

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного
индустриального университета посвящается*

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

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 42

Москва
Новокузнецк
2019

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. 42 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2019 – 191 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными 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.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 66, табл. 22, библиогр. назв. 170.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, АО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИргТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

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

ББК 34.3я4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Белов Н.А.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Волокитин Г.Г.	д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Деев В.Б.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Никитин А.Г.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Ноздрин И.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Перетяцько В.Н.	д-р техн. наук, проф., д.ч. АИН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Фастыковский А.Р.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Шур Е.А.	д-р техн. наук, проф., ВНИИЖТ, Москва

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	7
<i>А.А. Уманский, Я.В. Денисов</i> Исследование влияния параметров производства слитков конвертерной стали на качество их внутренней структуры.....	8
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев, О.А. Решетнев</i> Анализ влияния параметров производства электростали на качественные показатели рельсов.....	16
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев</i> Исследования состава и распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей	22
<i>В.Б. Деев, А.И. Куценко, О.Г. Приходько, Е.С. Прусов, А.А. Соколев</i> Влияние внешних воздействий на процессы кристаллизации сплавов и затвердевания отливок.....	28
<i>А.Г. Никитин, К.С. Медведева, П.Б. Герике</i> Экспериментальное исследование процесса разрушения кусков ферросплава в одновалковой дробилке с упором на валке	37
<i>А.Г. Никитин, А.В. Абрамов, В.В. Горяшин</i> Исследования работы щековой дробилки с устройствами выборки зазоров в шарнирах	40
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	43
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, С.Г. Галевский</i> Освоение технологии производства нанокристаллического карбида циркония.....	44
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	49
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, Н.А. Белов, А.А. Соколев</i> Разработка высокопрочного литейного сплава на основе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni	50
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Исследование литейных свойств, структуры и свойств высокопрочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Ni-Fe	54
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование жидкотекучести сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики.....	63
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование возможности использования шихты с повышенным содержанием железа при получении сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики.....	66

<i>С.С. Мишууров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Разработка методов удаления деформированного слоя с поверхности пористых изделий из безникелевого титанового сплава биомедицинского назначения	69
<i>В.Н. Цвигун, Е.А. Шур, Р.С. Койнов</i> Микродеформации и разрушения вблизи вершины трещины при монотонном нагружении.....	76
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	86
<i>О. Шлик, А. Шлик, А. Шлик</i> Акустическая компьютерная система Accusteel контроля и управления технологическим процессом электродугового и конвертерного переделов стали - технология XXI века	87
<i>А.М. Анасов</i> Техногенные катастрофы и их предупреждение	107
<i>С.В. Кривошеев, О.И. Гордиевский, И.В. Ноздрин</i> Использование отвальных шламов химических предприятий в качестве вторичного металлургического сырья.....	119
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	126
<i>С.Г. Коротков, М.В. Темлянцев, В.В. Стерлигов</i> Кафедре теплоэнергетики и экологии Сибирского государственного индустриального университета 85 лет. Дела. События. Люди	127
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ - 50 лет в образовании и науке	142
<i>А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяцько</i> Этапы становления кафедры «Обработка металлов давлением и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК».....	159
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	171
<i>Е.Г. Оршанская</i> Особенности академического билингвизма в условиях обучения в вузе	172
<i>С.В. Шемберг</i> Обучение техническому переводу: сложности перевода антропонимов.....	178
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ.....	182
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на монографию «Диборид титана. Нанотехнология, свойства, применение» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 209 с.).....	183
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология производства сверхтвердых материалов» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 211 с.).....	186
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	189

ПРЕДИСЛОВИЕ

42-й выпуск сборника научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» посвящен 90-летию Сибирского государственного индустриального университета и содержит статьи российских и зарубежных ученых, посвященные решению различных научно-технических проблем современной металлургии и материаловедения. Теоретические и прикладные исследования выполнены авторскими коллективами сотрудников Сибирского государственного индустриального университета, Томского государственного архитектурно-строительного университета, Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Санкт-Петербургского горного университета, Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, Федерального исследовательского центра угля и углекислоты СО РАН, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», Accusteel Ltd. (г. Нетания, Израиль).

В традиционных разделах сборника научных трудов представлены результаты исследований в областях повышения качества стали, влияния внешних воздействий на процессы кристаллизации сплавов, нанотехнологий, а также статьи, посвященные становлению и развитию металлургических научно-педагогических школ и направлений Сибирского государственного индустриального университета.

