность приведения уравнения Шредингера к классическому виду с выделением члена, связанного с волновыми свойствами электрона.

Possibility of bringing equalization over of Shredinger is considered to the classic kind with the selection of member, related to wave properties of electron.

Существуют две несовместимые системы рассуждений о физических причинах образования химической связи. Одна из них высказана Гельманом [1] и другими [2]. Они исходят из предположения, что связывание атомов вызвано понижением кинетической энергии $\xi_{кин}$ за счет обменного члена в обобщенной волновой функции (ВФ), построенной из отдельных атомных орбиталей.

Другая школа в этой области критикует такой подход [3, 4], подчеркивая, что теорема вириала справедлива как для молекул, так и для атомов в состоянии равновесия, то есть

$$\Delta E_{пот} = -2\Delta E_{кин}, \quad (1)$$

где $\Delta E_{пот}$ – изменение потенциальной энергии, $\Delta E_{кин}$ – изменение кинетической энергии.

Такая разногласица в объяснении природы химической связи объясняется тем, что авторы многих работ применяют в квантово-механических расчетах «деревянные» ВФ [5], и в их результатах трудно, а иногда, и невозможно вскрыть физический смысл отдельных членов, входящих в выражение полной энергии.

Покажем, что приближения постоянной электронной плотности (ПЭП) дают эвристическую модель химической связи, которая дает физически прозрачную картину данной проблемы.

Чтобы показать, как изменяется кинетическая энергия при переходе от атома к молекуле или кристаллу, запишем уравнение Шредингера для радиальной части $R(r)$ волновой функции в потенциальном поле ядра с зарядом Z

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 R(r) + \left[-\frac{Ze}{r} + \frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{l(l+1)}{r^2} \right] \cdot R(r) = ER(r) \quad (2)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h – постоянная Планка; e , m , E – заряд, масса и энергия электрона; Z – заряд ядра, l – орбитальное квантовое число.

В атомных единицах $\hbar = m = |e| = 1$. Так как $l = n - 1$ и $l + 1 = n$, где n – главное квантовое число, то уравнение (2) переписывается в виде

$$-\frac{1}{2}\nabla^2 R(r) + \left[-\frac{Z}{r} + \frac{n(n-1)}{2r^2} \right] \cdot R(r) = ER(r). \quad (3)$$

Для наших целей выберем радиальную ВФ по Слэтеру [6]

$$R(r) = Ar^{n^*-1} \exp\left(-\frac{Z^* r}{n^*}\right), \quad (4)$$

где A – нормировочный множитель, n^* , Z^* – эффективные число и заряд ядра.

ВФ (4) будет решением уравнения (3), если в последнем положить $n \equiv n^*$, $Z \equiv Z^*$, и (3) записать в виде

$$-\frac{1}{2}\nabla^2 R(r) + \left[-\frac{Z^*}{r} + \frac{n^*(n^*-1)}{2r^2} \right] \cdot R(r) = ER(r). \quad (3.1)$$

Решение (3.1) с ВФ типа (4) дает

$$E = -\frac{Z^{*2}}{2n^{*2}}; \quad \overline{r^{-1}} = \frac{Z^*}{n^{*2}}; \quad r = \frac{n^{*2}}{Z^*}, \quad (5)$$

где $\overline{r^{-1}}$ – квантово-механическое среднее значение величины $1/r$;

$\overline{r^{-1}} = \int_0^\infty R(r) \frac{1}{r} R(r) r^2 dr$; r – классическое значение радиуса электронного рас-

пределения, при котором выполняется теорема вириала.

Заметим, что в (3.1) квантово-механический член

$$E_{кин}^{кв} = -\frac{1}{2}\nabla^2 R(r) \quad (6)$$

обязан волновым свойствам частицы.

Запишем (3.1) без члена (6)

$$\left[-\frac{Z^*}{r} + \frac{n^*(n^*-1)}{2r^2} \right] \cdot R(r) = ER(r). \quad (7)$$

В выражении (6) нет дифференциальных операторов, действующих на ВФ, поэтому $R(r)$ выступает как сомножитель и его можно сократить

$$\left[-\frac{Z^*}{r} + \frac{n^*(n^*-1)}{2r^2} \right] = E. \quad (8)$$

Добавим в центробежный член $V = \frac{n^*(n^* - 1)}{2r^2}$ дополнительное слагаемое $\frac{n^*}{2r^2}$, тогда (8) запишется в виде

$$-\frac{Z^*}{r} + \frac{n^*(n^* - 1)}{2r^2} + \frac{n^*}{2r^2} = -\frac{Z^*}{r} + \frac{n^{*2}}{2r^2} = E. \quad (9)$$

Его решение дает те же результаты, что и решение уравнения (3.1) с квантово-механическим членом

$$E = -\frac{Z^{*2}}{2n^{*2}}; \quad r = \frac{n^{*2}}{Z^*}; \quad r^{-1} = \frac{1}{r} = \frac{Z^*}{n^{*2}}. \quad (10)$$

Следовательно, при замене (3.1) на классическое уравнение (9) необходимо в центробежный член уравнения (3.1) добавить дополнительное слагаемое $\frac{n^*}{2r^2}$ и вычесть квантово-механическое слагаемое (6), которое тождественно кинетической энергии частицы. Этот кинетический член в (9) равен

$$E_{\text{кин}} = \frac{n^*}{2r^2} \quad (11)$$

и будет изменяться при взаимодействии атомов в молекулах и кристаллах.

Уравнение (9) чисто классическое по виду и смыслу. В нем нет параметров, связанных с электронным распределением в поле ядра с зарядом Z . Будем считать, что все электроны с одним значением главного квантового числа n^* распределены по сфере, имеющей объем V_0 с постоянной электронной плотностью $\rho(V) = \frac{1}{V_0} = \frac{3}{4\pi r_0^3}$, где V_0 , r_0 – объем и радиус сферы, занятый электроном.

Элемент объема в сферических координатах равен $dV = 4\pi r^2 dr$. Для потенциальной энергии электрона в поле ядра с зарядом Z имеем выражение

$$E_{\text{ном}} = \int_V -\frac{Z^*}{r} \rho(V) dV = -\frac{3Z^*}{4\pi r_0^3} \int_0^r \frac{4\pi r^2}{r} dr = -\frac{1,5Z^*}{r}. \quad (12)$$

С учетом (9 – 12) запишем уравнение для полной энергии электрона в приближении постоянной электронной плотности

$$-\frac{1,5Z^*}{r} + \frac{Bn^{*2}}{2r^2} = -\frac{Z^{*2}}{2n^{*2}}, \quad (13)$$

где B – постоянная, которую необходимо определить.

После дифференцирования выражения (13) по r и подстановки найденного оптимального значения r в (13), находим значение коэффициента $B = 2,25$.

Окончательный вид преобразованного выражения (9) в приближении ПЭП принимает форму

$$E = -\frac{1,5Z^*}{r} + \frac{1,125n^{*2}}{r^2}$$

или

$$E = -\frac{1,5Z^*}{r} + \frac{1,125n^*(n^* - 1)}{r^2} + \frac{1,125n^*}{r^2}. \quad (14)$$

Последний член в (14) обязан волновыми свойствами частицы и возвращаясь к радиальному уравнению Шредингера (3.1) запишем очевидное тождество

$$\Delta E_{кин} = \frac{1,125n^*}{r^2} \equiv \frac{1}{2} \nabla^2 R(r).$$

Данный член, уменьшаясь при взаимодействии электрона с окружающими атомами, приводит к образованию химической связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельман Г. Квантовая химия / Г. Гельман. – М.: Мир, 1948. – 380 с.
2. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел / Р. Пайерлс. – М.: ИЛ, 1956. – 316 с.
3. Козман У. Введение в квантовую химию / У. Козман. – М.: ИЛ, 1960. – 560 с.
4. Р.О. Lowdin // Mol. Spectroscopy. – 1959. – № 3. – Р. 46.
5. Рюденберг К. Физическая природа химической связи / К. Рюденберг. – М.: ИЛ., 1964. – 162 с.

И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ЭФФЕКТИВНЫЕ КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА ВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ЗНАЧЕНИЮ МЕЖАТОМНОГО РАССТОЯНИЯ В ГОМОЯДЕРНЫХ ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛАХ (A_2)³

В статье предложен новый способ определения эффективных квантовых чисел валентных электронов.

The new method of determination of effective quantum numbers of valency electrons is offered in the article.

В классическом варианте для расчета потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром используется выражение $1/r$, где r – расстояние между взаимодействующими частицами.

В квантовой механике электронные распределения диффузны. Поэтому для определения потенциальной энергии взаимодействия частиц рассчитывается математическое среднее значение аналогичной величины $\overline{r^{-1}}$ с использованием уже известных волновых функций (ВФ). Методика постоянной электронной плотности (ПЭП) [2] для электронных распределений позволяет определить величину $\overline{r^{-1}}$ из экспериментальных данных, не прибегая к расчету ВФ квантовомеханическими методами.

Кинетическая энергия электронов, взаимодействующих по закону r^{-1} в системе частиц в соответствии с теоремой вириала, равна половине потенциальной энергии. Поэтому, определив квантовомеханическое значение $\overline{r^{-1}}$ любым методическим приемом, мы можем рассчитать с той же точностью общую энергию связи молекул и кристаллов.

В работе [1] показано, что классическим аналогом уравнения Шредингера является выражение

$$E = -\frac{1,5Z^*}{r} + \frac{1,125n^*(n^*-1)}{r^2} + \frac{1,125n^*}{r^2} \quad (1)$$

где E – энергия электрона; Z^* , n^* – эффективные заряд ядра и квантовое число; r – радиальная координата.

³ В работе принята атомная система единиц $e/\hbar=m_e=1$

В выражении (1) член $\Delta E_{кин} = \frac{1,125n^*}{r^{*2}}$ обязан волновыми свойствами электрона и его изменение при взаимодействии данного атома с соседними приводит к образованию химической связи.

Рассмотрим образование двухатомной связи в модели ПЭП. Электрон при образовании связи свободно проникает из одной атомной сферы, объемом $V_{ат} = \frac{4}{3}\pi r^3$, в соседнюю. Общий объем двух сфер равен

$$2V_{ат} = \frac{4}{3}\pi[(1+1)^{1/3}r]^3 \quad (2)$$

квадрат радиуса ($r_{A_2}^2$) двух сфер запишется так

$$r_{A_2}^2 = (1+1)^{2/3}r^2 \quad (2.1)$$

Следовательно, кинетическая энергия электрона в молекулярной двухатомной ячейке понижается в соответствии с выражением

$$\Delta E_{кин} = \frac{1,125n}{r^2(1+1)^{2/3}} \quad (3)$$

В общем случае, при k – свободных квантовых орбиталей на соседних атомах понижение кинетической энергии составит

$$\Delta E_{кин} = \frac{1,125n}{r^2(1+k)^{2/3}}. \quad (4)$$

Запишем полное выражение для кинетической энергии электронов связи с учетом центробежного члена

$$E_{кин} = \frac{1,125n^*(n^*-1)}{r^2} + \frac{1,125n^*}{(1+k)^{2/3}r^2} = \frac{1,125}{r^2}[n^*(n^*-\Delta)], \quad (5)$$

где Δ – квантовый дефект, возникающий от квантового взаимодействия электрона с соседними атомами.

$$\Delta = 1 - \frac{1}{(1+k)^{2/3}}. \quad (5.1)$$

Общая энергия связи E_{A_2} взаимодействующих атомов в молекуле A_2 дается выражением

$$E_{A_2} = -\frac{1,5(Z^* - \sigma)}{r} + \frac{1,125}{r^2}[n^*(n^* - \Delta)], \quad (6)$$

где σ – константа экранирования, обусловленная взаимодействием с электронами соседних атомов.

Два электрона ($N=2$) на атомных орбиталях (nS^2) экранируют друг друга от ядра с константой равной [2]

$$\sigma_{ат} = (0,4 \cdot N - 0,3054N^{1/3}) \frac{2N-1}{2N} = 0,3114$$

В молекуле A_2 вероятность нахождения электронов у каждого ядра (иона) уменьшается в два раза по сравнению с двухэлектронной оболочкой свободного атома, т.е.

$$\sigma = \frac{1}{2} \sigma_{am} = 0,1557 \quad (7)$$

С использованием эффективных параметров Z^* и n^* квантовомеханическая величина $\overline{r^{-1}}$ и потенциал ионизации (J) валентного электрона атома определяются выражениями

$$\overline{r^{-1}} = \frac{Z^*}{n^{*2}} \quad (8)$$

$$J = \frac{Z^{*2}}{2n^{*2}} \quad (9)$$

Таким образом, если известно экспериментальное значение J и $\overline{r^{-1}}$ из точных расчетов электронных распределений атомов, то искомые значения определяются так

$$n^* = \frac{\sqrt{2J}}{\overline{r^{-1}}} \quad (10)$$

$$Z^* = n^* \sqrt{2J} \quad (11)$$

Запишем выражение (6) в более компактной форме. После дифференцирования (6) по r находим

$$r_0 = \frac{1,5n^*(n^* - \Delta)}{Z^* - \sigma} = \frac{1,5n_{A_2}^2}{Z_{A_2}^*} \quad (12)$$

$$E_{A_2} = \frac{-(Z^* - \sigma)^2}{n^*(n^* - \Delta)} = -\frac{(Z^* - \sigma)^2}{n_{A_2}^2} \quad (13)$$

где $Z_{A_2}^*$ – эффективный заряд ядра в молекуле A_2 ; r_0 – радиус одной атомной сферы в молекулярной ячейке; E_{A_2} – энергия двух ковалентных электронов в молекуле A_2 ; $n_{A_2} = \sqrt{n^*(n^* - \Delta)}$ – эффективное квантовое число валентного электрона в молекуле.

Межатомное расстояние R_{ab} в молекуле A_2 равно радиусу молекулярной ячейки, которое равно в соответствии с (2.1)

$$R_{ab} = (1+1)^{1/3} r_0 = \frac{1,26 \cdot 1,5n_{A_2}^2}{Z_{A_2}^*} = \frac{1,89n_{A_2}^2}{Z_{A_2}^*} \quad (14)$$

Для молекулы A_2 в выражении (5.1) $k=1$ и величина $\Delta=0,37$.

Межатомное расстояние R_{ab} в A_2 определено экспериментальными методами достаточно точно. Тогда, используя экспериментальные значения потенциала ионизации J и R_{ab} и совместно решая соответствующие выражения

(9) и (14), получаем квадратное уравнение для нахождения эффективного квантового числа атомного электрона

$$n^{*2} - \left[\frac{R_{ab} \sqrt{2J}}{1,89} + 0,37 \right] n^* + \frac{0,1557}{1,89} R_{ab} = 0; \quad (15)$$

или

$$n^{*2} - 0,5291 R_{ab} \sqrt{2J} + 0,37) n^* + 0,08238 R_{ab} = 0.$$

После определения n^* по (15), восстанавливаем Z^* по (11) и $\overline{r^{-1}}$ по (8). Выполним расчеты для молекул A_2 (Li_2 , Na_2 , K_2 , Rb_2 , Cs_2) и сведем их в таблицу 1.

Сравнение величины $\overline{r^{-1}}$, определенной различными методами, показывает, что значение $\overline{r^{-1}}$ по (8) лежит между $\overline{r_{X\Phi}^{-1}}$ и $\overline{r_{X\Phi C}^{-1}}$ за исключением атома Li ($\overline{r^{-1}} < \overline{r_{X\Phi}^{-1}}$). Источники несоответствия заключаются в тех приближениях, которые положены в основу методов ХФ и ХФС. Кроме того, R_{ab} для Li_2 и Na_2 определены с минимальной ошибкой. Для K_2 , Rb_2 , Cs_2 различные источники дают различные значения R_{ab} , что связано с ошибками методик, применяемых в цитируемых работах.

Значения R_{ab} , данные в скобках, оценочные на основе изменения данного параметра в гомологических рядах [5].

В таблице приведены расчетные и экспериментальные параметры атомов. Значения $\overline{r^{-1}}$, $\overline{r_{X\Phi}^{-1}}$, $\overline{r_{X\Phi C}^{-1}}$, $J_{X\Phi}$ и $J_{X\Phi C}$ взяты из таблиц, которые составлены из расчетов ВФ и других атомных параметров методами ХФ и ХФС. Следует отметить, что при расчете атомных свойств по методам ХФ и ХФС условие самосогласования для внешних электронов достигается очень медленно. Медленная итерационная сходимость связана с тем, что изменение потенциала приводит к изменению положения энергетического уровня и, следовательно, к изменению экспоненциального хвоста ВФ, а с ней и плотности заряда, и, наконец, самого потенциала. В этом смысле, граница атома подвижна, она изменяется в процессе расчета, то уменьшаясь, то увеличиваясь относительно точного значения, которое может быть достигнуто в данных методиках расчета. Далее, если значение энергии уровня получено на n -шаге итерации, то ВФ, значения $\overline{r^{-1}}$, $\overline{r^{-2}}$, $\overline{r^2}$ и других параметров будут соответствовать $(n-1)$ шагу, т.е. ошибка в определении геометрических параметров электронного распределения будет больше, чем при определении энергетических параметров.

Таблица – Расчетные значения $\overline{r^{-1}}$ для nS-электронов на основе экспериментальных данных ($J; R_{ab}$), $\overline{r_{X\Phi}^{-1}}$ по Хартри – Фоку, $\overline{r_{X\Phi C}^{-1}}$ – по Хартри – Фоку – Слетеру (ат. единицы) с учетом релятивистских эффектов

Атом (молекула)	Параметр							
	$J = J_{экс}$ [4]	$\frac{J_{X\Phi}[3]}{J_{X\Phi C}[6]}$	$R_{ab}[5]$	$n^*(10)$	$Z^*(11)$	$\overline{r^{-1}}(8)$	$\overline{r_{X\Phi}^{-1}}[3]$	$\overline{r_{X\Phi C}^{-1}}[6]$
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Li</i> (<i>Li</i> ₂)	0,1981	$\frac{0,1963}{0,202}$	5,0493	1,823	1,1475	0,3453	0,3454	0,3654
<i>Na</i> (<i>Na</i> ₂)	0,1888	$\frac{0,1821}{0,1895}$	5,825	2,023	1,2432	0,3037	0,3014	0,3245
<i>K</i> (<i>K</i> ₂)	0,1595	$\frac{0,1475}{0,1552}$	7,413[5] 7,43[9]	2,32 2,36	1,3103 1,3328	0,2434 0,2433	0,2366	0,2587
<i>Rb</i> (<i>Rb</i> ₂)	0,1535	$\frac{0,1380}{0,1480}$	(7,75)[5] (7,80)[9]	2,37 2,3874	1,3132 1,3228	0,2338 0,2321	0,2178	0,2429
<i>Cs</i> (<i>Cs</i> ₂)	0,1431	$\frac{0,1236}{0,1363}$	(8,13)[5] (8,48)[9]	2,3907 2,49	1,2788 1,3322	0,2238 0,2149	0,1922	0,2206

В методе ХФ не учитываются два эффекта: эффекты корреляции электронов и релятивистские эффекты во внутренней оболочке атомов. Эффекты корреляции тем больше, чем меньше кинетическая энергия взаимодействующих электронов. Локальная кинетическая энергия пропорциональна квадрату градиента ВФ (ψ) в данной точке пространства атома, т.е.

$$dE_{кин} \approx \left(\frac{d\psi}{dr} \right)^2 dV.$$

Максимальные градиенты ВФ внутренних и внешних электронов достигаются вблизи ядра, минимальные – в области экспоненциального хвоста ВФ внутренних электронов. При учете корреляционных эффектов внешний электрон выталкивается из внутренних областей ионной оболочки на ее периферию. Это приведет к увеличению расстояния радиального распределения внешнего электрона (r_{nS}) и в соответствии с выражениями (8, 9, 15) к уменьшению $\overline{r_{nS}^{-1}}$, а, следовательно, и к увеличению межатомного расстояния R_{ab} . Данный эффект будет проявляться у легких атомов щелочных металлов (*Li* – *K*), для которых релятивистские эффекты еще незначимы.

Для тяжелых атомов (*Rb*, *Cs*) релятивистские эффекты значительны и превалируют над корреляционными, особенно для электронов внутренних оболочек. Ионная оболочка уменьшает свои радиальные размеры по сравне-

нию с расчетами по ХФ (без релятивистских поправок), внешний электрон приближается к ядру, $\overline{r_{nS}^{-1}}$, наоборот, увеличивается и, соответственно R_{ab} в молекулах Rb_2 и Cs_2 с учетом релятивистских поправок будут иметь меньшие значения.

Следуя Э. Клементи [7] за энергию корреляции электронов принимается разность между точной (нерелятивистской) энергией и энергией, полученной методом Хартри-Фока

$$\Delta E_{кор} = E_{точн} - E_{ХФ}.$$

Но в методе ХФ часть радиальной энергии корреляции уже учитывается. Это связано с теми приближениями, которые положены в его основу.

Пробная ВФ самосогласуется с потенциалом, который определяется из ВФ на $(n-1)$ шаге итерационного процесса. Другими словами, $(N-1)$ электроны всегда расположены ближе или дальше от ядра, чем электрон, для которого определяется ВФ. Так простой метод расщепления орбиталей [8] дает для энергии радиальной корреляции двух электронов атома гелия значение $\Delta E_{кор} = -(2,876 - 2,848) = -0,028$ а.е., где $E_{He} = -2,876$ а.е., и $E_{He} = -0,2848$ а.е. значения энергии атома He , полученные методами с расщеплением и без расщепления орбиталей.