Редакционная коллегия благодарит авторов за предоставленные материалы и приглашает принять участие в очередном 43-м выпуске сборника научных трудов.

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
И СПЛАВОВ**

А.А. Уманский, Я.В. Денисов

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА СЛИТКОВ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО ИХ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ

Проведенными для условий АО «ЕВРАЗ ЗСМК» исследованиями установлены параметры разливки стали марки 3пс, оказывающие значимое воздействие на качество внутренней структуры слитков. Определены виды наиболее характерных неметаллических включений в стали на выпуске из конвертера и в деформированных слитках.

Conducted for the conditions of "EVRAZ ZSMK" studies set the parameters of casting steel 3PS, have a significant impact on the quality of the internal structure of the ingots. Defines the most characteristic non-metallic inclusions in steel in the production of converter and deformed bars.

Процесс производства и обработки стали является многостадийным, что предопределяет сложный и неоднозначный характер влияния отдельных технологических параметров на показатели качества стальных слитков [1, 2]. Указанный факт обуславливает необходимость комплексного подхода к анализу процессов формирования качества стальных слитков с применением современных методов статистической обработки данных [3, 4].

С целью определения закономерностей влияния параметров выплавки, внепечной обработки и разливки конвертерной стали на величину отбраковки слитков в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведены статистические исследования с использованием методики множественного регрессионного анализа. В качестве параметра оптимизации использовали величину дополнительной обрезки слитков по внутренним дефектам. Базой для проведения анализа явились 200 плавки стали 3пс текущего производства кислородно-конвертерных цехов №1 и №2 (ККЦ-1 и ККЦ-2 соответственно).

В результате установлено значимое влияние на брак по внутренним дефектам слитков следующих параметров: температура разливки стали (в интервале 1533-1550 °С для плавки ККЦ-1 и 1536-1557 °С для плавки ККЦ-2), продолжительность разливки плавки (в интервале 18-45 мин. для плавки ККЦ-1 и 17-45 мин. для плавки ККЦ-2) и длительность «искрения» (газовыделения) слитков при разливке (в интервале 6-60 сек. для плавки ККЦ-1 и 4-38 сек. для плавки ККЦ-2).

Уравнения регрессии в натуральном масштабе для плавки ККЦ-1 и ККЦ-2 со значащими коэффициентами приняли вид:

$$D_B = 73,425 - 0,047 \cdot (t_{PA3Л}) + 0,037 \cdot (T_{PA3Л}) - 0,021 \cdot (T_{ИСКР}), \quad (1)$$

$$D_B = 54,232 - 0,035 \cdot (t_{PA3Л}) + 0,043 \cdot (T_{PA3Л}) - 0,019 \cdot (T_{ИСКР}), \quad (2)$$

где D_B – дополнительная обрезь слитков по внутренним дефектам, т/плавка; $t_{РАЗЛ}$ – температура разливки стали, °С; $T_{РАЗЛ}$ – продолжительность разливки плавки, мин.; $T_{ИСКР}$ – длительность «искрения» (газовыделения) слитков при разливке, сек.

Из полученных уравнений регрессии следует, что повышение температуры разливки слитков и продолжительности «искрения» (газовыделения) слитков в рассматриваемых интервалах изменения данных параметров снижают дополнительную обрезь слитков по внутренним дефектам, а увеличение продолжительности разливки плавки способствуют увеличению дополнительной обрезки со слитков.

Механизм влияния температуры разливки на дополнительную обрезь слитков заключается в следующем. При пониженной температуре разливки повышается вязкость стали, в результате чего затрудняется процесс всплывания неметаллических включений с последующим их удалением при технологической обрезки головной части слитка. В соответствии с известными закономерностями затвердевания стали неметаллические включения имеют свойство концентрироваться в образующихся внутренних несплошностях слитка, которые в слитках полуспокойной стали расположены до уровня 35-45 % высоты слитка. Неметаллические включения, представляющие собой, как правило, сложные оксиды имеют низкую температуру плавления и при температурах прокатки слитков находятся в жидкой фазе. В результате при технологической обрезки слитков после прокатки на блюминге обнаруживается, так называемый «жидкий шлак», представляющий собой скопление неметаллических включений в расплавленном состоянии. В ряде случаев неметаллические включения находятся в твердой фазе и тогда причина дополнительной обрезки фиксируется, как расслой или рыхлость. При отсутствии значительных скоплений неметаллических включений расслой и рыхлость в процессе прокатки на блюминге полностью завариваются и необходимость дополнительной обрезки не возникает. Механизм влияния продолжительности разливки на дополнительную обрезь аналогичен влиянию вышерассмотренного параметра с той разницей, что длительность разливки определяет не начальную, а конечную температуру разливки стали, то есть температуру разливки последних слитков.