Все вышесказанное приводит к ошибкам в определении $\overline{r_{nS}^{-1}}$ по ХФ, оно может быть больше или меньше истинного значения. Кроме того, в методе ХФ не учитывается поляризационный потенциал, который действует на внешний nS -электрон со стороны ионного остова. Он дополнительно приближает внешний электрон к ядру, т.е. увеличивает значение $\overline{r_{nS}^{-1}}$.

Результаты метода ХФС с учетом релятивистских эффектов также даны без корреляционных поправок [6]. Кроме того, он использует локальный обменный потенциал Слэтера, применяемый в модели свободных электронов. Он частично нарушает ортогональность атомных ВФ, электронные распределения располагаются ближе к ядру, а $\overline{r_{ХФС}^{-1}}$, наоборот, увеличиваются по сравнению с $\overline{r_{ХФ}^{-1}}$. В соответствии с этим, потенциалы ионизации $J_{ХФС} > J_{экс}$ для nS -электронов атомов Li и Na , для которых релятивистские поправки практически не проявляются.

Полных расчетов атомных систем по ХФ с учетом корреляционных и релятивистских поправок до сих пор не проводилось. Это связано с их громоздкостью, неоправданно большой затратой машинного времени. Кроме того, математические методы учета корреляции электронов недостаточно разработаны. Расширенный метод ХФ с учетом конфигурационного взаимодействия (КВ) должен включать конфигурации одной симметрии бесконечного ряда и состояния сплошного спектра. В практических расчетах этот ряд всегда разумно ограничивают. Что касается энергетических параметров, их можно определить из эксперимента с достаточной точностью, но геометри-

ческие параметры плотности электронного распределения, к которым относятся $\overline{r^{-1}}$, $\overline{r^{-2}}$, $\overline{r^2}$ и т.п., экспериментально не определяются из-за отсутствия соответствующих методик. Они могут быть определены только расчетным путем, но ВФ электронных орбиталей, из которых определяются $\overline{r^{-1}}$, $\overline{r^{-2}}$, $\overline{r^2}$ и т.п., в настоящее время определены с большей погрешностью и расчетные ВФ не соответствуют экспериментальным значениям уровней энергии.

Остается один путь: $\overline{r_{nS}^{-1}}$ определить из экспериментального значения R_{ab} для молекул A_2 , т.к. они связаны посредством формул (8, 9, 14, 15), а затем переопределить эффективные квантовые числа n^* и заряды Z^* по тем же формулам (8, 9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селянин И.Ф. Приведение уравнения Шредингера к классическому виду с выделением члена, связанного с волновыми свойствами электрона / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько // С. 160 – 163 настоящего сборника.
2. Селянин И.Ф. К расчету энергии атомов и их систем в приближении постоянной электронной плотности / И.Ф. Селянин, В.Я. Целлермаер, А.И. Куценко // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 10. – С.44 – 46.
3. Ch.F.Fischer // Atomic Data. – 1972. – V26. P39. – P. 301 – 399.
4. Радциг А.А. Справочник по атомной и молекулярной физике / А.А. Радциг, Б.М. Смирнов. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с.
5. Молекулярные постоянные неорганических соединений: Справочник / К.С. Краснов, Н.В. Филиппенко, В.А. Бобкова и др. Под ред. К.С. Краснова – Л.: Химия, 1979. – 448 с.
6. С.С. Lu, Т.А. Carlson, F.V. Malik // Atomic Data. – 1971. – P.3, №1. – P. 100 – 131.
7. Минкин В.И. Теория строения молекул / В.И. Минкин, Б.Я. Симкин, Р.М. Миняев. – М.: Высшая школа, 1979. – 407 с.
8. Цюлике А. Квантовая химия / А. Цюлике. Т. 1. – М.: Мир, 1976. – 512 с.
9. Щукарев С.А. Неорганическая химия / С.А. Щукарев. Т. 1. – М.: Высшая школа, 1970. – 353 с.

УДК 669.295.69:621.793

С.В. Карпий, Е.С. Ващук, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

* Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ЗОНУ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО АЛИТИРОВАНИЯ ТИТАНА

Методами световой и растровой электронной микроскопии поверхности и косых шлифов, рентгеноспектрального микроанализа, рентгеноструктурного фазового анализа, измерения микротвердости изучены особенности фазового состава и зоны электровзрывного алитирования титана после дополнительной электронно-пучковой обработки. Показано, что с увеличением количества импульсов обработки микротвердость поверхности монотонно падает, а с увеличением интенсивности растет. Обсуждение результатов проведено с учетом анализа влияния электронной обработки на перераспределение концентрации алюминия по глубине зоны легирования.

The peculiarities of phase composition titanium zone of electroexplosive aluminizing after subsequent electron beam treatment are studied by methods of the light and electron scanning microscopy of a surface and metallographic sections, X-ray spectral microanalysis, X-ray phase analysis and microhardness measurements. It is shown, that surface microhardness monotonously decreases with the quantity of pulses intensity increase. The discussion of results is carried out in view of analysis of electron beam treatment influence on the redistribution of aluminium concentration of the alloying zone depth.

Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ (проекты №№ 08-02-00024; 08-02-12012 и 09-02-00020) и программы Президиума РАН (проект № 27.4).

Электровзрывное легирование (ЭВЛ) один из эффективных способов поверхностного упрочения поверхности металлов и сплавов. Инструментом воздействия на поверхность при ЭВЛ являются импульсные плазменные струи, формируемые при разряде емкостных накопителей энергии через проводники. Рабочее вещество плазменного ускорителя, получаемое при электровзрыве проводников, служит как для нагрева поверхностных слоев металлов, так и для их легирования. Важной особенностью такой обработки

является сильное влияние на расплав давления струи, проявляющееся в развитии конвективных процессов тепломассопереноса. Благодаря этому достигается высокая (порядка 10 ат. %) степень легирования плазменным компонентом струи, которое осуществляется на всю глубину оплаваемых слоев (до 20–40 мкм).

Ранее было показано [1], что дополнительная модификация структуры легирования может быть выполнена с использованием импульсных электронных пучков субмиллисекундной длительности воздействия на установке ИСЭ СО РАН «SOLO». Такая обработка, так же как и ЭВЛ, вызывает оплавление поверхности с последующей самозакалкой со сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения, при этом из-за отсутствия давления на облучаемую поверхность удается сгладить шероховатость рельефа, характерную для плазменной обработки. В результате комбинированной обработки в зоне воздействия формируется многофазная градиентная субмикро- и наноразмерная структура, непрерывно переходящая в материал основы. Обработка приводит к кратному повышению функциональных характеристик поверхностных слоев, таких как микротвердость, износ- и жаростойкость, недостижимому при использовании имеющихся в настоящее время промышленных технологий обработки металлических материалов. Широкая область промышленного применения разрабатываемой технологии обусловлена возможностью выбора материалов взрывааемых проводников и порошковых навесок, помещаемых в области взрыва в качестве легирующих материалов, и изменения параметров воздействия на поверхность как при ЭВЛ, так и при последующей электронно-пучковой обработке с целью оптимизации структурно-фазового состояния формируемых слоев.

Целью настоящей работы является изучение возможности использования комбинированного электровзрывного и электронно-пучкового воздействия для повышения функциональных характеристик технически чистого титана.

В настоящей работе в качестве взрываемого проводника были использованы тонкие алюминиевые фольги массой 40 мг. В качестве материала исследования использовали технически чистый титан ВТ1-0 (Ti–0,01Al–0,002Si–0,12Fe–0,004C–0,143O–0,003N–0,0008H). ЭВЛ осуществляли путем электрического взрыва алюминиевых фольг толщиной 20 мкм. Условия для осуществления импульсного жидкофазного легирования без выплеска расплава под действием струи на поверхность задавали величиной зарядного напряжения накопителя энергии ускорителя, диаметра канала сопла и расстояния от его среза до образца, которые составили соответственно 1,8 кВ, 20 и 20 мм. При этом глубина и радиус зоны легирования были максимальными. Время обработки составляло 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи – 3,7 ГВт/м², давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности – 9,3 МПа. При этом толщина зоны легирования в ее центральной области достигала 25 мкм [2].

Для получения поверхностных слоев с высокими физико-механическими и, прежде всего, трибологическими свойствами после ЭВЛ проводили дополнительную финишную обработку низкоэнергетическими ($E \leq 20$ кэВ) сильноточными ($I \leq 100$ А) электронными пучками (НСЭП) миллисекундной длительности, позволяющая вводить в тонкий (до 10 мкм) слой высокую плотность энергии E_S (до 100 Дж/см²) за короткий промежуток времени τ (порядка 10^{-4} – 10^{-5} с). Плотность энергии пучка электронов E_S изменяли в пределах от 10 до 30 Дж/см²; число импульсов воздействия пучка N от 2 до 200. При этом длительность импульса воздействия пучка $\tau = 50$ мкс; частота следования импульсов $f = 0,3$ Гц.

Исследования структуры поверхности ЭВЛ и облучения электронным пучком проводили методами оптической и электронной сканирующей микроскопии, рентгеноструктурного фазового анализа, измерения микротвердости.

По данным рентгеноспектрального микроанализа содержание алюминия в зоне ЭВЛ составляло 4,7 %. Фазовый состав легированных слоев образовывали твердые растворы Ti и Al, а также интерметаллиды TiAl и TiAl₃ (рис. 1, а). Однако после дополнительной электронно-пучковой обработки содержание алюминия на поверхности уменьшилось. Так, после обработки при $E_S = 10$ Дж/см² и $N = 5$ оно составило 2,5 %, а после обработки при $E_S = 25$ Дж/см² и $N = 2$ – 1,1 %. При этом интерметаллидные пики на дифрактограммах не обнаруживались (рис. 1, б). Из сплавов первым испаряется компонент, у которого больше давление насыщенных паров. По данным [3] при температуре 2000 К давление насыщенных паров титана составляет ~1 Па, а алюминия – ~1000 Па. Это говорит о том, что при электронно-пучковой обработке с оплавлением поверхности алюминий заметно испаряется.

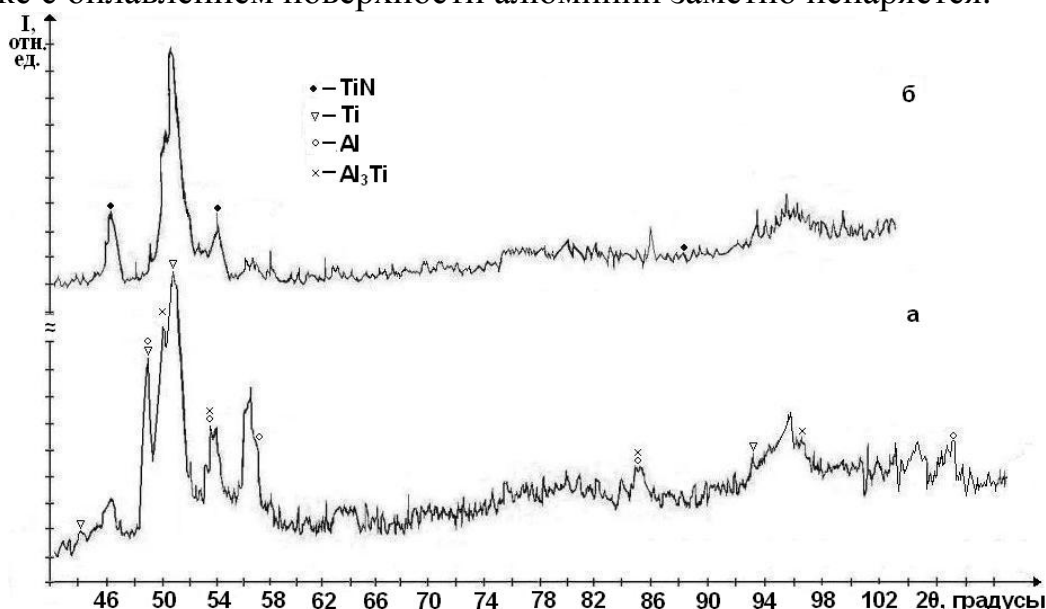


Рисунок 1 – Фрагменты дифрактограмм поверхности электровзрывного легирования сплава ВТ1-0, полученные в излучении железного анода:

а – после дополнительной электронно-пучковой обработки при $E_S = 10$ Дж/см² и $N = 5$; б – исходный

Увеличение числа импульсов электронно-пучковой обработки приводит к монотонному падению микротвердости поверхности облучения (рис. 2, *а*). Как видно, при $N = 200$ микротвердость поверхности почти не отличается от исходной. В то же время увеличение плотности энергии импульсов в интервале от 10 до 30 Дж/см² приводит к монотонному увеличению микротвердости (рис. 2, *б*). Это, по-видимому, обусловлено увеличением скорости охлаждения поверхностных слоев и, соответственно, усилением закалочных эффектов.

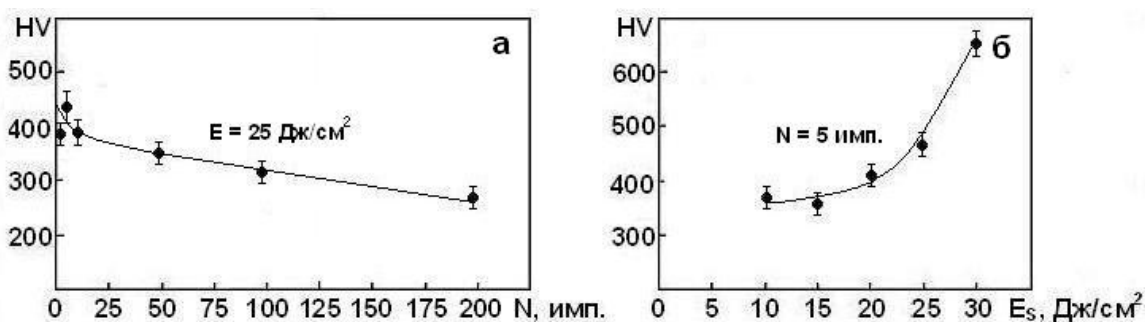


Рисунок 2 – Поведение микротвердости поверхности алитированных слоев сплава ВТ1-0 при изменении параметров электронно-пучковой обработки: *а* – числа импульсов; *б* – их энергии

Анализ полученных результатов показывает, что для повышения термической стабильности зоны электровзрывного алитирования титана необходимо использовать дополнительное легирование ее тугоплавким компонентом, например бором. При этом режим дополнительной электронно-пучковой обработки должен быть высокоинтенсивным ($E_s \geq 25$ или 30 Дж/см²) и с небольшим количеством импульсов ($N \leq 50$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модификация низкоэнергетическим сильноточным пучком поверхности стали, легированной электровзрывным методом // Ю.Ф. Иванов, Ю.А. Колубаева, А.Д. Тересов и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 2. – С. 41 – 45.
2. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.
3. Свойства элементов: Справ. изд. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. М.Е. Дрица – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 456 с.

УДК 669.112.227:539.4

Е.В. Корнет, Ю.Ф. Иванов*, С.В. Коновалов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

* Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ЗАКАЛКЕ И ДЕФОРМАЦИИ

Методами дифракционной электронной микроскопии проведены исследования формирования структуры, дефектной субструктуры и фазового состава стали 38ХНЗМФА при закалке и их эволюция при деформации до разрушения. Количественные закономерности эволюции параметров тонкой структуры при закалке стали и последующем деформировании интерпретированы на основе современных концепций физического материаловедения.

The studies of the structure, defect substructure and phase composition of 0,38C1Cr3Ni1Mo1V steel on the quenching and their evolution on deformation up to the fracture are carried out by methods of diffraction electron microscopy. The quantitative regularities of fine structure parameters evolution on steel quenching and subsequent deformation are explained on the base of material science modern conceptions.

Успехи физического материаловедения сталей лежат в основе науки о их прочности и пластичности, которая успешно развивается в настоящее время. Одним из эффективных направлений улучшения служебных характеристик конструкционных сталей традиционно является термическая обработка. Она дает возможность получать изделия с определенными заданными характеристиками, отвечающими эксплуатационным требованиям [1]. Высокий уровень физико-механических свойств конструкционных сталей, широко применяемых в промышленности, обусловлен мартенситной структурой [2]. Необходимость тщательного и всестороннего анализа структурно-фазовых состояний, формирующихся при закалке стали, и их эволюции при последующем деформационном упрочнении обусловлена научной и прикладной важностью результатов. Несмотря на значительное количество работ по деформационному упрочнению сталей в закаленном состоянии, обобщенных в [1-3], изменения дефектной субструктуры анализировались, в основном, на качественном уровне.

Анализ структурно-фазовых состояний мартенсита, формирующегося при закалке стали 38ХНЗМФА и их последующее изменение при деформации являлись основной задачей работы.

Закалку стали 38ХНЗМФА проводили от температуры 940 °С, 1,5 час. (охлаждение в масле). Деформацию осуществляли при комнатной температуре одноосным сжатием со скоростью $\sim 7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ на испытательной машине типа «Инстрон». Исследования структуры и фазового состава стали осуществляли методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг (прибор ЭМ-125). В качестве параметров структуры стали, характеризующих ее деформационное поведение, использовали величину скалярной и избыточной плотности дислокаций, средние размеры фрагментов, объемную долю микродвойников, плотность изгибных экстинкционных контуров, величину кривизны-кручения кристаллической решетки, средние размеры, плотность и объемную долю частиц карбидной фазы, объемную долю остаточного аустенита (γ -фаза) [4, 5].

Закаленная в масле среднеуглеродистая малолегированная конструкционная сталь является многофазным материалом и состоит из α -фазы, γ -фазы и частиц карбидной фазы, не растворившихся при аустенизации стали и/или образовавшихся в процессе охлаждения при закалке («самоотпуск стали»).

Закалка стали 38ХНЗМФА приводит к мартенситному $\gamma \Rightarrow \alpha$ превращению. Формирующийся в данной стали мартенсит представлен двумя морфологическими составляющими – пакетным (реечным, дислокационным) мартенситом и пластинчатым высокотемпературным мартенситом. Соотношение объемных долей пакетов и кристаллов пластинчатого высокотемпературного мартенсита составляет 5 : 1.

В структуре кристаллов и пакетного, и пластинчатого мартенсита выявлена сетчатая дислокационная субструктура. Скалярная плотность дислокаций достигает величины $\sim 1,6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ в кристаллах пакетного мартенсита и $\sim 1,2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ – в кристаллах пластинчатого мартенсита.

В кристаллах мартенсита присутствуют изгибные экстинкционные контура, свидетельствующие о кривизне-кручении кристаллической решетки последних. В пластинчатом мартенсите изгибные контуры начинаются и заканчиваются на границах пластины; в пакетном мартенсите контуры могут пересекать пакет, переходя из одного кристалла мартенсита в другой.

Остаточный аустенит обнаруживается в виде тонких прослоек (50-70 нм), расположенных вдоль границ кристаллов преимущественно пакетного мартенсита. Объемная доля остаточного аустенита $\sim 0,05$ объема стали.

Нестабильность по отношению к распаду пересыщенного твердого раствора углерода в α -железе ведет к образованию частиц карбидной фазы в процессе охлаждения. Средние размеры частиц цементита, расположенных в объеме кристаллов мартенсита: поперечные $D \sim 7,6 \text{ нм}$, продольные $L \sim 85$

нм; объемная доля $\sim 0,3\%$; расположенных по границам кристаллов: поперечные $D \sim 50$ нм, продольные $L = 100-500$ нм; объемная доля $\sim 0,45\%$.

Деформация закаленной стали 38ХНЗМФА во всем исследованном диапазоне деформирования (при $\varepsilon \sim 0,27$ происходило разрушение путем хрупкого скола) не сопровождается разрушением границ кристаллов мартенсита и пакетов. Все изменения субструктуры закаленной стали при пластической деформации развиваются в объеме кристаллов мартенсита и приводят к тому, что увеличивается скалярная и избыточная плотность дислокаций; при этом практически не изменяется тип дислокационной субструктуры кристаллов мартенсита – как в исходном состоянии, так и в разрушенном образце в кристаллах мартенсита наблюдается сетчатая дислокационная субструктура.

Деформация стали приводит к появлению кольцевых изгибных экстинкционных контуров, т.е. контуров, расположенных внутри кристаллов мартенсита и замкнутых сами на себя. Плотность изгибных экстинкционных контуров возрастает при увеличении степени деформации стали, не выходя на насыщение на стадии деформационного упрочнения.

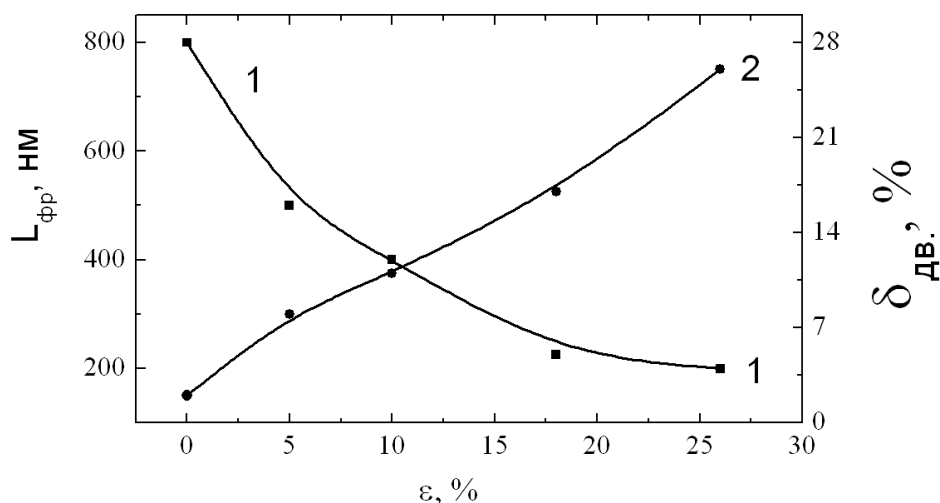


Рисунок 1 – Зависимость продольных размеров фрагментов кристаллов мартенсита $L_{фр}$ (кривая 1) и объемной доли δ микродвойников, расположенных в кристаллах мартенсита (кривая 2), от степени деформации ε

Деформация стали сопровождается увеличением количества микродвойников в кристаллах мартенсита (рисунок 1 кривая 2). Данный факт говорит о деформировании закаленной конструкционной стали не только скольжением дислокаций, но и путем двойникования.

Развивается процесс фрагментации кристаллов мартенсита, сопровождающийся уменьшением размеров фрагментов и увеличением степени их разориентации (рисунок 1, кривая 1). Внутри фрагментов, как и во всем объеме материала, наблюдается сетчатая дислокационная субструктура.

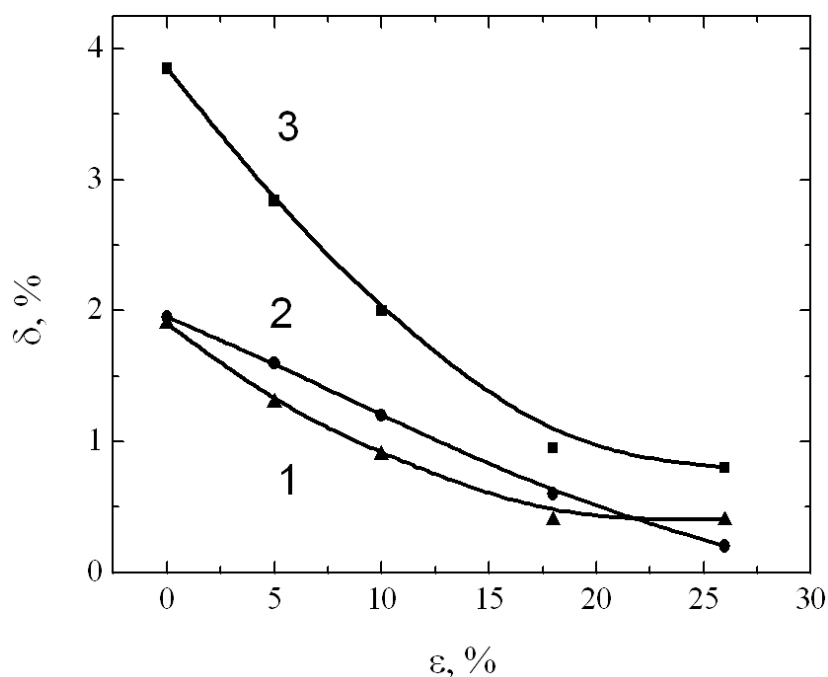


Рисунок 2 – Зависимость объемной доли частиц цементита δ , расположенных внутри кристаллов мартенсита (кривая 1), на границах кристаллов мартенсита (кривая 2) и их суммы (кривая 3) от степени деформации ϵ

При деформации стали изменяется морфология карбидной фазы. А именно, трансформируется их пространственная форма: исходно иглообразные частицы (отношение продольных размеров (L) к поперечным (d) $L/d = 20$) превращаются в процессе деформации в эллипсоидальные ($L/d \approx 8$). Эволюция пространственной формы частиц сопровождается уменьшением их объемной доли (рисунок 2). Изложенные факты свидетельствуют о протекании в стали в процессе деформации разрушения (растворения) частиц цементита «самоотпуска», расположенных в матрице.

Деформация стали сопровождается допревращением остаточного аустенита и при $\epsilon = \sim 0,2$ остаточный аустенит в стали не обнаружен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курдюмов В.Г. Превращения в железе и стали / В.Г. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.И. Энтин. – М.: Наука, 1977. – 236 с.
2. Васильева А.Г. Деформационное упрочнение закаленных конструкционных сталей / А.Г. Васильева. – М.: Машиностроение, 1981. – 231 с.
3. Счастливцев В.М. Структура термически обработанной стали / В.М. Счастливцев, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева. – М.: Металлургия, 1994. – 288 с.
4. Хирш П. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон. – М.: Мир, 1968. – 574 с.
5. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении / Л.М. Утевский. – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.

УДК 669.017

С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ВНЕШНИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Представлена методика исследования релаксации механических напряжений в условиях влияния электрического потенциала при различных температурах.

The methods of research of the stress relaxation at influence of electrical potential at different temperature are presented.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение влияния внешних энергетических воздействий на процессы пластической деформации представляет большой интерес, как в теоретическом (установление закономерностей влияния) так и в практическом (создание новых технологий прокатки иковки штамповки). Одним из видов пластической деформации является релаксация напряжений, которая имеет широкое распространение в технике (различные виды механических соединений деталей). В настоящее время существует множество методик испытания материалов на релаксацию напряжений при различных видах деформации (сжатие, растяжение, кручение, изгиб, сдвиг). Эти методики предполагают использование сложных и дорогостоящих испытательных машин.

В работе рассматривается методика исследования релаксации напряжений в условиях влияния внешних энергетических воздействий, в качестве которых выбраны электрический потенциал и термическое воздействие. В первой части работы будет приведено описание автоматизированной испытательной установки, во второй части – методика определения параметров релаксации.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения экспериментов по исследованию релаксации напряжений при сжатии в условиях внешних энергетических воздействий использовалась разработанная на кафедре физики автоматизированная установка, принципиальная схема которой показана на рисунке 1.

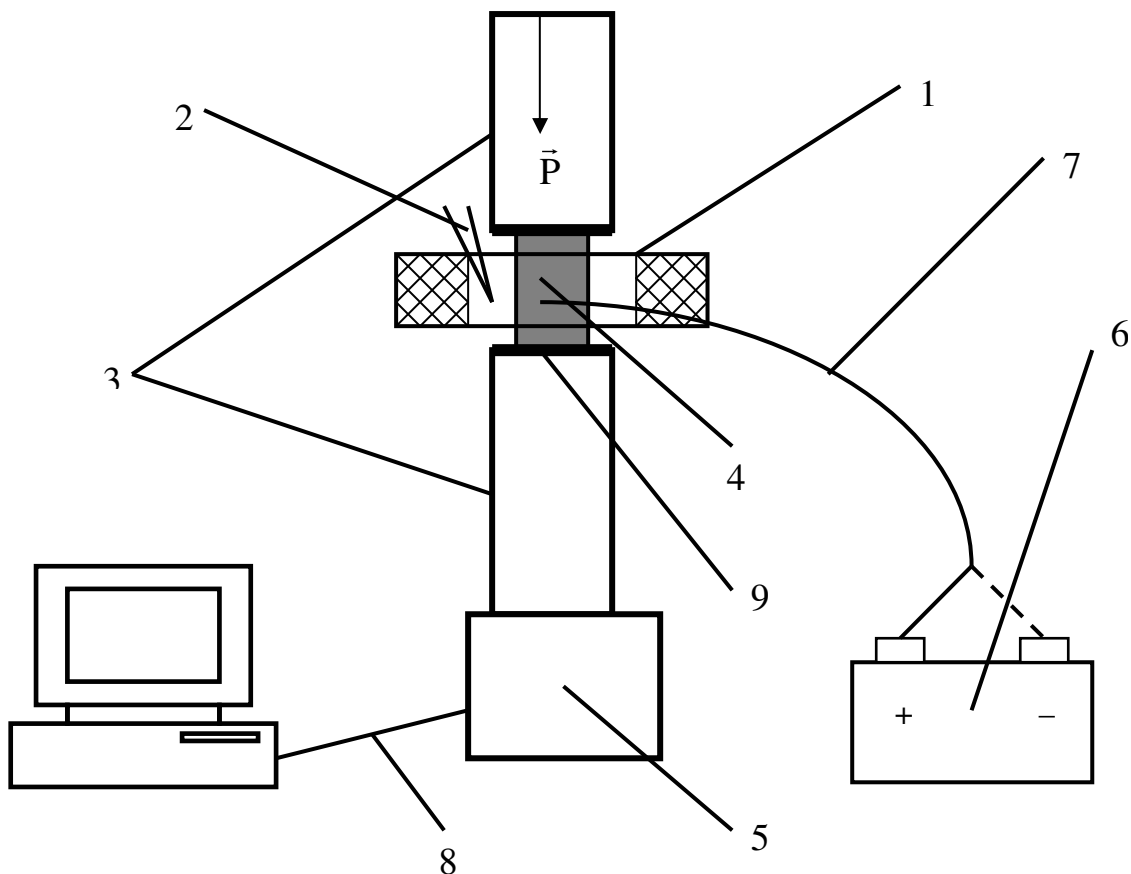


Рисунок 1 – Принципиальная схема автоматизированной установки для испытания металлов на релаксацию напряжений при сжатии в условиях внешних энергетических воздействий (1 – нагревательная печь, 2 – термопара, 3 – пуансоны, 4 – испытуемый образец, 5 – регистрационная система, 6 – источник постоянного тока, 7 – провод, 8 – связь с ПК, 9 – изолирующий слой)

Принцип действия установки состоит в следующем: нагрузка на подвижный пуансон передается при помощи рычажного механизма, позволяющего задавать определенный уровень напряжений, фиксируемый регистрационной системой, состоящей из динамометра и лазерного датчика перемещения. Лазерный датчик, имеющий связь с компьютером, позволяет определять смещение штока числового индикатора динамометра, с помощью специальной программы [5] фиксирующей смещение в условных единицах и передающей значения в базу данных. Полученные данные пересчитываются на истинные значения напряжений.

Перед проведением испытания образец подвергается нагреву до определенной температуры при помощи специально сконструированной под размер образца нагревательной печи. Контроль температуры испытаний определяется термопарой. Подведение электрического потенциала осуществляется от источника постоянного тока. Во избежание протекания заряда через образец, он изолировался от установки.

Характерный вид график зависимости напряжений от времени приведен на рисунке 2.

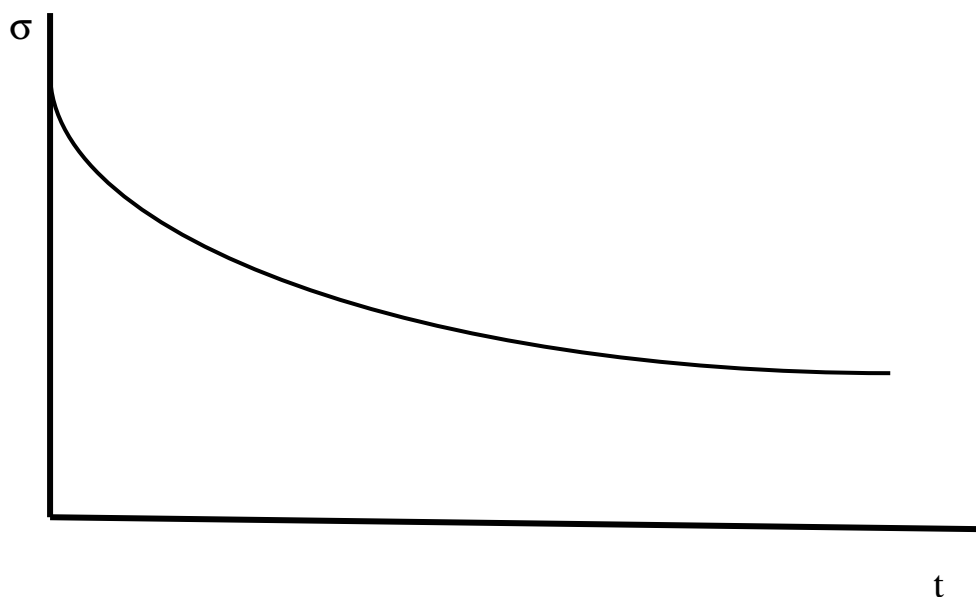


Рисунок 2 – Характерный вид релаксационной кривой

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛАКСАЦИИ

Релаксация напряжений описывается совокупностью следующих параметров: средней скоростью релаксации, падением напряжений, энергетическими параметрами (энергия активации, активационный объем), коэффициентами релаксационной стойкости границ зерен и внутривузловой релаксационной стабильности [2].

Определение энергии активации и активационного объема процесса релаксации напряжений не отличается от методики, приведенной в [3]. Получение основных формул для активационного объема и энергии активации возможно из следующих соображений.

Как известно пластическая деформация образцов происходит за счет изменения упругой деформации системы «образец – испытательная машина». Общая деформация этой системы

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \varepsilon + \varepsilon_{\text{упр}} = \text{const} . \quad (1)$$

В результате дифференцирования уравнения (1) по времени и получается уравнение скоростей деформации (2):

$$\dot{\varepsilon} + \dot{\varepsilon}_{\text{упр}} = 0. \quad (2)$$

Согласно [4] $\dot{\varepsilon}_{\text{упр}} = \dot{\sigma}/M$, где M – константа. Подставляем данное выражение в (2) и в результате получим:

$$M\dot{\varepsilon} + \dot{\sigma} = 0. \quad (3)$$

Скорость пластической деформации можно представить в виде (4):

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \exp\left(-\frac{u - \gamma(\sigma - \sigma_f)}{kT}\right), \quad (4)$$

где u – энергия активации, γ – активационный объем, $\sigma - \sigma_f$ – эффективное приложенное напряжение, σ – напряжение в данный момент времени, а за σ_f – установившееся дно релаксационной кривой, k – постоянная Больцмана, T – температура испытания. Решая совместно, уравнения (3) и (4), получим:

$$\dot{\sigma} = -M\dot{\epsilon}_0 \exp\left(-\frac{u - \gamma(\sigma - \sigma_f)}{kT}\right) \quad (5)$$

В результате логарифмирования выражения (5) получим:

$$\ln(-\dot{\sigma}) = \frac{\gamma}{kT}(\sigma - \sigma_f) + \delta, \quad (6)$$

где $\delta = \ln M\dot{\epsilon}_0 - \frac{u}{kT}$

Из (6) следует, что если построить график зависимости (рисунок 3) логарифма скорости от эффективных напряжений, то отрезки, отсекаемые на оси ординат, дадут значение δ , а по формуле $\gamma = kT \frac{\Delta(\ln(-\dot{\sigma}))}{\Delta(\sigma - \sigma_f)}$ можно определить величину активационного объема.

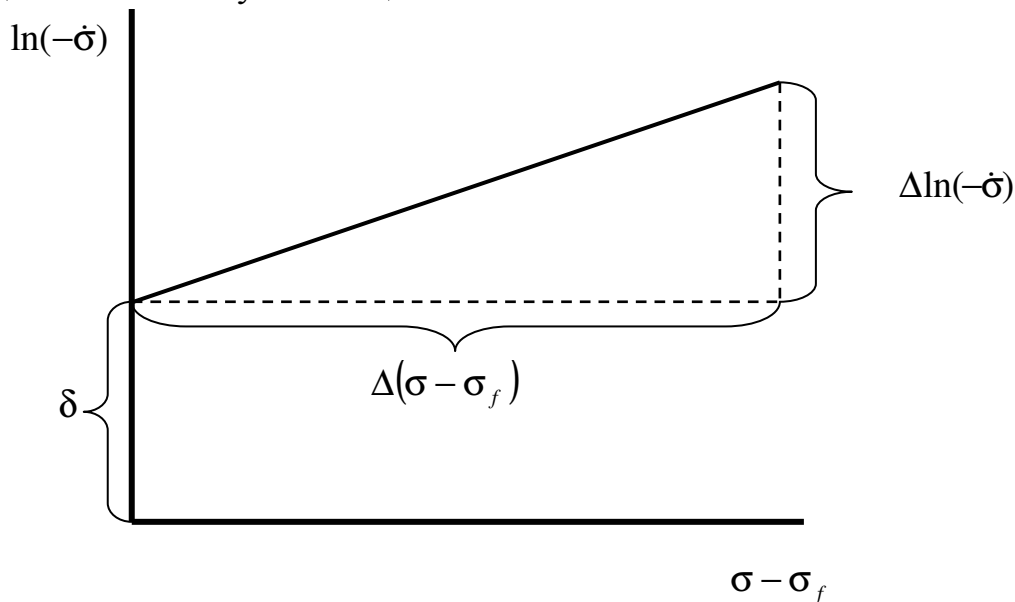


Рисунок 3 – График зависимости логарифма скорости релаксации от эффективного приложенного напряжения.

Для определения энергии активации следует построить график зависимости $\delta = f\left(\frac{1}{kT}\right)$ и из формулы $u = \frac{\Delta\delta}{\Delta(1/kT)}$ получить значение энергии активации.

Определение коэффициентов межзеренной S_0 и внутризеренной t_0 релаксации определяется по методике, описанной в [1]. В основании этой методики лежит представление о том, что процесс релаксации протекает в две стадии. Первую стадию характеризует нелинейный участок кривой релаксации, процесс релаксации в этой стадии протекает на границах зерен. На второй стадии процесс релаксации протекает внутри зерен, эта стадия характеризуется линейным участком кривой релаксации. Релаксационная кривая строится в координатах $\ln\sigma - t$, (рис. 4) затем продлением линейного участка до оси ординат определяется напряжение σ'_0 , при котором наступает переход к внутризеренному процессу релаксации.

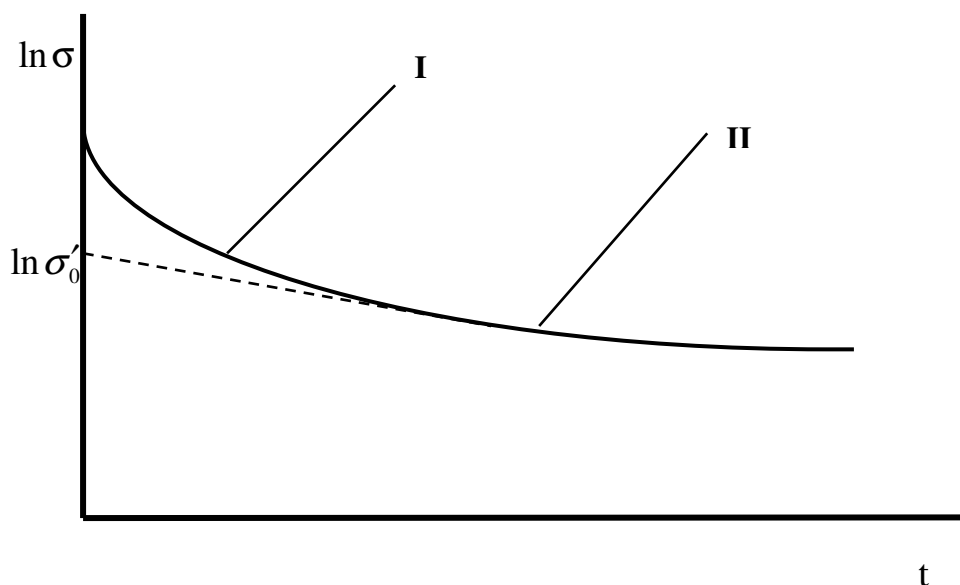


Рисунок 4 – Определение напряжения σ'_0 и значения угла наклона линейного участка кривой релаксации. (I – межзеренная стадия релаксации, II – внутризеренная стадия релаксации)

По формуле $S_0 = \frac{\sigma'_0}{\sigma_0}$ [2] можно найти значение коэффициента межзеренной релаксации. Физический смысл коэффициента межзеренной релаксации заключается в том, что он характеризует сопротивляемость металла на первой стадии процесса.

Коэффициент внутризеренной релаксации определяется следующим образом. Согласно [2], напряжение на второй стадии процесса релаксации определяется по следующей формуле $\sigma_{II} = \sigma'_0 \exp(-t/t_0)$. Логарифмируя

данное уравнение получаем $\ln \sigma_{II} = \ln \sigma'_0 - t/t_0$. Для определения t_0 строится график в координатах $\ln \sigma_{II} - t$, и по формуле $t_0 = \frac{\Delta t}{\Delta(\ln \sigma)}$ можно определить значение коэффициента внутризеренной релаксации. Данный коэффициент характеризует сопротивляемость металла на второй стадии релаксации, и показывает время, за которое напряжение σ'_0 уменьшится в e раз. На рисунке 4 показано определение напряжения σ'_0 .

Таким образом, в работе описаны методики проведения испытаний металлов на релаксацию напряжений при сжатии в условиях внешних энергетических воздействий и расчета приведенных выше критериев релаксации. Вышеописанные методики используются для исследования поведения представленных в работе параметров релаксации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борздыка А.М. Релаксация напряжений в металлах и сплавах [Текст] / А.М. Борздыка, Л.Б. Гецов. – М.: Metallurgy, 1978. – 256 с.
2. Теория ползучести и длительной прочности [Текст] / И.А.Одинг, В.С. Иванов, В.В. Бурдукский, В.Н. Геминев. – М.: Metallurgizdat, 1959. – 488 с.
3. Кузнецов Р.И. Пластическая релаксация в алюминии и меди [Текст] / Р.И. Кузнецов, В.А. Павлов, В.Т. Шматов // ФММ. – 1966. – т. 21.– Вып.2 – С. 265 – 267.
4. Спицын В.И. Электропластическая деформация металлов / В.И. Спицын, О.А. Троицкий. – М.: Наука, 1985. – 160 с.
5. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести [Текст] / С.В. Коновалов, В.И. Данилов, Л.Б. Зуев, А.С. Дружилов, В.Е. Громов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73. – № 8. – С. 64 – 66.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 658.012.011.56

С.Н. Старовацкая

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Предложен комплекс методов совместной идентификации и оптимизации свойств (структуры) материалов, заключающийся в объединении процедур: проведения экспериментов на натуральных материалах с вариациями характеристик внешних воздействий; рекуррентной идентификации параметрических зависимостей и поисковой оптимизации свойств материала. Разработанные методы и алгоритмы реализованы при решении задач поиска оптимальных траекторий термической обработки высокопрочного и серого чугунов. Показано преимущество предложенных методов и алгоритмов совместной натурно – модельной оптимизации по сравнению с традиционными подходами к проведению исследований.