Влияние длительности «искрения» (газовыделения) при разливке слитков полуспокойной стали на дополнительную обрезь объясняется тем фактом, что данный параметр служит показателем оптимальной степени раскисленности стали. В свою очередь от степени раскисленности полуспокойной стали напрямую зависит расположение усадочных пустот в слитке. При нормальной раскисленности, когда интенсивность газовыделения достаточна, над усадочной раковиной формируется «мост» пузыристого металла толщиной, достаточной для надежной изоляции раковины от атмосферы, благодаря чему последняя заваривается при прокатке. В случае перераскисления, показателем чего служит незначительная длительность «искрения» металла в изложнице, слитки получают с незначительной толщиной «моста» и недостаточно изо-

лированной усадочной раковины, что ведет к появлению дополнительной обреза.

С целью определения вида и количественного состава неметаллических включений в стали на выпуске из конвертера и в деформированных слитках проведены металлографические исследования. Для проведения исследований использовали оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», в частности металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51, оснащенный цифровой металлографической камерой и предназначенный для получения в отраженном свете светлопольных изображений микроструктуры, а также изображений в поляризованном свете и рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр Shimadzu XRF-1800. Отбор проб жидкого металла для проведения исследований производили после окончания продувки с использованием одноразовых погружных пробоотборников. Анализ неметаллических включений в пробах проводили с использованием стандартной методики полуколичественного анализа по ГОСТ 1778-70 (при увеличении в 100 крат.). Сущность указанной методики заключается в сравнении наблюдаемых в нетравленном микрошлифе включений со стандартными эталонными пятибалльными шкалами. При этом шкалы охватывают неметаллические включения нескольких видов, наиболее часто встречающихся в стали (оксиды строчечные, оксиды точечные, силикаты хрупкие, силикаты пластичные, силикаты недеформирующиеся, сульфиды, нитриды и карбонитриды строчечные, нитриды и карбонитриды точечные, нитриды алюминия). Применяемые для оценки шкалы являются пятибалльными. При этом наименее загрязнённый металл оценивается баллом 1, а наиболее загрязнённый – баллом 5. В основу первого балла положена определенная площадь, занимаемая включениями и возрастающая при переходе к последующим баллам в геометрической прогрессии с множителем 2.

По полученным в результате металлографического анализа данным наиболее распространенными видами неметаллических включений в стали 3пс являются силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные: указанные виды неметаллических включений зафиксированы во всех анализируемых пробах (таблица).

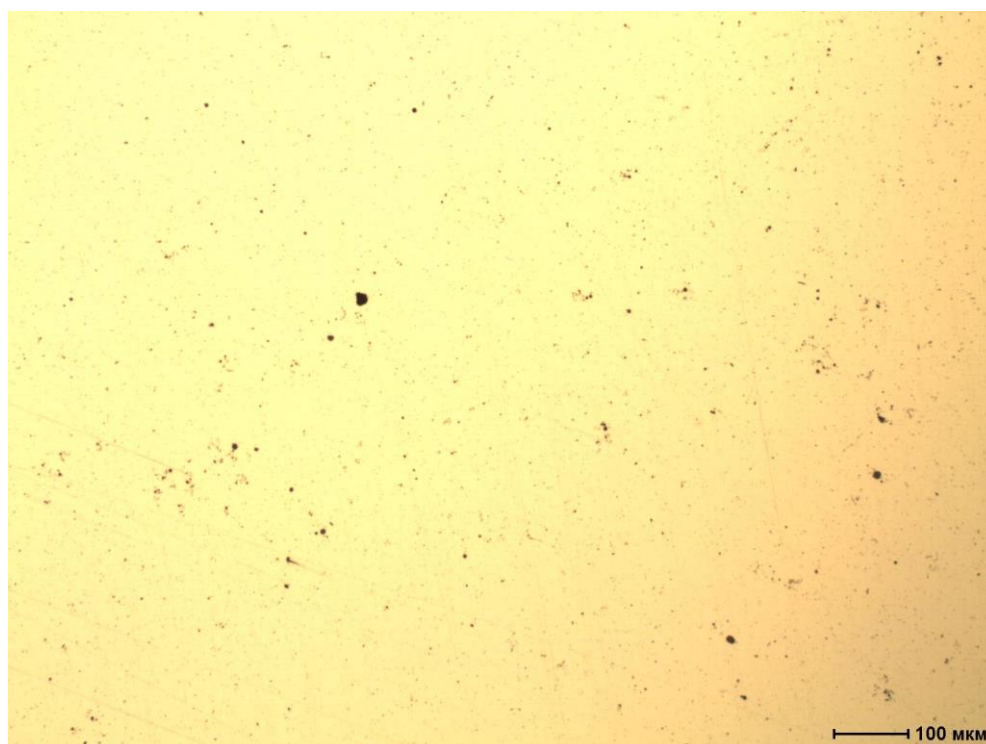
При этом загрязненность такими включениями существенно отличается от балла 1 а (единичные включения минимально фиксируемого размера) до баллов 4 б (множественные крупные включения) и 5 а (наиболее крупные единичные включения) – рисунок 1.