The complex of methods of joint identification and optimization of materials characteristics is suggested which consists of combining of procedures: full-scale experiments with variation of characteristics of external action; recurrent identification of parametric dependence and search optimization of material properties. The methods and algorithms developed are realized through solution of the tasks of optimal trajectory search of high-duty cast iron and gray cast iron heat treatment. The advantage of suggested algorithms and approaches of joint full-scale model optimization as compared with traditional approaches to researches is shown.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 08-07-12016, № 08-07-00226

Управление структурой и свойствами материалов – одна из важнейших задач материаловедения и теории термической обработки. Известно, что управлять структурой, а, следовательно, и свойствами можно путем применения соответствующей обработки и (или) подбором химического состава материала. Естественно, для поиска оптимальных состава и траекторий обработки требуется проведение экспериментов на натуральных образцах, либо математических моделях исследуемых объектов, если такие модели существуют. Поэтому для решения подобных задач весьма перспективным направлением является привлечение богатого арсенала теории управления и, в частности, методов планирования эксперимента, идентификации, поисковой

оптимизации с их обязательным объединением для решения практических задач.

Из современных направлений теории управления привлекателен натурно-модельный подход, к которому можно отнести физическую теорию управления [1], а также некоторые разновидности объединения натуральных и модельных компонент объекта исследования и оптимизации. К настоящему времени намечены несколько путей ее развития применительно к задачам материаловедения, одним из которых является натурно - модельный подход. Сущность одного из вариантов такого подхода заключается в объединении методов поисковой оптимизации на основе деформируемых многогранников [2] и рекуррентной идентификации структурных и параметрических зависимостей свойств материала с пассивным и активным проведением экспериментов. При этом проводятся начальные натурные эксперименты, затем в их окрестности строится пересчетная математическая модель, на ее основе выбираются новые координаты натуральных экспериментов, затем процесс повторяется до получения полной математической модели и достижения оптимальной структуры и свойств. Совместная натурно - модельная оптимизация и идентификация дает возможность значительно уменьшить число натуральных экспериментов, и, кроме того, полученные динамические модели объекта могут использоваться для управления технологическими процессами [3].

Целесообразность применения такого подхода проверена на решении задач управления структурой и свойствами серого и высокопрочного чугунов путем совместной идентификации и оптимизации траекторий термической обработки. Для этого был сформирован натурно - модельный объект исследования, который представлял собой комплекс из образцов материала, типопредставительных базовых сценариев в виде информационного отображения динамики внешних условий, значений целевой функции и пересчетных математических моделей вариаций внешних условий в изменениях целевых показателей свойств материала.

Схема системы оптимизации и идентификации представлена на рисунке 1.

В ходе исследования и оптимизации режимов термической обработки имитационное моделирование и поисковые оптимизационные процедуры объединялись следующим образом. В окрестности полученных натуральных результатов варьировались по плану эксперимента температурный интервал и продолжительность выдержки при заданной температуре и рассчитывались соответствующие новым соотношениям показатели объемной доли графита в чугуне за счет корректировки натуральных показателей. В состав векторов натуральных V^H и модельных V^M компонентов включались параметры термической обработки: температура нагрева и время выдержки. Векторы Y^H и Y^M характеризуют объемную долю графита в чугуне.

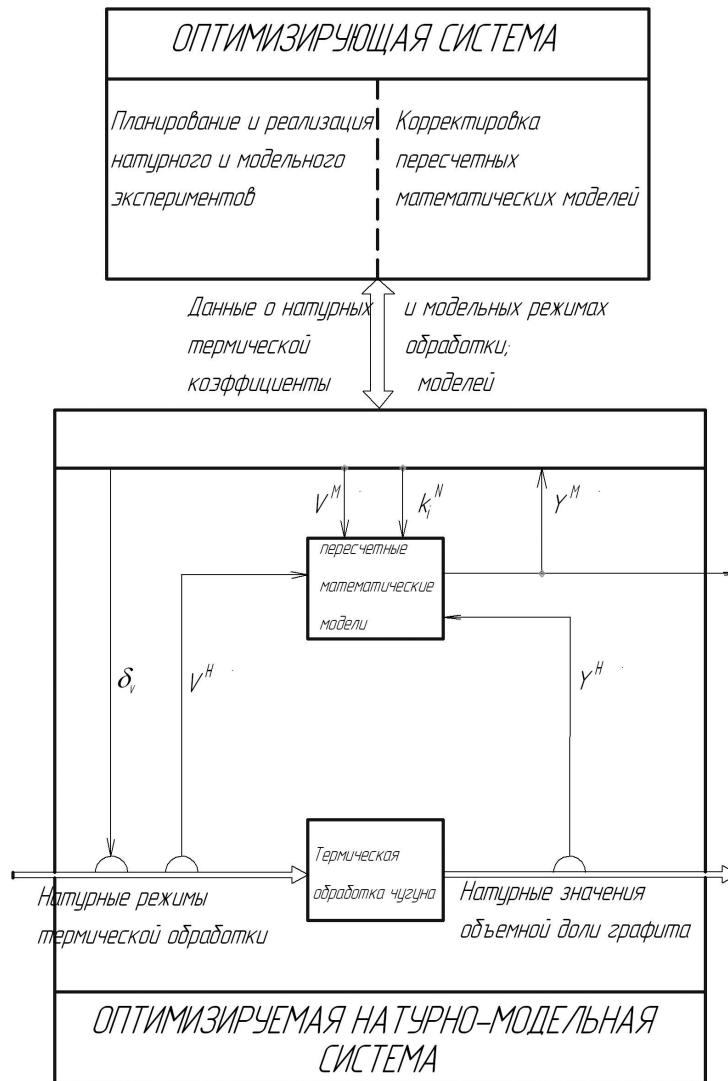


Рисунок 1 – Структура системы оптимизации

Целевая функция представлена зависимостью объемной доли графита от параметров термической обработки: температуры (T) и времени выдержки (τ) для высокопрочного чугуна; верхней температуры цикла (T) и числа циклов (N) для серого чугуна. Структура целевой функции задана в виде полинома второго порядка:

$$y(t) = k_1(t)x_1(t) + k_2(t)x_2(t) + k_3(t)x_1(t)x_2(t) + k_4(t)x_1^2(t) + k_5(t)x_2^2(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – целевая функция (ЦФ), x_1 и x_2 – варьируемые переменные ЦФ, $k_1 - k_5$ – параметры модели.

Начальные параметры модели поверхности отклика ЦФ определяли методом наименьших квадратов. Предварительно в точках y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 (для заданной модели) проводились натурные эксперименты.

Полученная модель переводилась в линейную форму, заменой

$$x_1 \rightarrow v_1; \quad x_2 \rightarrow v_2; \quad x_1 x_2 \rightarrow v_3; \quad x_1^2 \rightarrow v_4; \quad x_2^2 \rightarrow v_5 \quad \Rightarrow \quad y = \sum_{l=1}^5 k_l v_l.$$

v - нормированные значения x относительно максимального значения.

Параметры поверхности отклика уточнялись по формуле [4]:

$$k_i(n) = k_i(n-1) + \delta k_i(n)$$

$$\delta k_i(n) = \frac{\left[y(n) - y(n-1) - \sum_{l=1}^5 k_l(n-1)[v_l(n) - v_l(n-1)] \right] (v_i(n) - v_i(n-1))}{\gamma + \sum_{l=1}^5 (v_l(n) - v_l(n-1))^2}, \quad (2)$$

где n – номер натурального эксперимента; γ – коэффициент, выбираемый из условий желаемой сходимости рекуррентной процедуры.

Для расчета начальных параметров модели (1) выбирались 5 точек с координатами, представленными в таблице 1. В этих точках проводились дополнительные эксперименты с определением значений объемной доли графита.

Таблица 1 – Координаты точек для расчета начальных параметров модели поверхности

а) для высокопрочного чугуна

$x_{1,i}$ (T, °C)	$x_{2,i}$ (τ , час)	Нормированные значения		$y_i, \%$
		$v_{1,i}$ (T, °C)	$v_{2,i}$ (τ , час)	
500	9,2	0,5	0,92	17,9
475	9	0,475	0,9	19
500	9,5	0,5	0,95	18,6
525	9	0,525	0,9	15,4
500	9,4	0,5	0,94	18,2

б) для серого чугуна

$x_{1,i}$ (T, °C)	$x_{2,i}$ (N)	Нормированные значения		$y_i, \%$
		$v_{1,i}$ (T, °C)	$v_{2,i}$ (N)	
700	0	0,7	0	20,84
700	1	0,7	0,1	19,3
900	1	0,9	0,1	25,32
900	2	0,9	0,2	23,21
730	1	0,73	0,1	20,5

Таким образом, начальный вид математической зависимости объемной доли графита от параметров термообработки:

а) для высокопрочного чугуна

$$y = 2.64x_1 - 134.29x_2 - 0.12x_1x_2 - 0.00161x_1^2 + 10.57x_2^2 \quad (3)$$

б) для серого чугуна

$$y = 46,8x_1 + 18,9x_2 - 27,0x_1x_2 - 21,5x_1^2 + 1,1x_2^2 \quad (4)$$

Для реализации процедуры симплексного поиска *при оптимизации режимов термообработки высокопрочного чугуна*, исходя из априорной информации, была выбрана начальная точка с координатами $x_{1,1}=500^\circ\text{C}$; $x_{2,1}=9,2$ ч. Вокруг нее был построен правильный симплекс с центром в $(x_{1,1}; x_{2,1})$. Так как полученная модель (3) справедлива только в области 1, за границей этой области, в направлении уменьшения объёмной доли графита определялись координаты следующего натурального эксперимента: $x_{1,1}=550^\circ\text{C}$; $x_{2,1}=9,5$ ч. Последующее движение продолжалось в направлении уменьшения объёмной доли графита. Окончательно оптимальное решение было найдено в точке Opt (4,5) с координатами $x_{1,1}=725^\circ\text{C}$; $x_{2,1}=10$ ч. Результаты такой процедуры показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры термической обработки высокопрочного чугуна

Номер шага	$x_{1,i}$ (Т, °С)	$x_{2,i}$ (τ, час)	Нормированные значения		y_i , %
			$v_{1,i}$ (Т, °С)	$v_{2,i}$ (Т, °С)	
1	475	9	0,475	0,9	19
2	550	9,5	0,55	0,95	13
3	575	9	0,575	0,9	9
4	600	9,5	0,6	0,95	8,1
5	625	9	0,625	0,9	6,8
6	650	9,5	0,65	0,95	5,9
7	675	9	0,675	0,9	5
8	700	9,5	0,7	0,95	4,6
9	675	10	0,675	1	4,5
10	725	10	0,725	1	4,5(opt)

Одновременно проводилось определение и уточнение коэффициентов зависимости (1) по локальным областям. Эти коэффициенты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты зависимости (1)

Номер шага	$x_{1,i}$	$x_{2,i}$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1	475	9	2,64	-134,29	-0,12	-0,001	10,57
2	550	9,5	2,64	-134,11	-0,12	-0,001	10,59
3	575	9	2,64	-134,07	-0,12	-0,001	10,59
4	600	9,5	2,64	-133,62	-0,12	-0,001	10,63
5	625	9	2,64	-133,41	-0,12	-0,001	10,65
6	650	9,5	2,65	-132,79	-0,12	-0,001	10,71
7	675	9	2,65	-132,49	-0,12	-0,001	10,74
8	700	9,5	2,66	-131,74	-0,12	-0,001	10,81
9	675	10	2,65	-132,21	-0,12	-0,001	10,76
10	725	10	2,66	-131,08	-0,13	-0,001	10,88

Аналогичным образом проводилась натурно – модельная оптимизация траекторий термообработки с одновременным построением математической модели для *серого чугуна*. Координаты вершин исходного симплекса и начальные точки для построения модели (4) приведены в таблице 1б. Оптимальный режим термоциклической обработки – нагрев в температурном интервале (100 – 500)°С с охлаждением с верхней температуры цикла в воду. Оптимальное число циклов - 4. Для нахождения оптимального значения целевой функции потребовалось 4 итерации и 8 натуральных экспериментов. Аналогично предыдущему примеру параллельно с оптимумом были получены коэффициенты локальных математических моделей зависимости объемной доли графита от параметров термообработки.

В заключение для сравнения эффективности традиционного и предлагаемого подходов проводилось исследование влияния термической обработки на количественные показатели структуры высокопрочного и серого чугунов. Результаты экспериментов показали, что для поиска минимума зависимости объемной доли графита в *высокопрочном чугуне* от параметров термообработки потребовалось провести 30 натуральных экспериментов. В то время как с помощью предложенного метода оптимизации с одновременной идентификацией для нахождения оптимума целевой функции потребовалось всего 13 натуральных экспериментов. Минимальное значение объемной доли графита в *сером чугуне* традиционным способом было получено после 35 натуральных экспериментов. Предложенный метод позволил сократить количество экспериментов до 8. Очевидно, что методы и алгоритмы совместной натурно – модельной оптимизации имеют значительное преимущество по сравнению с традиционными подходами к проведению исследований. Во-

первых, сокращается время поиска оптимального значения целевой функции и оптимальной траектории обработки за счет уменьшения количества натуральных экспериментов более чем в два раза. Во-вторых, параллельно проводится идентификация объекта исследования, и строится динамическая модель зависимости объемной доли графита от параметров термообработки, то есть появляется возможность оперативного управления структурой и свойствами материалов.

Таким образом, полученные результаты открывают широкие перспективы применения натурно – модельного подхода к решению материаловедческих задач, связанных с управлением структурой и свойствами металлов и сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987.
2. Рыков А.С. Методы системного анализа: оптимизация / А.С. Рыков. – М.: Экономика, 1999. – 254 с.
3. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т.2. Системы автоматизации производственного назначения / Под ред. Л.П. Мышляева. – М.: Наука, 2006. – 483 с.
4. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. Пер. с англ. / Л. Льюнг. Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.

УДК 622.273.2

Е.В. Корнеева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

В статье дана оценка нового типа закладочной смеси на основе сталелитейных (мартеновских ООО «Сталь НК», конверторных ОАО «ЗСМК») шлаков текущего выхода с достаточно высокими показателями, позволяющей решить комплекс экологических и технологических задач

In the article the evaluation of a new type of a mix because of steelmaking slags of a current output with rather high parameters, permitting to decide a complex of ecological and technological problems is given.

Технология приготовления твердеющей закладки для Таштагольского рудника ОАО «Евразруда» (наиболее рентабельного горнорудного предприятия региона) разработана институтом горного дела Сибирского отделения Российской Академии наук.

В соответствии с современными проблемами ресурсосбережения и экологии, автором настоящей статьи была поставлена цель: снижение себестоимости закладочного материала применяемого на Таштагольском руднике за счет использования отходов промышленных предприятий Кузбасса и ликвидации отвалов горного и металлургического производства.

Итогом научно-исследовательской работы по изучению возможности использования отходов промышленных предприятий Кузбасса, для приготовления закладочных смесей и разработкой технологии этого процесса явился анализ технико-экономических показателей разработанных бесцементных закладочных составов: произведен расчет их себестоимости и дана оценка преимуществ технико-экономических показателей, относительно технико-экономических показателей закладочного состава используемого в настоящее время на Таштагольском месторождении.

Эффективность производства рассчитывалась по продукту конечного использования – составам закладочной смеси, разработанным на основе бесклинкерного шлакового вяжущего. Экономический эффект достигается путём снижения себестоимости закладочной смеси: за счёт замены цемента низкомарочным бесклинкерным вяжущим на основе сталелитейного (мартеновского, конверторного) шлака текущего выхода.

Новое композиционное бесклинкерное вяжущее было создано из вышеуказанных шлаков (70-90 %) при добавлении к ним горелой породы шахтных отвалов (5-25 %) и шлама от нейтрализации электролитов отработанных тяговых и стартерных кислотных аккумуляторов (7-8 %). Получен патент на изобретение «Состав закладочной смеси» № 2348814.

Поскольку подача шлама осуществляется из отделения нейтрализации предприятия производящего закладку, а приготовление закладки не требует изменения технологической схемы поверхностного закладочного комплекса, стоимость компонентов закладочной смеси:

$$C_1 = \sum_{i=1}^{i=n} g_i * C_i$$

где g_i – удельный расход i -го компонента смеси, т/м³; C_i стоимость i -го компонента с учётом затрат на транспорт и погрузочно-разгрузочные работы, руб/т.

В закладочных смесях для твердеющей закладки, состоящих из молотого граншлака КМК, молотых хвостов центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) и портландцемента, разработанных Восточным научно-исследовательским горнорудным институтом (ВостНИГРИ) для Таштагольского рудника, прочность на одноосное сжатие в трёхмесячном возрасте не превышает 10 МПа [1]. Стоимость компонентов закладочной смеси внедряемой на Таштагольском руднике и разработанной в таблице 1.

Таблица 1 – Стоимость компонентов закладочных смесей в ценах 2008 г.

Наименование	Стоимость материалов, руб/т
Портландцемент М400	2910
Граншлак ООО «Сталь НК», ОАО «ЗСМК»	160
Хвосты Таштагольской обогатительной фабрики	30
Вода	43,87
Шлак: мартеновский ООО «Сталь НК», конверторный ОАО «ЗСМК»	110
Горелая порода шахтных отвалов	110
Шлам	0

Таблица 2 – Материальные затраты на 1 м³ твердеющей закладки внедряемой на Таштагольском руднике

Предел прочности при сжатии, МПа	Расход компонентов смеси на 1 м ³ , кг				Себестоимость смеси, руб/м ³
	Вяжущее		Заполнитель	Вода	
	Цемент	Шлак			
до 10	40	400	Хвосты обогащения 1200	500	238,33

Таблица 3 – Себестоимость 1м³ твердеющей закладки внедряемой на Таштагольском руднике

Элементы себестоимости	Сумма, руб/м ³
Материальные затраты	238,33
Амортизация основных фондов	11,39
Всего	249,72

Таким образом, фактическая себестоимость используемой в настоящее время твердеющей закладки на Таштагольском руднике – 249,72 руб/м³ (таблица 3).

Материальные затраты на 1м³ предлагаемых составов закладочных смесей в таблице 4.

Таблица 4 – Материальные затраты на 1м³ предлагаемых составов закладочных смесей

Составы	Предел прочности при сжатии, МПа	Расход компонентов смеси на 1 м ³ , кг					Себестоимость смеси, руб/м ³
		Вязущее			Заполнитель	Вода	
		Шлак	Горелая порода	Шлам	Шлак		
С мартеновским шлаком	9,82	1100	360	110	230	200	194,67
С конверторным шлаком	11,73	1340	100	130	150	200	183,67

Фактическая себестоимость разработанных составов твердеющей закладки в таблице 5.

Таблица 5 – Себестоимость 1м³ твердеющей закладки разработанных составов

Элементы себестоимости	Сумма, руб/м ³
Для состава с мартеновским шлаком:	
Материальные затраты	194,67
Амортизация основных фондов	11,39
Всего	206,06
Для состава с конверторным шлаком	
Материальные затраты	183,67
Амортизация основных фондов	11,39
Всего	195,06

Экономический эффект от применения бесцементной твердеющей закладки рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = C_1 - C_2$$

где C_1 – себестоимость твердеющей закладки используемой в настоящее время на Таштагольском руднике; C_2 – себестоимость разработанной бесцементной закладки.

Общее снижение себестоимости для состава с мартеновским шлаком:

$$\mathcal{E} = 249,72 - 206,06 = 43,66 \text{ руб/м}^3$$

для состава с конверторным шлаком:

$$\mathcal{E} = 249,72 - 195,06 = 54,66 \text{ руб/м}^3$$

На данный момент поверхностный закладочный комплекс Таштагольского подземного рудника вышел на проектную производительность 395000 м³/год.

Годовой экономический эффект рассчитываем по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E} \times P_{з.к.}$$

где \mathcal{E} – экономический эффект от применения разработанной бесцементной закладки; $P_{з.к.}$ – производительность закладочного комплекса.

Условный годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составит:

- для состава с мартеновским шлаком:

$$\mathcal{E}_Г = 43,66 \text{ руб.} \times 395000 \text{ м}^3 = 17,24 \text{ млн. руб. / год}$$

- для состава с конверторным шлаком:

$$\mathcal{E}_Г = 54,66 \text{ руб.} \times 395000 \text{ м}^3 = 21,59 \text{ млн. руб. / год}$$

По результатам расчёта экономического эффекта видно, что использование местных техногенных отходов подлежащих утилизации при освоении угольных и рудных месторождений, может обеспечить высокую экономическую эффективность и экологичность подземных горных работ, значительно экономить энерго- и природные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчёт ВОСТНИГРИ по теме «Исследование и выбор рациональных способов обработки Таштагольского месторождения руд с определением оптимальных параметров систем разработки». – Новокузнецк, 1977.

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.147:811.112.2

Н.С. Клименко, О.А. Семина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕМЕЦКОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрены вопросы реформирования системы высшего образования Германии. Как известно, в 1999 году 40 стран Центральной и Восточной Европы приняли решение о введении единых образовательных стандартов, основанных на англо - американской системе ученых степеней «бакалавр – магистр – доктор». К 2010 году Россия также должна ввести у себя Болонские стандарты.

The issues of higher education reforming in Germany are considered. As it is known, 40 countries of Central and Eastern Europe have taken a decision about the introduction of the unified educational standards based on the anglo-american system of academic degrees «Bachelor – Master – Doctor». By 2010 Russia should also introduce the Bologna standards.

Цель германской и европейской внешней политики – развивать стратегическое партнерство между Европейским союзом и Россией, создавая совместно с нашими российскими партнерами на средне- и долгосрочную перспективу четыре общих пространства. Соответствующие «соглашения», которые определяют наши совместные цели, были подписаны во время встречи на высшем уровне ЕС-Россия 10 мая 2005 г.

Работа по одному из этих четырех пространств направлена на поддержку и углубление сотрудничества между Европейским союзом и Россией в области образования, науки и культуры. В эпоху развивающейся глобализации и расширения общемирового рынка образовательных услуг перед нашими вузами стоит задача интернационализации и привлечения в условиях международной конкуренции лучших учащихся и исследователей. В рамках Болонского процесса, к которому в 2003 г. присоединилась Россия, Германия и ее европейские соседи поставили себе цель создать к 2010 г. единое пространство вузов Европы.

Германию и Россию объединяет тесное и полноценное сотрудничество в области образования и науки. Из более чем 200 000 иностранных учащихся немецких вузов около 10 000 – граждане Российской Федерации. Более чем 200 российских аспирантов и ученых ежегодно ведут научные исследования в Германии.

Высшее образование в Германии традиционно является одноуровневым – без деления на программы первого и второго высшего образования, как в США или Великобритании. Немецкие университетские специальности предлагаются, как правило, в качестве интегрированных пятилетних (т. е. одноуровневых) программ, завершающихся либо получением диплома (*Diplom*), либо сдачей государственного экзамена (*Staatsprüfung*). По международным стандартам обе квалификации эквиваленты степени магистра.

Студенты, изучающие инженерные и естественные науки в рамках подобных пятилетних программ, получают теоретические знания в течение первых двух лет обучения (*Grundstudium*). Этот этап завершается сдачей промежуточного экзамена (*Vordiplom*), который, однако, не является квалифицирующим. Последующая специализация и углубление знаний называется основным этапом обучения (*Hauptstudium*).

С недавних пор в Германии вводится новая схема двухуровневого образования, по которой получение степени бакалавра предполагает возможность последующего обучения в магистратуре. В течение следующего года многие гуманитарные и общественные специальности будут преобразованы в двухуровневые - с бакалавриатом (первый уровень, длящийся 3-4 года) и магистратурой (второй уровень, 1-2 года).

Ниже следующие диаграммы (рисунки 1, 2) показывают процесс получения Немецкого Диплома, в частности, по инженерной специальности:

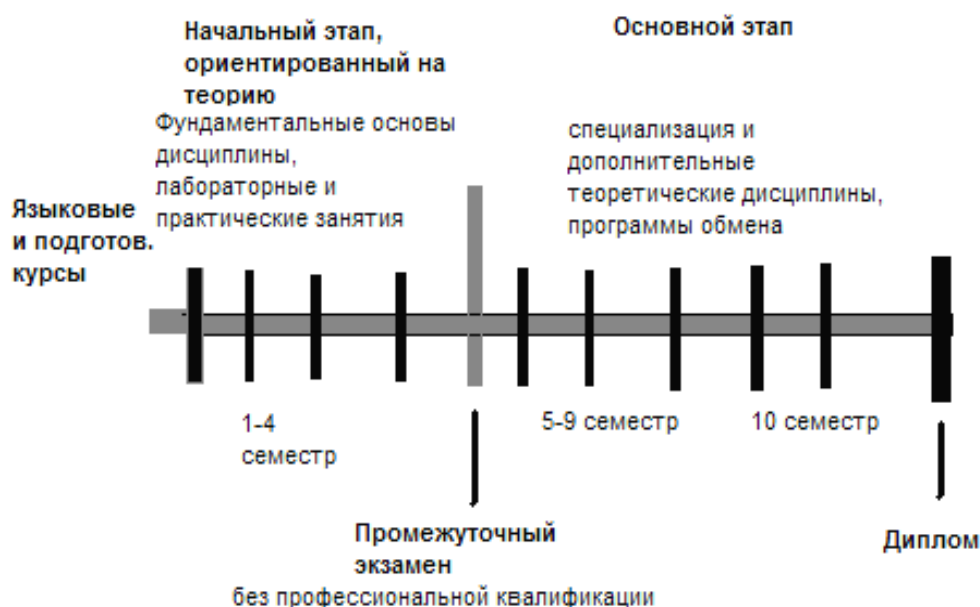


Рисунок 1 – Содержание этапов подготовки

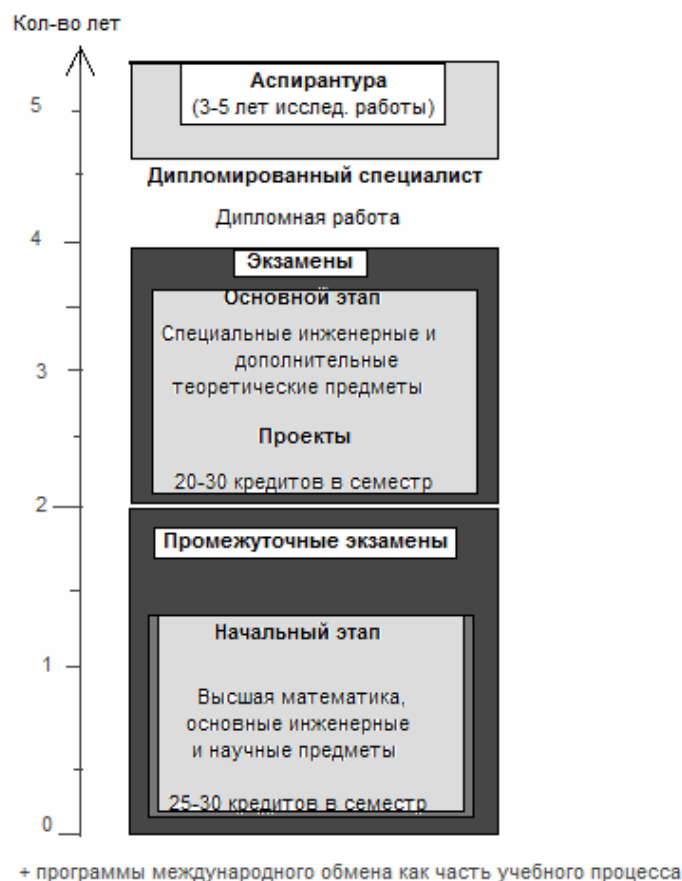


Рисунок 2 – Продолжительность этапов подготовки

Академическая свобода (*Akademische Freiheit*) – это традиционная идея Немецкого Университета. Впервые она была введена Вильгельмом фон Гумбольдтом (1767-1835) в Берлинском Университете в начале XIX века, а позже ее принцип распространился и на другие университеты, символизируя демократию. При этом академическую индивидуальность – на основе институциональной автономии и фундаментального образовательного права – сохраняют как преподаватели, так и студенты.

Результатом «Академической свободы» являются исследовательские планы и расписания, которые университеты предлагают своим студентам. В основном, это главные принципы, которыми следует руководствоваться на втором этапе обучения после промежуточного экзамена (*Vordiplom*). Очень немногие студенты находятся на одной и той же стадии в своих исследованиях. В то время, как присутствие на лекциях часто не является обязательным, различные проверки знаний в форме анализов, семинарских сертификатов, проектных работ и лабораторных исследований, а также сами экзамены строго контролируются и проводятся в соответствии с высокими стандартами.

Немецкое высшее образование обычно не предусматривает установленные группы для изучения той или иной дисциплины. Таким образом, ожидается, что студенты самостоятельно будут управлять процессом обуче-

ния – под девизом «Учись учиться». При этом ответственность студента заключается в самостоятельном следовании плану, предложенному университетом. Индивидуальные исследования и письменные работы (рефераты, курсовые, эссе) – основные элементы всех специальностей.

Из-за отсутствия строгих расписаний по большей части только от студентов зависит, сколько времени им потребуется для получения той или иной степени. Номинальная продолжительность обучения, называемая *Regelstudienzeit*, которая официально является минимальной продолжительностью, составляет 5 лет для большинства дипломных специальностей. Но обычно студентам необходимо больше времени, чтобы получить высшее образование – в среднем 6 лет.

Академический год в немецких университетах делится на два семестра, которые, в свою очередь, тоже разделяются на две части: во время первой проходят лекции и семинары, вторая предполагает самостоятельное изучение учебного материала. Необходимо помнить, что это время не является каникулами, а должно быть предназначено на посещение библиотек, практику, проектные работы и экзамены.

Зимний семестр: 1 октября – 31 марта

Начало самостоятельной работы – середина февраля

Летний семестр: 1 апреля – 30 сентября

Начало самостоятельной работы – середина июля

Данная диаграмма (рисунок 3) показывает структуру академического года в Германии:

Академический год

Зимний семестр		Летний семестр	
1-ое октября	Середина февраля	1-ое апреля	Середина июля
30-ое сентября			
Лекционный период -лекции -семинары -практические занятия	Самост. работа -экзамены (около 4 нед.) -доклады -межд.обмен	Лекционный период -лекции -семинары -практические занятия	Самост. работа -экзамены (около 4 нед.) -доклады -межд.обмен

Рисунок 3 – Структуру академического года в Германии

Особенностью немецких университетов является комбинация теоретического образования и передовых научных исследований. Студенты получают многочисленные возможности проведения проектных работ в рамках текущей научно-исследовательской деятельности. Преподаватели обычно являются одновременно и исследователями. Факультеты и кафедры университетов тесно сотрудничают с национальными и международными академическими учреждениями и научно-исследовательскими институтами, а также с экономической и промышленной сферами.

Экзамен на получение диплома (*Diplom*) является профессионально – квалифицирующим завершением обучения на дипломной специальности. Студенты приобретают обширные фундаментальные знания в рамках выбранной специализации. Еще на начальных курсах они интегрируются в научно-исследовательскую деятельность, на основе которой базируются их проектные и курсовые работы, а также дипломная работа. Экзамен, ведущий к получению диплома, предполагает выявление способностей экзаменуемого применять научные методы и накопленный опыт, а также факт приобретения им за время учебы необходимых профессиональных знаний, служащих переходу к профессиональной деятельности.

Технические специальности, ведущие к получению диплома, характеризуются фундаментальным изучением основных принципов математики и естественных наук, приобретением достаточного практического опыта и специализации на выбранной дисциплине.

Номинальная продолжительность обучения: 4-6 лет.

Предпосылки для поступления: эквивалент тринадцатилетнего образования в системе немецкой школы (*Abitur*), при наличии степени бакалавра возможно, как правило, обучение на последних трех курсах, т.е. в рамках основного этапа обучения (*Hauptstudium*).

Успешное окончание рассматривается как возможность получения степени кандидата наук.

Завершение обучения в рамках юридического и медицинского образования, а также квалификация на получение права преподавательской деятельности завершается сдачей Государственного экзамена (*Staatsexamen*). Организация экзамена и его содержание определяются государственным органом.

Все специальности, предполагающие сдачу Государственного экзамена, являются двухуровневыми. К обучению на первом уровне (академическая квалификация) возможно получить допуск, независимо от национальности, что же касается второго уровня (практическое обучение), существуют ограничения для граждан из стран, не входящих в ЕС. Это также касается программ, ведущих к получению права преподавательской деятельности.

Номинальная продолжительность обучения: 4-6 лет.

Предпосылки для поступления: эквивалент тринадцатилетнего образования в системе немецкой школы (*Abitur*), при наличии степени бакалавра

возможно, как правило, обучение на последних трех - четырех курсах, т.е. в рамках основного этапа обучения (*Hauptstudium*).

Успешное окончание рассматривается как возможность получения степени кандидата наук.

Можно получить степень кандидата наук в рамках всех предлагающихся специальностей. Минимальным требованием для аспирантуры является законченное высшее образование с оценкой не ниже «хорошо», которое соответствует окончанию немецкого вуза. Для соискателей, окончивших вуз в родной стране, это означает, что они должны, как правило, иметь у себя за плечами двухлетнее обучение в магистратуре, завершив ее написанием научно-исследовательской работы с оценкой не ниже «хорошо».

Написание кандидатской диссертации в Германии подразумевает, как правило, индивидуальную научно-исследовательскую работу. Для этого необходимо, прежде всего, найти профессора, который согласится быть научным руководителем (*Doktorvater*), заинтересовавшись в теме кандидатской диссертации, и будет готов курировать ее написание в течение трех – пяти лет (в зависимости от специальности). Предложение темы диссертации или интересующей области исследования, включая календарный план будущей научной деятельности, необходимо предоставить заранее – в лучшем случае, непосредственно на факультет. Если к моменту подачи документов для поступления в аспирантуру не найдется руководитель, то можно подать документы без его заявления о кураторстве. В этом случае Международный отдел университета попытается найти профессора, заинтересованного в теме диссертации.

DAAD (Германская служба академических обменов) – это организация, объединяющая все немецкие вузы. DAAD ставит перед собой задачу развития международных связей в сфере высшей школы, прежде всего, путем обмена студентами, аспирантами и учеными. Программы DAAD открыты для всех стран и для любых научных и академических сфер и специальностей как для иностранцев, так и для граждан ФРГ в равной степени. Помимо этого DAAD оказывает содействие международным связям вузов посредством информационно-издательских программ и консультационных услуг. В рамках своей компетенции DAAD выступает как экспертная инстанция в формировании и осуществлении культурной политики Германии за рубежом.

Ежегодно Германская служба академических обменов выделяет стипендии по целому ряду программ в России.

Стипендии DAAD предназначены для студентов, аспирантов и ученых, предоставляются на конкурсной основе и дают возможность пройти обучение или провести научное исследование в Германии.

GI (Немецкий культурный центр им. Гёте) – организация, созданная для помощи в изучении немецкого языка и для посредничества в знакомстве с немецкой культурной по всему миру.

Его деятельность осуществляется под эгидой правительства Федеративной Республики Германии.

В Германии и за пределами работают около 3100 сотрудников GI.

129 институтов в различных странах мира задумывают и организуют вместе со своими партнерами культурные программы – научные, литературные, исторические, посвященные кино, театру, танцу, изобразительному искусству и музыке.

В Российской Федерации GI имеет представительства в Москве и Санкт-Петербурге.

GI предоставляет также возможность сдачи следующих экзаменов по немецкому языку, дающих право на учебу в высших школах Германии:

Центральный экзамен высшей ступени (ZOP)

Малый и Большой диплом немецкого языка (KDS; GDS)

Экзамен TestDaF

В 16 институтах в Германии ежегодно свыше 25 000 иностранцев изучают немецкий язык с помощью новейшей методики обучения.

Информационные и библиотечные центры зарубежных представительств GI предоставляют всем заинтересованным лицам актуальную и подробную информацию о языке, культуре и общественной жизни Германии.

Институты создают и распространяют множество материалов (книги, журналы, информационные бюллетени о Германии, художественные и документальные фильмы, информацию в Интернете), призванных знакомить иностранцев с культурной, общественной и политической жизнью в Германии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martin Spiewak. Bildung für die Zukunft // Campus Deutschland. – 2005. – № 1. – С. 42 – 65.

2. Дьячкова Е.В. Бизнес-курс немецкого языка для студентов неязыковых вузов / Е.В. Дьячкова. – Москва.: Дрофа, 2007. – 160 с.

УДК 378.033

Г.В. Галевский, Т.В. Киселёва, В.В. Руднева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

НЕПРЕРЫВНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА НА РЫНКЕ ТРУДА

Рассмотрены условия реализации программы дополнительного профессионального образования «Эколог в сфере профессиональной деятельности (металлургия)» в ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Conditions of realization of the program of additional vocational training «Ecologist in sphere of professional work (metallurgy)» in the Siberian state industrial university are considered.

Динамизм общественного развития и ускорение социально-экономического прогресса оказывают решающее воздействие на систему образования. Так, российская система образования ранее ориентировалась на завершенность образования и обеспечение всей социальной и профессиональной деятельности работника, что в современных условиях не удовлетворяет потребности общества в подготовке квалифицированных кадров.

Как показывает практика, даже самого качественного образования хватает на пять-десять лет, а Европа уже вступила в «эпоху знаний» со всеми вытекающими экономическими и социокультурными последствиями: меняются требования к труду, квалификации, уровню и качеству жизни. Важный аспект изменившихся требований к образованию и профессиональной подготовке – это короткий «жизненный цикл» знаний, навыков и профессий. Как следствие этого, все более важными становятся непрерывность образования, регулярное обновление индивидуальных способностей и повышение квалификации. Традиционный подход, предполагающий обучение в течение отдельного и ограниченного периода времени, постепенно заменяется моделью непрерывного образования.

Термин «непрерывное образование» впервые появился в 1972 г. в документах ЮНЕСКО, где было принято решение, признавшее непрерывное образование основным принципом реформ образования во всех странах мира. А в марте 2000 г. Лиссабонский саммит подтвердил, что благополучный переход к экономике и обществу, основанных на знании, должен сопровождаться процессом непрерывного образования – «учения длиною в жизнь» (lifelong learning), или «образование на всю жизнь», или «образование через

всю жизнь». Причем Европейская стратегия занятости «учение длиною в жизнь» определяется как всесторонняя учебная деятельность, осуществляемая на постоянной основе с целью улучшения знаний, навыков и профессиональной компетенции. А с учетом «периода полураспада компетенций» выпускники вузов будут периодически возвращаться в систему высшего образования, чтобы приобретать, учиться применять, а также обновлять знания и навыки, необходимые им в профессиональной деятельности [1]. Ожидается, что в ближайшем будущем смена работы постепенно станет нормой и на протяжении трудовой жизни работнику придётся не раз менять профессию. Поэтому в настоящее время дополнительное профессиональное образование как «образование в течение всей жизни» стремится занять лидирующее положение и расширить спектр подготовки специалистов.

В ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» в 2009г впервые в Кузбассе открыта профессиональная образовательная программа для получения дополнительной к основной квалификации «Эколог в сфере профессиональной деятельности (металлургия)». Её презентация состоялась на Кузбасской выставке-ярмарке «Образование. Карьера. Занятость».

Функции выпускающей кафедры возложены на кафедру «Общей экологии и безопасности жизнедеятельности» с активным привлечением для проведения занятий высококвалифицированных преподавателей кафедр «Металлургия цветных металлов и химическая технология» и «Теплофизика и промышленная экология», в том числе 9 докторов наук, профессоров, 8 кандидатов наук, доцентов. Кафедра располагает учебными аудиториями, оснащенными аудиовизуальным, компьютерным и проекционным оборудованием, лабораториями, компьютерным классом, тесно взаимодействует с университетскими центрами компьютерных технологий, издательским и др.

Назначением новой программы является подготовка к работе по специальностям и специализациям, смежным с экологией и охраной окружающей среды. Программа предназначена для подготовки лиц, получивших высшее профессиональное образование естественно-научного, технического или социально-экономического профиля, и студентов старших курсов. Квалификация «Эколог в сфере профессиональной деятельности (металлургия)» будет являться дополнительной к основной квалификации, получаемой выпускником вуза.

Основной целью данной программы является подготовка специалистов к защите государственных интересов в областях профессиональной деятельности, связанных с охраной окружающей среды и решению задач, связанных с разработкой предложений по охране окружающей среды: производственный менеджмент; разработка инвестиционных проектов в металлургии; экологическая экспертиза технологических проектов; разрешение производственных конфликтов, связанных с экологической безопасностью в области профессиональной деятельности; оценка стоимости ущерба, нанесенного природной среде техногенными воздействиями; проектирование соглашений и заключе-

ние договоров в области профессиональной деятельности; проведение научных исследований по экологии.

Сферой профессиональной деятельности могут являться научно-исследовательские, проектные, научно-производственные и образовательные учреждения; подразделения министерств и ведомств, финансово-промышленные группы, инновационные фонды, международные организации в области охраны окружающей среды, фирмы наукоемких технологий, предприятия малого и среднего инновационного бизнеса, технопарки, технополисы, инкубаторы технологий, консалтинговые фирмы, аудиторские фирмы, система переподготовки и повышения квалификации кадров госслужащих и других категорий работников, вузы, колледжи.

При подготовке к открытию программы было уделено большое внимание методическому обеспечению учебного процесса: разработаны программы учебных дисциплин, подготовлены методические указания к проведению занятий, подобраны комплекты тестов, упражнений, составлены экзаменационные билеты и вопросы к зачетам, сформирован фонд основной и дополнительной литературы для всех дисциплин учебного плана.

Программа дополнительного профессионального образования «Эколог в сфере профессиональной деятельности (металлургия)» рассчитана на 2 года и состоит из 4 блоков: гуманитарно-социальные дисциплины, общественно-научные, общепрофессиональные дисциплины и специальные дисциплины, а также включает предквалификационную практику (или стажировку) и итоговую государственную аттестацию.

Основной целью изучения дисциплин гуманитарно-социального и естественно-научного блоков является формирование базовой основы для освоения последующих общепрофессиональных и специальных дисциплин. При этом слушатели должны изучить основы экологической культуры, математику, физику, химию, геологию, биологию с основами экологии.

Блок общепрофессиональных дисциплин объемом 510 часов, из них 256 часов аудиторных), включает 9 дисциплин. Изучение «Общей экологии» и «Геологии» углубляет знания слушателей по таким вопросам как организмы и среда их обитания; экосистемы и их динамика; биосфера; основные виды антропогенного воздействия на биосферу; пределы устойчивости экосистем и биосферы; природные и техногенные геосистемы; методы геоэкологических исследований; стратегия сокращения затрат природных ресурсов и загрязнения окружающей среды.

«Природопользование и охрана природы» – это дисциплина особенно актуальна в условиях рыночной экономики поскольку рассматривает вопросы рационального использования природных ресурсов; управления природопользованием, правового регулирования природопользования и юридической и экономической ответственности; экологические требования к хозяйственной деятельности. На практических занятиях будут выполняться расчеты по оценке экологического ущерба.

Важной и ориентированной на человека является дисциплина «Экология человека и социальная экология», изучающая природное окружение и здоровье человека; физиологические основы адаптации; биологически обоснованные потребности и права человека; географию населения земли; показатели здоровья, а также демографические проблемы и пути преодоления экологического кризиса.

Развить свои творческие способности, проявить общую эрудицию слушатели могут на семинарах по дисциплине «Глобальные экологические проблемы и безопасность», обсуждая социально-экономические процессы, определяющие глобальные экологические изменения; новые международные разработки и программы по преодолению экологического кризиса; современные синергетические модели и прогнозы будущего человечества. Проведению семинарских занятий предшествует чтение проблемных лекций.

Активные методы обучения широко представлены и при изучении дисциплин «Математические модели в экологии и экологическая информатика» и «Актуальные проблемы современной экологии». Кафедра располагает современным компьютерным классом, набором компьютерных тестов. Это позволяет достичь большей интенсивности, активности, самостоятельности в работе слушателей и объективной оценки их знаний. Вдумчивое изучение актуальных экологических проблем позволит слушателям изменить «психологию ковбоя» на «психологию космонавта».

Целью изучения дисциплины «Экологическая диагностика состояния окружающей среды» является знакомство слушателей с методами и принципами оценки воздействия на окружающую среду; экологическим мониторингом и его видами. В условиях быстроизменяющегося состояния окружающей среды это имеет большое значение для принятия правильных инженерных решений.

Деловые игры, практические занятия при изучении дисциплины «Основы экологического проектирования и экспертизы» направлены на формирование у слушателей умения выполнять экологическое обоснование хозяйственной деятельности; проектировать природоохранные и защитные объекты; управлять отходами; владеть правовыми основами экологического проектирования и экспертизы, лицензионной деятельности.

Блок специальных дисциплин включает такие дисциплины как «Экологическая безопасность и геополитические интересы России», «Проблемы прикладной экологии в металлургии», «Обеспечение экологической безопасности в металлургии», «Экологический менеджмент в металлургии», а также дисциплины по выбору: «Конфликтология», «Основы экологического права», «Психология профессиональной деятельности», «Стандартизация и сертификация».

Все эти дисциплины призваны научить слушателей использовать методы и подходы современной экологии при решении задач в своей профессиональной деятельности, в том числе для экологического проектирования и экспертизы; применять нормативно-правовую базу, а также владеть систем-

ным подходом к решению задач по снижению экологического риска в металлургии. При освоении этого блока дисциплин планируется широко использовать активные методы обучения: кейс-метод, мозговой штурм, «свободное пространство», деловые и ролевые игры, метод проблемного изложения.

Один из эффективных методов активации процесса обучения – метод проблемного изложения. При таком подходе лекция становится похожей на диалог, преподавание имитирует исследовательский процесс (выдвигаются первоначально несколько ключевых постулатов по теме лекции, изложение выстраивается по принципу самостоятельного анализа и обобщения слушателями учебного материала). Перед началом изучения определенной темы курса перед слушателями ставится проблемный вопрос или дается проблемное задание.

Другой метод – метод кейс-стадии или метод учебных конкретных ситуаций (УКС). При данном методе обучения слушатель самостоятельно вынужден принимать решение и обосновать его. Кейсы, подготовленные и составленные исходя из фактических примеров, изучаются и обсуждаются под руководством преподавателя. Метод способствует развитию умения анализировать ситуации, оценивать альтернативы, прививает навыки решения конкретных профессиональных задач.

Приёмы деловых или ролевых игр ориентированы на поэтапное участие каждого слушателя в процессе занятия. При этом процесс обучения приближается к реальной практической деятельности специалиста.

Метод мозгового штурма используется для обсуждения проблем, требующих креативного подхода. При этом снимается критичность с любых высказываний и можно предлагать столько идей, сколько приходит в голову.

При дискуссии «свободное пространство» слушателям вначале раздаются чистые листы бумаги и каждый пишет тему, которую хотел бы обсудить. Затем темы объединяются в блоки по схожей тематике и формируются малые группы по 3 – 5 человек для обсуждения выбранной темы. Каждая из групп готовит презентацию, а затем представляет её всей аудитории и защищает.

Такое разнообразие методов и средств обучения призвано активизировать познавательную деятельность слушателей.

Программой обучения предусмотрено прохождение предквалификационной практики или стажировки.

Итоговая государственная аттестация заключается в защите выпускной квалификационной работы, позволяющей выявить теоретическую и практическую подготовку к решению профессиональных задач.

Квалификационная работа может быть реализована в одной из следующих форм:

- научный реферат;
- работа прикладного характера;
- работа методического характера;

- самостоятельное научное исследование.

Специалисты, освоившие программу дополнительного профессионального образования «Эколог в сфере профессиональной деятельности (металлургия)», с учётом приобретенных знаний и навыков способны лучше адаптироваться к новым экономическим и социальным условиям и быть конкурентоспособными на рынке труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация. Пер. с англ. / Дж. Равен. – М.: Когито-Центр, 2002. – 396 с.

З.А. Масловская, Н.К. Дорошенко, Т.В. Ерилова, В.Е. Громов
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

О ТЕРМОДИНАМИКЕ, ЭНТРОПИИ И КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Рассмотрены основы термодинамики. Качество энергии связано с энтропией – мерой беспорядка системы. Тепловая энергия обладает самым низким качеством. При использовании энергии её качество ухудшается.

The thermodynamics bases have been studied. Energy quality is connected with entropy, which is the measure of system chaos (disorder). Heat energy possesses the lowest quality. While being used, energy quality becomes bad.

Проблемы энергетики, экологии, охраны окружающей среды и т.п. невозможно понять, не зная физики в её современном виде. До сих пор преобладает мнение, что если энергии будет достаточно, то с её помощью будут решены и экологические проблемы. При этом упускается из виду, что для исправления ошибок неразумного хозяйствования надо не просто много энергии, а много энергии высокого качества и может быть упущено время.

Закон возрастания энтропии (или второе начало термодинамики) является одним из основных законов не только физики, но и всего современного естествознания.

Термодинамика изучает равновесные и неравновесные состояния систем. Как сказано в работе [1], «с молекулярно-кинетической точки зрения положению равновесия отвечает состояние максимального хаоса. При удалении от равновесия состояние становится все более неустойчивым. Поэтому от замкнутых систем нужно перейти к рассмотрению систем открытых, которые могут обмениваться с окружающей средой веществом или энергией». В замкнутых системах, которые изучает равновесная термодинамика, нет условий для самоорганизации. Неравновесная термодинамика описывает скачкообразные процессы. Её задача – доказать, что неравновесное состояние может стать причиной порядка. Чтобы система могла создавать и поддерживать упорядоченность из хаоса, она должна быть открытой и получать энергию и вещество извне. Весь доступный нам мир состоит из таких систем, которые И. Пригожин [2] назвал «диссипативными». В этих системах энергия упорядоченного движения переходит в энергию неупорядоченного движения, т.е. в тепло. В ходе эволюции такая система достигает в силу самого характера своего развития состояния сильной неравновесности и те-

ряет устойчивость. Чтобы избежать этой ситуации, необходим быстрый переход открытой системы в одно из возможных устойчивых состояний, качественно отличающихся от исходного. Этот процесс происходит не под влиянием внешних воздействий, а за счет внутренней перестройки системы. И. Пригожин рассматривал такой переход как самоорганизацию системы, как приспособление её к изменившимся внешним условиям, что должно обеспечить её выживание.

Степень неупорядоченности открытых систем характеризуется энтропией, которая определяется в неравновесном состоянии как сумма значений энтропий малых элементов системы. Энтропия – это мера неупорядоченности состояния системы, поэтому она тесно связана со структурой системы.

В открытых системах энтропия может вести себя любым образом: на отдельных участках она возрастает, а на других – убывает, т.к. суммарное изменение энтропии за цикл равно нулю. Более однородное состояние является менее упорядоченным, но именно в этом случае энтропия системы максимальна. При увеличении неоднородности происходит уменьшение энтропии, а наши знания о системе становятся более определенными. «Энтропия системы – мера отсутствия информации об её внутреннем устройстве» [3]. В соответствии с законом возрастания энтропии доступная информация о замкнутой системе с течением времени убывает.

Экологическая система – единый комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания. В термодинамическом отношении это – открытая незамкнутая система. Живой организм отдает в окружающую среду больше неупорядоченности, чем получает, он представляет собой устойчивую, саморегулирующуюся открытую систему, обладающую высокой организацией на молекулярном и макроскопическом уровнях. По Э. Шредингеру, организм – это «апериодический кристалл», т.е. высокоупорядоченная система, подобная твердому телу, но лишенная периодичности в расположении элементов – клеток, молекул, атомов [1]. Другой механизм получения упорядоченности – это статистический механизм, когда порядок возникает из беспорядка.

Наша Земля также не является замкнутой системой. Если бы она была замкнутой, то её энтропия со временем возросла бы. Но Земля – нагретое тело, поэтому она испускает тепловое излучение, которое «уносит» с собой в космос энтропию, причем уходящий поток энтропии превышает в 20 раз входящий поток. Энтропия Земли с течением времени не только не возрастает, но может даже уменьшаться. В настоящее время энтропийный баланс Земли остается отрицательным. Предполагается, что входящий поток энтропии сохранится практически неизменным в течение 3-7 млрд. лет. Поток энтропии, «выбрасываемый» в космос, тоже не должен измениться в обозримом будущем. Он зависит от средней температуры Земли, изменения которой даже в ледниковые периоды не превышали 2 – 3 %. Быстрый рост производства энтропии как результат возникновения цивилизации может привести к нарушению энтропийного баланса на Земле. В первую очередь раз-

рушатся самые молодые структуры, такой структурой, в частности, является человеческое общество. Признаком приближающейся угрозы является все нарастающее загрязнение окружающей среды. Известно, что производство энтропии при переходе системы из одного состояния в другое зависит от способа перехода [3].

Выяснение условий, при которых из хаоса возникает порядок – это задача номер один науки в XXI столетии. Термодинамика неравновесных процессов создает основы для исследования открытых систем, позволяет объяснить многие неравновесные явления, например, термоэлектрические и гальваноманнитные.

Доктор физико-математических наук М.Г.Савин [4], рассматривая проблему катастрофических землетрясений, предлагает обратиться к теории диссипативных структур. Реальная геофизическая среда – это открытая система, в которой протекают нелинейные и нестационарные процессы, и наблюдается диссипация энергии. При огромных давлениях и температурах в недрах Земли происходит движение вещества и энергии, внутренняя материя Земли в районе очага землетрясения проявляет чувствительность к воздействию как естественных (солнечная активность), так и искусственных (МГД-генераторы) электрических полей. Проводимость среды становится функцией электрического поля. Развитие событий в том или ином направлении определяется точками бифуркации, где траектория, по которой будет развиваться процесс, делится на несколько ветвей. Чтобы ответить на вопрос, где и когда произойдет землетрясение, нужно прежде решить, по какому пути пойдет процесс, и от чего зависит выбор ветви. И. Пригожин считал, что это определяется флуктуацией на микроскопическом уровне. Было замечено, что, начиная с 1964 года, когда стали проводить испытания мощных ядерных зарядов, число крупных землетрясений в мире уменьшилось. Группа российских ученых во главе с академиком Е.П. Велиховым пришла к выводу, что кратковременные высокоэнергетические воздействия на литосферу порождают слабые землетрясения и уменьшают число катастрофических. «Имеется в виду искусственное возбуждение механизма разгрузки напряжений в земной коре до того, как они достигнут критического значения», – пишет М.Г. Савин. На этой основе возникла идея использования импульсных магнитогидродинамических генераторов (МГД) с целью выделения энергии, запасенной в земной коре.

Доктор физико-математических наук С.И. Яковленко в работе [5] говорит о качестве энергии. Энергию низкого качества невозможно перевести в энергию высокого качества, не потратив ещё и энергию более высокого качества, т.е. не потратив, например, механическую работу. Для оценки качества важно насколько энергия хаотизирована, т.е. как велика её энтропия (мера беспорядка) [3, 5].

Можно выделить иерархию различных форм энергии по её качеству [3]. На верхних ступенях, кроме электрической, находится, например, механическая энергия. Именно, благодаря этому, КПД гидроэлектростанций, которые

используют механическую энергию падающей воды, гораздо выше, чем у тепловых. Чуть ниже по качеству химическая энергия, заключенная, например, в бензине или в аккумуляторах. Самым низким качеством обладает энергия тепловая, причем качество ее тем ниже, чем ниже температура тела.

Открытие энтропии дало возможность от общих рассуждений о качестве энергии перейти к его точной количественной характеристике. Установлено, что если система обладает запасом энергии U , то в полезную работу можно превратить не весь этот запас, а лишь его часть, которая называется свободной энергией: $F = U - TS$. Причем принято называть F – изохорно-изотермический потенциал Гельмгольца – свободной энергией, U – внутренней энергией, TS – связанной энергией. Свободную энергию F следует считать мерой качества энергетического запаса системы. Видно, что она тем меньше, чем больше запас энтропии S и абсолютная температура T . Поэтому энтропия системы является мерой некачественности ее энергетического запаса [3].

С учетом этого, закон возрастания энтропии можно сформулировать так: энергетический запас замкнутой системы, оставаясь неизменным количеством, с течением времени неуклонно ухудшается качественно.

Гипотетическую тепловую машину, преобразующую тепловую энергию в механическую или электрическую с нарушением второго начала термодинамики, называют «вечным двигателем второго рода». В «вечных двигателях первого рода» хотят нарушить закон сохранения энергии. В «вечных двигателях второго рода» хотят нарушить закон возрастания энтропии для систем, близких к термодинамическому равновесию (в замкнутых, изолированных системах). При создании «вечного двигателя третьего рода» пытаются нарушить закон возрастания энтропии для термодинамики неравновесных систем. Автор [5] обосновывает мысль, что проектируемые сейчас термоядерные электростанции на основе известных установок «ТОКАМАК» и котлов взрывной энергетики, могут оказаться чем-то вроде «вечного двигателя третьего рода», т.к. предлагаемые циклы недостаточно проанализированы с энтропийной точки зрения. Энергия высокого качества тратится варварски: ядерная энергия высокого качества переводится в тепло парового котла, раздается малыми порциями частицам нагреваемого тела, затем это качество энергии начинают повышать, что сопровождается энергетическими потерями. Вырабатывается электроэнергия. Электричество используется для формирования пучков быстрых частиц, которые потом вводят в плазму для её нагрева.

Известный физик, создатель модели Большого Взрыва Г. Гамов показывает актуальность энтропии: «В современном ресторане, организованном на основе научных принципов, в меню следовало бы указывать не только цены и калории (энергетическое содержание), но и от какого количества энтропии посетитель избавится, съев, то или иное блюдо». [6]

В работе [3] отмечается, что энергетические проблемы цивилизации заключаются не в том, чтобы найти источники энергии для удовлетворения

потребностей человека, а в том, чтобы найти источник энергии высококачественной.

Основная экологическая проблема – это то, что в результате деятельности человечества происходит ускоренная деградация качества энергии, имеющейся в его распоряжении.

Более того, так называемые цивилизованные страны вносят подавляющий вклад в перевод качественных энергоресурсов в тепло [3, 5]. Нет общей стратегии сбережения энергоресурсов Земли. Не продуманы комплексные производственные циклы, в которых качество потребляемой энергии тратилось бы не сразу, а постепенно на производство более качественной и нужной продукции. Увеличение количества энергии, потребляемой обществом, должно смениться улучшением использования качества энергии. Безудержное производство военной техники и боеприпасов опасно не только потенциальной возможностью их использования, и не только тем, что военные заводы, как правило, игнорируют экологические ограничения. Большая опасность таится в растрате высококачественной энергии на огромное количество продукции, которая в лучшем случае применяться не будет. Известен пример, иллюстрирующий эффективность использования энергии именно низкого качества. Гидроэлектростанции долгое время рассматривали как почти даровой источник энергии и не учитывали низкое качество энергии течения равнинных рек. Потом оказалось, что использование, например, для производства сельскохозяйственных продуктов лугов, залитых водохранилищами, позволяет получить больше выгоды, чем от гидроэлектроэнергии.

В природе существуют два важнейших закона-ограничителя – первое и второе начала термодинамики (закон сохранения энергии и закон возрастания энтропии). Жестоко себя накажет человечество, если не будет замечать ограничений, налагаемых законами природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания: учебник / Т.Я. Дубнищева. – 4-е издание. – Новосибирск: ООО «Издательство ЮКЭА», 2003. – 832 с.
2. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой [пер. с англ.] / И. Пригожин, И. Стенгерс. – изд. 4-е, стереотипное. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 312 с.
3. Свиридов В.В. Концепции современного естествознания : учеб. пособие / В.В. Свиридов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 349 с.
4. Савин М.Г. Лечу землетрясения. Услуги платные / М.Г. Савин // Химия и жизнь. – 2005. – № 11. – С. 8 – 13.
5. Яковленко С.И. Термоядерная электростанция – «вечный двигатель»? / С.И. Яковленко // Наука и жизнь. – 1992. – № 9. – С. 11 – 21.
6. Гамов Г. Мистер Томкинс внутри самого себя. / Г. Гамов. – Ижевск: Издательский дом «Удмурский университет», 1999. – 328 с.

УДК 669.1.0.11

В.Д. Сарычев, В.Е. Громов, В.А. Малиновская, С.В. Коновалов,
Е.А. Будовских

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПО ФИЗИКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Выполнен анализ проблем подготовки по физике в техническом вузе. Рассмотрены причины слабой подготовки будущих инженеров по физике: малый объем часов, необязательный ЕГЭ по физике, отсутствие информационных технологий в преподавании. Предложены пути улучшения качества подготовки студентов и преподавания физики.

The analysis of study problems on physics in technical institutes of higher education is carried out. The reasons of the weak training of future engineers in physics are examined: the small volume of hours, the unobligatory united state examination on physics, the absence of information technologies in the teaching. The ways of an improvement in the quality of the preparation of students and teaching of physics are proposed.

В последнее время в России предпринимаются серьезные меры по мобилизации возможностей вузов для более эффективного содействия экономическому развитию регионов. В современных условиях к вузам предъявляются новые требования, соблюдение которых необходимо для их эффективной долговременной работы. Для того, чтобы занять важное место в жизни региона, играть в его развитии значимую роль, вузу уже недостаточно выполнять обычные традиционные функции. Требуется активная социальная позиция, включенность и интегрированность в экономическую жизнь своего региона [1]. Являясь основными источниками производства знаний, развития научных исследований и выработки инновационных решений, вузы должны сохранять конкурентоспособность в условиях глобальной экономики знаний с учетом специфики развития Кузбасса.

В системе инженерного образования физика играет принципиально важную роль. Она закладывает фундаментальную базу теоретической подготовки инженера и формирует диалектико-материалистическое мировоззрение.

К сожалению, в преподавании этой дисциплины в последние 10 лет возникли серьезные трудности. Усвоение студентами курса общей физики напрямую зависит от уровня подготовки вчерашних школьников. В последнее время количество часов, отведенное на изучение физики в школе, снижа-

ется, так же и неуклонно снижается качество школьного образования. В последние годы отменен вступительный экзамен по физике (ЕГЭ) в технических вузах.

Все перечисленное является существенным препятствием к изучению курса общей физики в вузе. Реформирование образования по пути Болонских требований привело к тому, что преподавание физики в России оказалось на обочине образовательного процесса. Сокращение физики для 90 % школьников до 2 уроков в неделю привело к тому, что освоение этой основной дисциплины приобретает характер обычной профанации. Решением Минобрнауки альтернативой физике на вступительных экзаменах в технические вузы включена «Информатика», что еще больше усугубляет тенденции принижения физики в школе [2].

Будущие инженеры приходят в вузы с крайне слабой подготовкой по физике. Да и как это может быть иначе. Ведь тесты для ЕГЭ по физике составлены из расчета не менее (!) пяти уроков в неделю. Значительная часть студентов не в состоянии освоить вузовский курс физики, хотя бы на уровне минимальной достаточности.

Сам вузовский курс физики в технических вузах сокращен до предела и находится у черты, за которой целостность курса разрушается: 200 часов физики для будущих инженеров становится нормой. Полным ходом идет процесс вытеснения физики курсом «Концепции современного естествознания» - описательным, «качественным» курсом.

Как следствие, идея фундаментальности естественнонаучного Российского образования, о которой говорится с высоких трибун, является идеей фикс. Государство вольно или невольно получает инженеров с дефицитом естественнонаучных знаний, неспособных сопротивляться «лженауке», с узким техническим кругозором.

В перспективе трудно рассчитывать, что Россия способна на крупный прорыв в области высоких технологий, трудно надеяться, что такое государство будет иметь инженерный корпус, обеспечивающий научно-технический прогресс и даже национальную безопасность. Преодоление этих трудностей не может быть достигнуто каким-то разовым решением. Среди первоочередных задач несомненно являются: экзамен по физике в форме ЕГЭ должен быть обязательным для всех выпускников средней школы России; - вступительный экзамен по физике должен быть обязательным во всех вузах России, исключая гуманитарные.

Понимая важность ЕГЭ, как внешнего контроля качества школьного образования, своеобразного ОТК продукции школы, вузы столкнулись с яростным сопротивлением школьных учителей проведению ЕГЭ. Из-за отсутствия мотивации обучения у детей у учителей складывается мнение необходимости упрощенных подходов, решению задач в одно действие по формуле. От этого страдают любознательные и трудолюбивые школьники, когда им вместо знаний и умений вбивают простые определения и требуют пересказ параграфа. Снижение уровня требований со стороны учителей не способствует

получению качественных знаний. Поэтому ЕГЭ и был призван исправить эту ситуацию. Как всё новое, ЕГЭ требует совершенствования и доработок. Нам представляется полезным: снижение количества вопросов до 25, повышение при оценке удельного веса задач, использовать вопросы, включение двух действительно трудных задач, требующих владения интегро-дифференциальным исчислением.

Большая беда высшей школы и в том, что мы – не умеем учить студентов, как они должны думать. Существующий вузовский процесс основан на запоминании. Это ненормально. В погоне за большим объемом сообщаемых знаний мы отнимаем у студентов возможность думать. Вуз старается как можно больше предложить студенту собранного фактического материала [3].

Опыт ведущих физических вузов (например, МФТИ, МИФИ) показывает, что они готовят первоклассных специалистов, востребованных во всем мире! Эти вузы работают по 6 дней в неделю с предельными нагрузками и самоотдачей! Да, это элитные столичные технические вузы. Однако положительный опыт может быть перенесен и на провинциальную почву. Почему бы нам не вернуться на новом, естественно, уровне к очень здоровой идее, заложенной при создании элитного факультета нашего вуза – ЮКВИКа?

В настоящее время, а в период кризиса особенно, требуются высококвалифицированные инженеры с широким кругозором и профессиональным уровнем одновременно.

Преподавание физики в средней школе и вузе сегодня не выходит за традиционные рамки и по-прежнему ограничивается концепциями классического и неклассического этапов в развитии физики. Тогда как, современная наука, начиная с 60-х годов XX века, вступила, так называемый, в *постнеоклассический этап*, заключающийся в использовании понятий хаотической динамики». Многочисленные приложения хаотической динамики в физике, технике и других областях обязаны существовать новому обстоятельству, и состоит в том, что *хаос возможен уже при двух степенях свободы*. Сложное поведение системы не есть следствие сложности устройства конкретной динамической системы и не в числе её степеней свободы. Наиболее простым физическим примером появления хаотической динамики является математический маятник под действием внешней периодической силы. Результатом хаоса необязательно является статическое равновесие макросистемы, скорее наоборот, коллективные процессы типа «химической динамики», т.е. развитие и смена регулярных структур, подчиненные небольшому числу степеней свободы. Все это получило название «синергетика». Синергетический подход к пониманию мира, в основе которого лежит физика неравновесных процессов и теория детерминированного хаоса, должен быть использован при изложении современной физики. Для этого было бы полезно включить в образовательный стандарт элементы синергетики, например, нелинейный математический маятник.

При изучении курса физики в вузе необходимо обратить особое внимание на понимание сущности физических явлений, на умение объяснить физический смысл величин, входящих в формулу, а также на необходимость решать задачи с соответствующим анализом результатов и выводами, вытекающими из них.

Имея в виду, что нашими получателями «продукции» (пока получают, не покупают) являются предприятия – металлургической, горной и строительной индустрии, то следует остановиться на особенностях, на пример, металлургического производства. Исторически железоделательное производство возникло и развивалось на интуитивном уровне, навыки мастеров передавались от учителя к ученику на практике. Развитие фундаментальной науки слабо влияло на технологии выплавки и обработки металлов. Развивалась своя металлургическая наука. Если авиационная, космическая и атомная отрасли возникли и развивались благодаря параллельному развитию фундаментальной науки, то металлургия черных металлов до недавнего времени использовала понятия и методы физики и химии XIX века. Это равновесные параметры (температура плавки, химсостав слитка и др.) и законы интегрального баланса массы и энергии. Однако, уже пришло понимание металлургами необходимости использования методов современного материаловедения, гидродинамики, вычислительного эксперимента и т.д. Здесь встает вопрос, где взять специалистов такого уровня и как их воспитать. Продвинутые школьники нашего города, поддавшись на мощный престиж олимпиадных вузов МФТИ, МГУ и НГУ, покидают город, получают, безусловно, суперкачественное образование, и к проблемам металлургии никакого отношения не имеют, и не будут иметь. Понимая важность решения фундаментальных задач оборонного содержания, тем не менее, считаем, что нашему вузу не хватает грамотных, творчески и нестандартно мыслящих абитуриентов, способных овладеть как фундаментальными знаниями, так и основам металлургии. Для этих целей на кафедре ведется работа по решению нестандартных задач по физике, математике и информатике с металлургическим уклоном со школьниками города с дальним прицелом поступления в наш университет на элитные специальности.

Для обеспечения качества подготовки студентов технических специальностей по дисциплине «Физика» необходимо использовать новейшие интерактивные технологии, которые полезны и удобны в учебном процессе [4]. В этом случае, участвуя в изменении виртуального пространства, студент более глубоко вовлекается в учебный процесс, что, как правило, приводит к значительному повышению успеваемости. А у преподавателя появляется возможность более творчески подойти к изложению материала: использовать 3D-анимацию, видео-, аудиоматериалы [4].

Внедрение в учебный процесс мультимедийных технологий дает возможность создать условия для использования наиболее эффективных форм передачи информации.

Противоречие между быстрым темпом приращения знаний в современном мире и ограниченными возможностями их усвоения человеком может быть решено с помощью информационных технологий. Например, математического моделирования фундаментальных физических объектов и явлений, и исследования свойств этих моделей, создания имитационных лабораторных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешкова Т.А. Анализ перспективных направлений взаимодействия вуза с регионами / Т.А. Мешкова, О.В. Перфильева // Высшее образование сегодня. – 2008. – № 11. – С. 32 – 40.
2. Совещание заведующих кафедрами физики вузов России. Информационное письмо. – М.: Изд-во МАИ-МФТИ, 2009. – 4 с.
3. Физика. Корректирующий курс / З.А. Масловская, Г.С. Демина, Н.К. Дорошенко и др. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2009. – 142 с.
4. Струкова Г.В. Обеспечение качества подготовки по физике студентов технических специальностей / Г.В. Струкова // Высшее образование в России. – 2008. – № 12. – С. 75 – 79.

УДК 378.147:[811:004]

Е.Г. Оршанская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО СЛОВАРЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ

Рассматривается понятие "электронный словарь". Описаны его структура и возможности применения при изучении иностранных языков на примере электронного словаря ABBYY Lingvo.

The term "dictionary" is examined. Its structure and possibilities of using in learning foreign languages by example of ABBYY Lingvo dictionary are described.

Новые требования общества к уровню образованности и развития личности меняют методики преподавания. В последнее время все большее распространение получает применение информационных технологий при изучении иностранным языкам в высших учебных заведениях. Одним из популярных нововведений является электронный словарь. Под электронным словарем принято понимать компьютерную базу данных, содержащую особым образом закодированные словарные статьи, позволяющие осуществлять быстрый поиск нужных слов, часто с учетом морфологических форм и с возможностью поиска сочетаний слов (примеров употребления), а также с возможностью изменения направления перевода (например, англо-русский или русско-английский) [1].

Наибольшим доверием и востребованностью среди изучающих иностранные языки пользуются электронные словари семейства ABBYY Lingvo, последняя версия которых вышла в 2008 г. (рисунок 1). Объем словарных статей составляет более 8,7 млн. Многоязычная версия охватывает 11 языков — русский, украинский, английский, немецкий, французский, испанский, итальянский, турецкий, латинский, китайский, португальский. Данные словари разрабатываются и поставляются на рынок ABBYY Software House – российской компанией-производителем программного обеспечения в области распознавания документов (OCR), ввода форм (ICR), прикладной лингвистики и программного обеспечения в области искусственного интеллекта, в частности, распознавания документов и обработки естественного языка. К наиболее известным продуктам ABBYY относятся система распознавания документов ABBYY FineReader и семейство электронных словарей ABBYY Lingvo. Головной офис группы компаний ABBYY находится в Москве. Другие компании группы расположены в США, Германии, Великобритании, Японии, на Украине и в России. Программы компании пользуются около 17,5 млн человек.

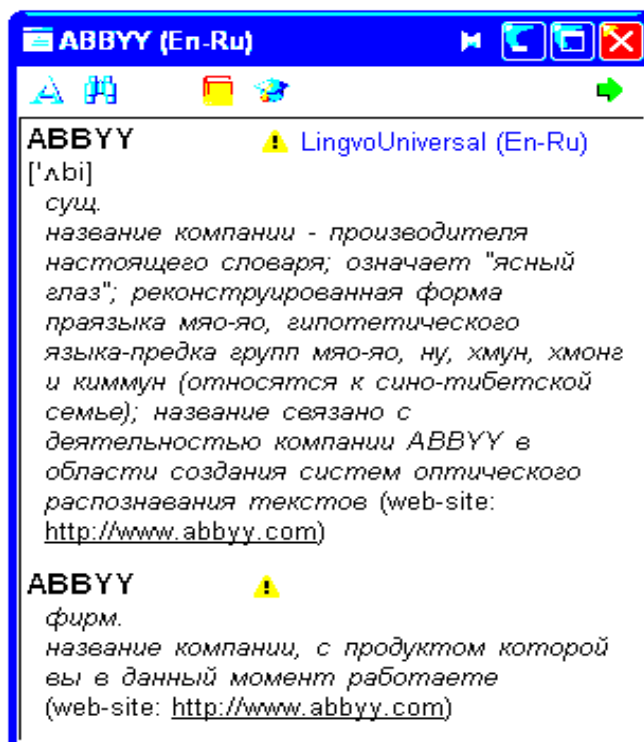


Рисунок 1 – Окно электронного словаря [ABBYY Lingvo](#)

В ABBYY Lingvo нет функции полнотекстового перевода, но возможен пословный перевод текстов из буфера обмена. Все слова снабжены транскрипцией.

В состав программы входит обучающий модуль Lingvo Tutor, помогающий запоминать новые слова (рисунок 2). После введения одного из значений данного слова и проверки (Check), можно перейти к следующему слову.



Рисунок 2 – Обучающий модуль Lingvo Tutor

В электронном словаре предусмотрено открытие двух окон: первое окно со списком слов (рисунок 3), второе окно – словарная карточка (рисунок 4).

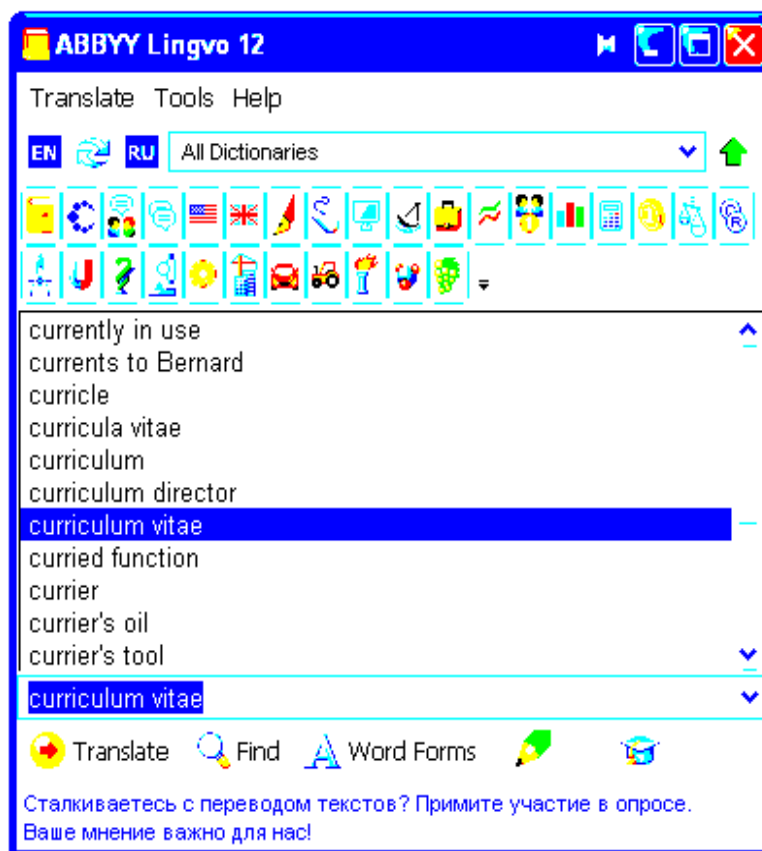


Рисунок 3 – Список слов

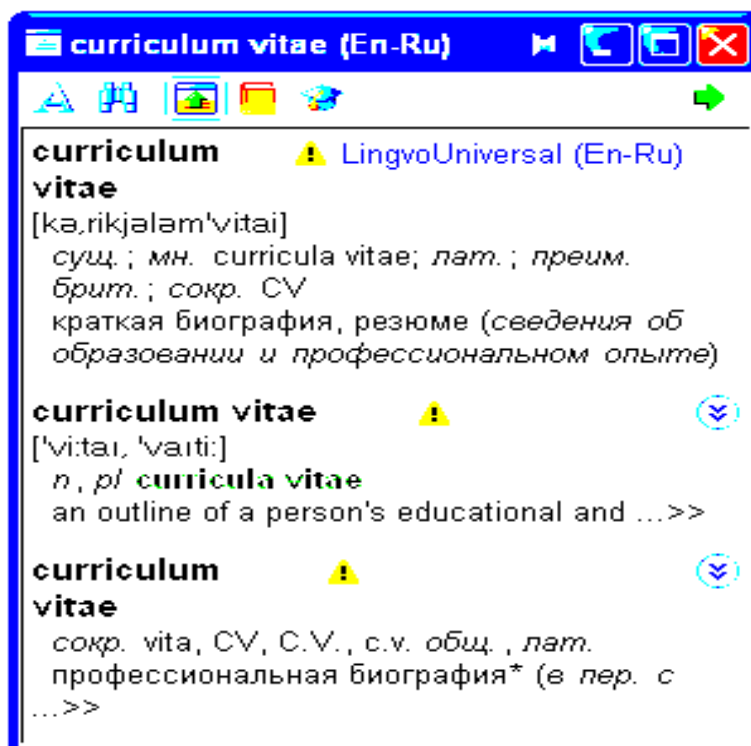


Рисунок 4 – Словарная карточка слова «curriculum vitae»

В окне списка слов установленные словари показаны пиктограммами, так что легко можно активировать или деактивировать словарь. Список слов является надмножеством списков слов активированных словарей.

В словарной карточке показана транскрипция слова, которая позволяет проверить его произношение. Все остальное знакомо тем, кто работал с «бумажными» словарями. Но одно преимущество электронного словаря перед «бумажным» здесь сразу же становится очевидным – гиперссылки на другие словарные карточки. Например, сразу можно перейти к карточке «*curricula vitae*» (рисунок 5).

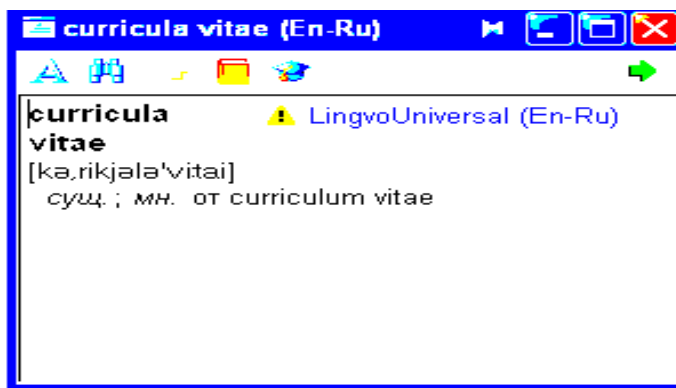


Рисунок 5 – Переключение между карточками

Кроме отдельных слов, Lingvo может переводить и устойчивые словосочетания. Словарь предоставляет возможность познакомиться с объяснением значения того или иного термина на русском и иностранном языках (рисунок 6).

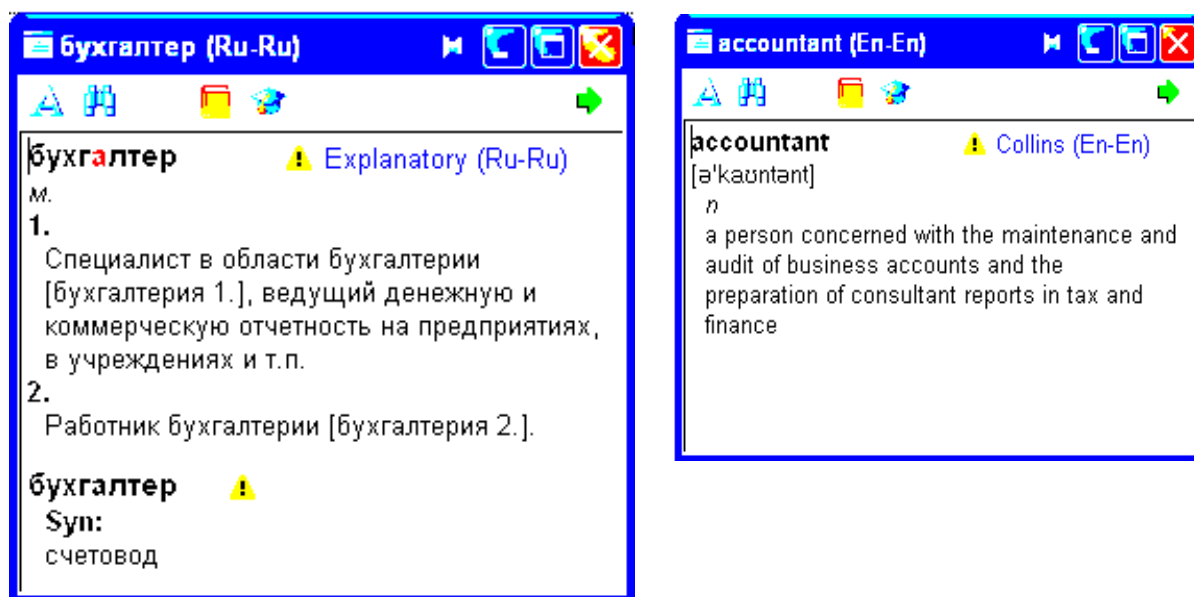


Рисунок 6 – Объяснение значения термина «бухгалтер/accountant» в электронном толковом словаре

В качестве значимого дополнения представлен грамматический справочник (рисунок 7). Грамматический словарь содержит около 500 тем (статей). Главной (начальной) статьей является статья Grammar, которая содержит ссылки на 6 статей (основных тем) первого уровня: Parts of speech, Syntax, Speech situations, American and British English, Spelling, Punctuation. Кроме ссылок на дочерние статьи, раскрывающие грамматическую тему подробнее, и на статью-родителя (тему, включающую в себя текущую), статьи грамматического словаря могут содержать ссылки на темы, так или иначе связанные с рассматриваемой.



Рисунок 7 – Перечень грамматических тем

Грамматический словарь богат – он позволяет вспомнить различные правила английского языка: здесь можно посмотреть не только правила употребления времен, но и определенные, и неопределенные артикли, страдательный залог, построение вопросительного предложения и много всего остального. Этот словарь является гипертекстовым справочником по грамматике английского языка. Он содержит описания основных грамматических понятий, а также правила и примеры их использования (рисунок 8). В карточках словаря можно найти не только информацию об использовании каждой отдельной грамматической конструкции, но и о разнице между близкими конструкциями. Кроме того, в словаре собрана информация о нормах речевого этикета, о различиях между британским и американским вариантами английского языка и т.д.

АВВУ достойно продолжила линейку Lingvo новой версией 12.0. Среди достоинств следует отметить наличие грамматического словаря, улучшенный интерфейс и повысившееся удобство работы.

Подводя итог изложенному выше, можно отметить, что возможности изучения иностранного языка постепенно расширяются в связи с все большей информатизацией учебного процесса. Необходимым становится владе-

ние информационной культурой, которая позволяет эффективно искать и применять требуемые сведения. Использование электронного словаря, в

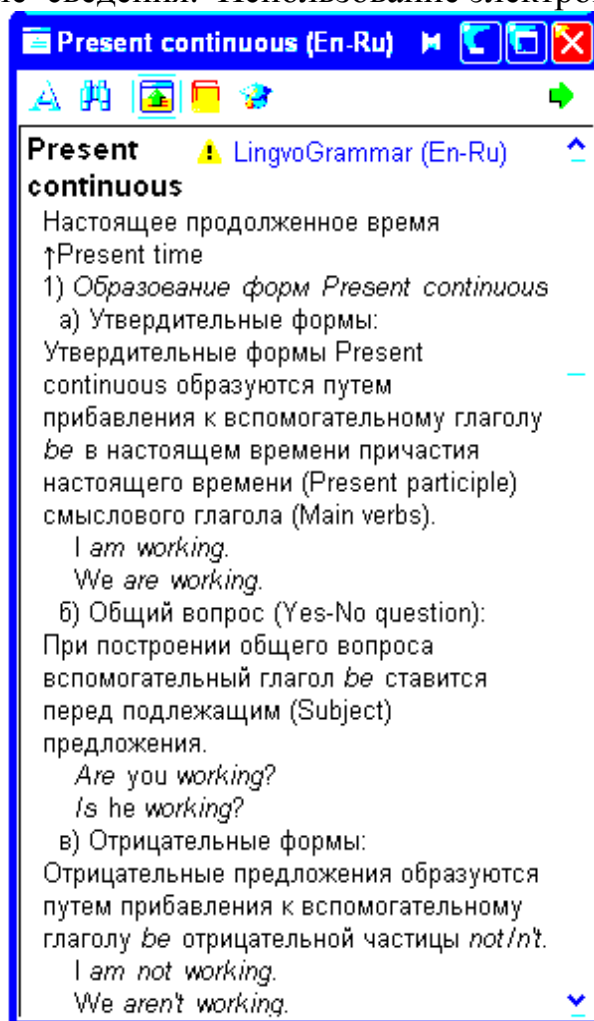


Рисунок 8 – Правила и примеры употребления Настоящего продолженного времени

котором представлена многоаспектная иноязычная информация, дает возможность быстро знакомиться с накопленными данными, повышает интерес к изучению языка, придает работе со словарем динамичность, занимательность, привлекательную наглядность. Работа с электронным источником обеспечивает улучшение способов презентации и организации учебного материала, широкий доступ к разнообразной вспомогательной справочной информации.

Регулярное выполнение действий в системе поиска электронного словаря направлено на:

- формирование умений работать с информацией в электронном виде;
- сокращение затрат времени обучаемого, повышение производительности педагогического труда;
- повышение мотивации и рациональной организации учебного процесса;
- расширение пассивного и потенциального словарей студентов;

- интенсификацию самостоятельной работы каждого обучаемого.

Работа с электронным словарем может осуществляться студентами как самостоятельно, в свободном режиме работы и выбранном темпе, так и под руководством преподавателя. Ю.Д. Лопатина считает, что для повышения результативности подобной работы перед каждым использованием словаря преподавателю следует ставить перед обучаемыми конкретные задачи, которые в значительной степени организуют их, стимулируют активность, ориентируют на последовательное изучение материала [2, с. 188]. Для реализации творческого потенциала студентов и развития умений индивидуальной работы с лексическим материалом она предлагает использовать создание сочинений-рассуждений на основе изученной лексики из базы данных электронного словаря.

Таким образом, электронный словарь представляется полезным и методически целесообразным средством для активизации познавательной деятельности обучаемых при изучении иностранного языка. Его быстрое действие и большие информационные ресурсы способствуют повышению их интеллектуального уровня. Его тематические базы данных являются универсальными, приемлемыми для любого уровня владения иностранным языком, что усиливает его востребованность для организации процесса обучения иностранным языкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wikipedia. The Free Encyclopedia [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

2. Лопатина Ю.Д. Особенности применения персональных компьютеров при обучении иностранным языкам в языковом вузе / Ю.Д. Лопатина // Современные теории и методы обучения иностранным языкам: материалы второй международной научно-практической конференции «Языки мира и мир языка» / Моск. акад. экон. и права. – М.: Экзамен, 2006. – С. 183 – 188.

А.Н. Филин, А.П. Коробейников, Ю.Е. Рогов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНЯТИЙ ПО НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

В работе описаны способы способствующие повышению эффективности усвоения студентами информации по курсу начертательной геометрии.

In activity the ways promoting to increase of effectiveness) of mastering by the students of the information at the rate descriptive geometries are circumscribed.

Основное требование действующих образовательных стандартов к специалистам выпускникам вузов, – высокий уровень их подготовки, что можно интерпретировать как наличие у каждого прочного «фундамента».

«Фундамент» специалиста – его прочные и глубокие теоретические знания по специальности, в сочетании с достаточно широким кругозором в смежных областях, а также начальный опыт решения практических задач по специальности, основанный на способности анализа проблемных ситуаций, поиска ключевых противоречий и творческом подходе к их преодолению.

Дисциплина «Начертательная геометрия и инженерная графика», как одна из основных компонент, входит в состав федеральной образовательной программы для технических вузов, так как выпускаемый специалист обязан в совершенстве владеть «техническим» языком общения.

Другими словами, выпускник технического Вуза обязан не только свободно читать чертежи любой сложности, но и не менее свободно выражать принятые им решения в графическом виде.

Изучение курса «Начертательная геометрия и инженерная графика» запланировано, по действующим программам, на 1 курсе, причем сам процесс обучения складывается из лекций по разделу «Начертательная геометрия» и практических занятий по разделам «Инженерная графика» и «Компьютерная графика».

Следует отметить ряд объективных внешних факторов, негативно влияющих на эффективность проведения занятий по начертательной геометрии и инженерной графике.

Один из основных факторов – отсутствие у большинства студентов 1 курса базовой школьной подготовки по черчению, из-за чего у них отсутствуют простейшие навыки не только по черчению, но и мысленному пространственному моделированию, что существенно затрудняет студентам выполнение индивидуальных графических заданий.

Ранее проведенное, с целью определения уровня остаточных знаний в студенческих группах 2 курса, выборочное компьютерное тестирование выявило ряд объективных трудностей – по отзывам студентов, в вопросах тестов были разделы начертательной геометрии и инженерной графики, на изучение которых по действующей программе было отведено очень мало аудиторного времени.

Дефицит аудиторных часов обусловлен стабильной тенденцией ввода новых дисциплин с пересмотром и корректировкой существующих учебных планов большинства специальностей в сторону существенного сокращения аудиторных занятий – что проявляет себя одним из факторов негативно влияющим на эффективность проведения занятий.

Поэтому при чтении лекционного курса в условиях дефицита времени преподаватель вынужден излагать материал в весьма высоком темпе, что приводит к недостаточно полному восприятию материала студентами.

Так как преподаватель на лекциях дает основную часть информации в графической форме, то для ее быстрого анализа, осмысления и фиксации в конспектах требуются не только базовые навыки по черчению, которых у студентов 1 курса нет.

Выполнение на практических занятиях индивидуальных заданий, особенно на начальных этапах, требует от студентов постоянного контакта и частого консультирования с преподавателем по основным правилам и приемам выполнения чертежа, использования стандартов, что возможно только при условии работы студентов в аудитории.

Для самостоятельной работы студентам необходимо наличие «под рукой» большого количества как специальной, так и справочной, методической литературы, которая свободно доступна студентам только на кафедре графики и в читальных залах библиотеки, но не в домашних условиях при работе в самостоятельном режиме.

Анализ методов преподавания, проводимый регулярно на методических семинарах кафедры, показывает, что существенным недостатком в области применения методов преподавания является недооценка теории в курсе начертательной геометрии и однообразии применяемых методов.

Считая курс начертательной геометрии исключительно теоретическим предметом, некоторые преподаватели не сообщают студентам возможные способы использования сведений, необходимых для решения практических задач, не обосновывают принятых условностей.

Занятия у таких преподавателей состоят в том, что они вычерчивают на классной доске то или иное геометрическое построение, комплексный чертеж или аксонометрию детали, сопровождая это краткими пояснениями, а студенты зарисовывают то же самое в своих конспектах.

Длительное применение такого однообразного примитивного метода проведения занятий исключает активную мыслительную и творческую деятельность студентов, они совершенствуют только «технику» черчения, но не

развивают способности анализа получаемой информации и мысленного пространственного моделирования.

Поэтому многие из преподавателей ищут возможные пути повышения эффективности проведения занятий в сочетании различных методов обучения – для чего анализируют изучаемый материал, выбирают методы обучения, которые обеспечивают, в разумных соотношениях, сочетание репродуктивной и творческой деятельности студентов при максимально плотном использовании времени занятия.

Весьма полезно при этом уйти от однообразия – организовав решение задач студентами с индивидуальными исходными данными, реконструкцией индивидуальных изображений, что в будущем будет способствовать применению полученных знаний на практике.

Одним из основных направлений, существенно увеличивающим эффективность проведения занятий, является педагогическое мастерство преподавателя, которое формируется только на основе личного опыта, при изучении и использовании передовых методик.

Высокий уровень педагогического мастерства подразумевает, что преподаватель пользуется авторитетом и уважением студентов.

Для завоевания авторитета и уважения преподаватель должен быть требователен и дисциплинирован, в первую очередь к себе, справедливым и уравновешенным, кроме этого:

- в совершенстве знать свой предмет и иметь достаточно глубокие знания в близких к нему дисциплинах, что позволит ему уверенно вести занятия;
- знать историю развития начертательной геометрии и теории изображений, быть в курсе последних научных достижений в области теории изображений, что обеспечит необходимую глубину освещения излагаемого материала;
- излагать материал в логической последовательности, эмоционально, кратко и ясно, так как только такая речь способствует лучшему восприятию студентами информации и способна стать для них образцом для подражания.

Кроме этого, чтобы во всем являться примером для студентов, преподаватель графики должен в совершенстве владеть умением выполнять на доске чертежи и эскизы, аккуратно и точно оформляя их, красиво и правильно надписывая.

Речь преподавателя должна быть неторопливой, с паузами после вопросов, особенно после важных или сложных для усвоения формулировок, тогда студенты успевают размышлять, сопоставлять и анализировать получаемую информацию, что ускоряет усвоение материала и вырабатывает навыки быстрого анализа информации.

Кроме этого, в процессе чтения лекции или проведения практического занятия, преподаватель обязан организовывать конспект студента, информируя его о степени важности излагаемой информации, и необходимости ее за-

писи, рекомендуя масштаб графического построения и резервировании места для последующего развития чертежа.

Педагогический такт, под которым подразумевается умение понять состояние студента, найти к нему индивидуальный подход, добиться поставленных целей обучения не травмируя его психику – важнейший инструмент преподавателя, нужна искренняя доброжелательность, а не внешняя холодная вежливость, так как студенты очень тонко различают искренность в отношениях.

Велика роль шутки, к веселому, остроумному преподавателю студенты обычно идут на занятия охотно.

Элементы программированного обучения, которые неоднократно оправдали себя на практике, доступны, просты и практически не требуют материальных затрат, являются одним из надежных способов повышения эффективности занятий и рационального использования времени, активизируя и облегчая работу студентов.

В настоящее время в средних школах широко распространены задания – тесты, в которых, при разборе результатов тестирования учащиеся получают текстовые разъяснения, какой буквой в тесте был помечен правильный ответ и указываются характерные ошибки, содержащиеся в остальных ответах теста.

Очевидно, что нет нужды разъяснять, сколько времени экономится на занятиях при использовании метода программированного обучения и насколько при этом возможно расширить объем изучаемого материала.

Еще один метод, способный решить проблему увеличения эффективности проводимых занятий – это использование элементов проблемного обучения.

В основе организации проблемного обучения, имитирующего процесс научного познания, – решение студентами проблемных ситуаций, которые разрабатывает и ставит перед студентами преподаватель.

Проблемное обучение предполагает оптимальное сочетание репродуктивной и творческой деятельности студентов, так как использует принцип поисковой учебно-познавательной деятельности.

Целесообразность применения проблемного подхода в основном определяется содержанием темы. Каждая учебная тема представляет собой логически заверченный круг фактов, сведений, понятий, которые должны быть в ходе подготовки к занятию переработаны и продуманы преподавателем.

Создание и решение проблемных ситуаций должно играть вспомогательную роль и составлять, как правило, только часть занятия.

Проблемное обучение поможет студентам не только успешно овладеть учебным материалом, но и будет способствовать воспитанию у них интереса к изучаемой дисциплине, формированию характера и стиля работы, повышенной активности обучения.

Следует отметить, что проблемный подход в равной степени может быть применен как в условиях обычного обучения, так и в условиях программированного обучения.

Другим способом активизации и развития мышления у студентов является самостоятельная работа, основанная на системе графических познавательных заданий, причем на кафедре, в процессе обучения графическим дисциплинам, применяются следующие ее виды:

- изучение и усвоение «нового» для студента материала на основе работы с учебником;
- поиск в «новом» материале ответов на вопросы, сформулированные преподавателем;
- чтение в учебнике раздела или отдельного параграфа, анализ полученной информации, выделение основных положений, составление плана прочитанного;
- анализ графического построения по учебнику, воспроизведение построения по данной теме при измененных исходных данных.

Самостоятельная работа студентов при изучении графических дисциплин организуется как систематическая, а не эпизодическая, кроме этого, результаты самостоятельной работы студентов обязательно контролируются преподавателем, который должен достаточно детально консультировать студентов по допущенным ошибкам.

Занимательность обучения графике увеличивает ее эмоциональную привлекательность и может использоваться на любом этапе занятия, в зависимости от поставленной преподавателем цели.

При этом занимательность не является самоцелью, она одно из сопутствующих средств решения учебно-воспитательных задач, причем любая смена заданий прежде всего изменяет характер и темп мыслительной деятельности студентов, что уменьшает общую напряженность труда.

В связи с этим, при проведении занятий, полезно предусматривать смену видов учебной деятельности студентов введением пятиминутных заданий направленных на моделирование, сравнение изображений, поиск ошибок на чертежах, нанесение недостающих линий и т.д.

Важнейшей предпосылкой активизации мыслительной деятельности является использование задач, которые для своего решения требуют от студентов анализа и обобщения исходных данных, а также возможно более широкое привлечение студентов к самостоятельному составлению графических задач.

Из предоставленного анализа сложившейся на настоящий момент ситуации, кафедра считает, что основой увеличения эффективности занятий по начертательной геометрии является высокий, совершенствующийся уровень педагогического мастерства преподавателя.

Только используя педагогическое мастерство, преподаватель способен занимательно организовать обучение студентов графическим дисциплинам, сочетая различные методики – от самостоятельной работы студентов до про-

граммированного обучения и проблемного представления наиболее интересных разделов.

Кроме этого, преподаватель должен органично сочетать в себе наиболее ценимые студентами человеческие качества – личную дисциплинированность, принципиальность и требовательность в сочетании со справедливостью, умение анализировать ситуации выделять главное без чрезмерного преувеличения второстепенного, что обеспечит ему авторитет и уважение в студенческой среде, желание студентов посещать занятия.

ОТКЛИКИ И РЕЦЕНЗИИ

УДК 669,71

Е.В. Мартусевич

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ БАРНАЕВ И.А., ПИСКАЛЕНКО В.В., ПОЛТОРАЦКИЙ Л.М., ГРОМОВ В.Е.
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ РОССИЙСКОЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ –
НОВОКУЗНЕЦК: ООО «ПОЛИГРАФИСТ», 2009 г. – 170 с.

В мировой черной металлургии, как и в большинстве отраслей промышленности, продолжает развиваться и углубляться международное разделение труда. Развитые страны стремятся закрепить за собой нишу наиболее высокотехнологичной продукции, оставляя развивающимся странам и странам СНГ роль поставщиков на мировой рынок продукции с низкой добавленной стоимостью — передельного чугуна, полуфабрикатов и некоторых видов проката. Российские предприятия вынуждены адекватно реагировать на ужесточение требований рынка черных металлов, чтобы избежать отставания от мирового уровня, которое уже начинает сказываться даже на рынке рядовой заготовки. В условиях развивающихся в России рыночных отношений особую значимость приобретает конкурентность выпускаемой продукции, которая обеспечивается достижением гарантированных показателей качества при низких издержках производства.

Актуальность вопроса повышения конкурентоспособности российской металлургии послужила причиной многочисленных исследований в России в этом направлении.

В рецензируемой монографии излагаются сведения о состоянии и тенденциях развития, как мировой, так и отечественной металлургии. Особое внимание уделено анализу роли черной металлургии Сибири, занимающей четвертое место в РФ по объемам производства стали и проката. Приводятся данные о сырьевой базе черной металлургии и дана оценка перспектив обеспечения металлопроизводителей основными сырьевыми составляющими – углем, коксом. Обобщены результаты влияния различных факторов на конкурентоспособность металлургических компаний, а также проведен сравнительный анализ конкурентоспособности ведущих российских металлургических предприятий. За счет грамотной организации инновационных и инвестиционных проектов, управления качеством продукции и издержками производства, крупнейшие российские металлургические холдинги смогли в начале XXI века занять места среди передовых мировых производителей

стали. В книге также отражены конкурентные преимущества и угрозы российских компаний на внешнем рынке черных металлов.

Рассмотрена проблема взаимодействие науки и бизнеса в современной черной металлургии России, как фактора, повышающего его конкурентоспособность. Даются предложения по выводу этого взаимодействия на качественно новый уровень путем реформирования системы подготовки кадров за счет создания экономических предпосылок, которые позволили бы привлечь в вузовский сектор эффективных менеджеров, имеющих производственный опыт и способных передать студентам свой опыт подготовки и реализации проектов в современных рыночных условиях. Оцениваются социальные аспекты конкурентоспособности металлургических компаний, приобретающие особенно важное значение во время финансово-экономического кризиса, затронувшего металлургию в числе прочих основополагающих отраслей промышленности.

Особенно ценно, что в монографии рассмотрена стратегия развития российской черной металлургии. Внедрение инноваций и использование энерго-, ресурсо- и трудосберегающих технологий практически на всех металлургических переделах должны обеспечить повышение конкурентоспособности производств и продукции. Однако дальнейший рост производства и модернизация мощностей напрямую зависят от состояния рынков сбыта, как внешнего, так и внутреннего. Развитие металлопотребляющих отраслей российской промышленности должно перераспределить структуру отгрузки металлопродукции российских производителей за счет уменьшения экспорта дешевых полуфабрикатов и увеличения объема поставок продукции высокой степени переработки на внутренний рынок.

Мнение авторов по данному поводу заслуживает пристального внимания, поскольку все они длительное время занимаются изучением этого вопроса и являются авторитетными специалистами в рассматриваемой области. В книгу включены как результаты собственных исследований авторов, так и отражены многочисленные отечественные и зарубежные публикации, посвященные рассматриваемой тематике.

Книга представляет интерес как для научных работников, так и для специалистов промышленных предприятий черной металлургии, а также аспирантов и студентов металлургических вузов и факультетов.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Сборник научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» подготавливается к печати Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с отделением металлургии горно-металлургической секции РАЕН.

В сборник могут быть представлены работы по направлениям:

- металлургия черных и цветных металлов и сплавов;
- порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия;
- физика металлов и металловедение;
- экономика, управление и экология на предприятиях;
- проблемы высшего образования;
- отклики, рецензии и биографии.

Рукописи статей, оформленные в соответствии с нижеизложенными требованиями, направляются в Сибирский государственный индустриальный университет.

К рукописи прилагаются:

- разрешение ректора или проректора вуза на опубликование результатов работ;
- рекомендация соответствующей кафедры высшего учебного заведения или научного семинара академических институтов или отраслевых НИИ;
- рецензия, подготовленная специалистом, имеющим ученую степень, заверенная по месту работы рецензента,
- акт экспертизы, подтверждающей возможность опубликования работы в открытой печати;
- сведения об авторах (Ф.И.О. полностью, уч. степень, звание, вуз, служебный и домашний адрес, телефон).

Рукописи направляются в редакцию в одном экземпляре. Текст рукописи должен быть отпечатан на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 с полями 25 мм с каждой стороны. Объем статьи (включая аннотацию, иллюстрации, таблицы, библиографический список) не должен превышать 6-8 страниц машинописного текста, напечатанного через 1,5 интервала, размер шрифта 14 пт. Последнюю страницу рекомендуется занимать полностью.

Текст аннотации на русском и английском языке объемом порядка 1/4 страницы печатается через 1 интервал и помещается после заглавия статьи. Текст аннотации должен содержать только краткое описание публикуемого материала.

Иллюстрации представляются в одном экземпляре; они должны быть выполнены тушью на белой бумаге или кальке и скомпонованы на

одном или двух стандартных листах формата А4 (с полным их заполнением). Размер иллюстрации (иллюстраций) вместе с наименованием, поясняющей надписью и номером не должен превышать 250x170 мм. Страницы, занятые иллюстрациями, включают в общую нумерацию страниц.

Цифровой материал оформляется в виде таблиц, имеющих заголовки и размещаемых в тексте по мере упоминания. Не рекомендуется делить головки таблиц по диагонали и включать графу «№ п/п».

Перечень литературных источников должен быть минимальным. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборника – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название сборника, место издания, издательство, год издания, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, библиографическом списке фамилии авторов, название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

В начале статьи указывается индекс УДК (ББК). Название организации приводится полностью и размещается после фамилии авторов. Первая страница рукописи подписывается внизу всеми авторами статьи. Число авторов не должно превышать пяти; количество публикаций одного автора – не более двух в одном выпуске.

Для создания современного облика настоящего сборника, улучшения качества печати предусмотрен компьютерный набор. Поэтому, наряду с вышеуказанными документами и отпечатанными на бумаге статьями, в адрес редколлегии необходимо выслать дискету с текстом статьи, включая таблицы и подрисовочные подписи. Набор текстового файла осуществляется в редакторе *Microsoft Word for Windows (ver. 6.0, 7.0. 97, 2000)*. Графические объекты представляются в файлах (любого графического формата). При отсутствии такой возможности высылаются рисунки, выполненные тушью на бумаге, фотографии – в оригинале.

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 10 февраля 2010 г. Статьи направлять главному редактору по адресу: ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42.

Вестник горно-металлургической секции РАЕН.

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Изд.лиц. № 01439 от 05.04.2000 г. Подписано в печать 9.06.2009 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 13,7 Уч.-изд.л. 14,6 Тираж 300 экз. Заказ

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательство СибГИУ