Силикаты пластичные в виде единичных включений присутствуют только в 2-х пробах, оксид строчечный выявлен только в одной пробе. С целью анализа влияния химического состава стали на загрязненность неметаллическими включениями проведены дополнительные исследования. По полученным данным повышение содержания углерода на выпуске от 0,04 до 0,09 % и марганца от 0,07 до 0,15 % обуславливает значимое снижение загрязненности неметаллическими включениями (рисунок 2). При этом если

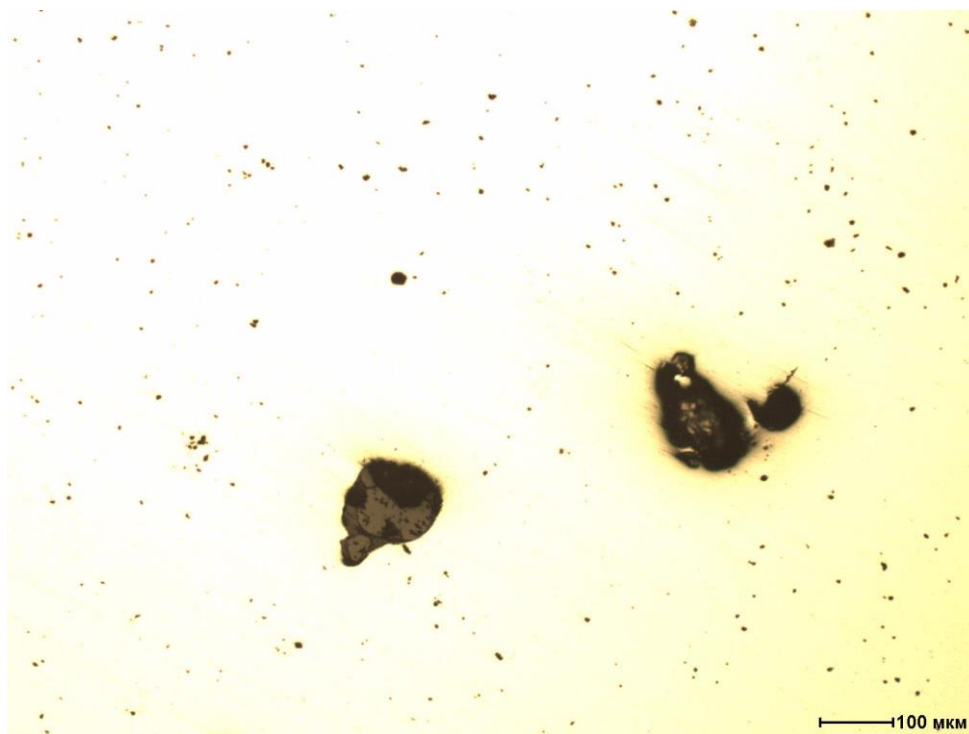
влияние углерода на содержание и активность кислорода в конвертерной стали очевидно и не требует пояснений, то влияние марганца обусловлено замедлением процесса кипения в конце продувки при низком (менее 0,08-0,10 %) содержании углерода, что подтверждается данными работ [5-7].

Таблица – Результаты металлографических исследований проб стали 3пс на выпуске из конвертера

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями по видам, максимальный балл			
	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты пластичные	Оксиды точечные	Оксиды строчечные
1	3 а, 3 б	-	2 а	-
2	3 а	-	2 а	-
3	5 а	-	3 а	-
4	2 б	3 а	4 а	-
5	3 б;	-	4 а	4 а
6	3 б	-	4 а	-
7	2 б	-	2 а	-
8	3 а	-	1 а	-
9	1 а; 1 б	-	2 а	-
10	2 б	-	2 а	-
11	4 а; 4 б	-	1 а	-
12	2 б	1 а	1 а	-



а



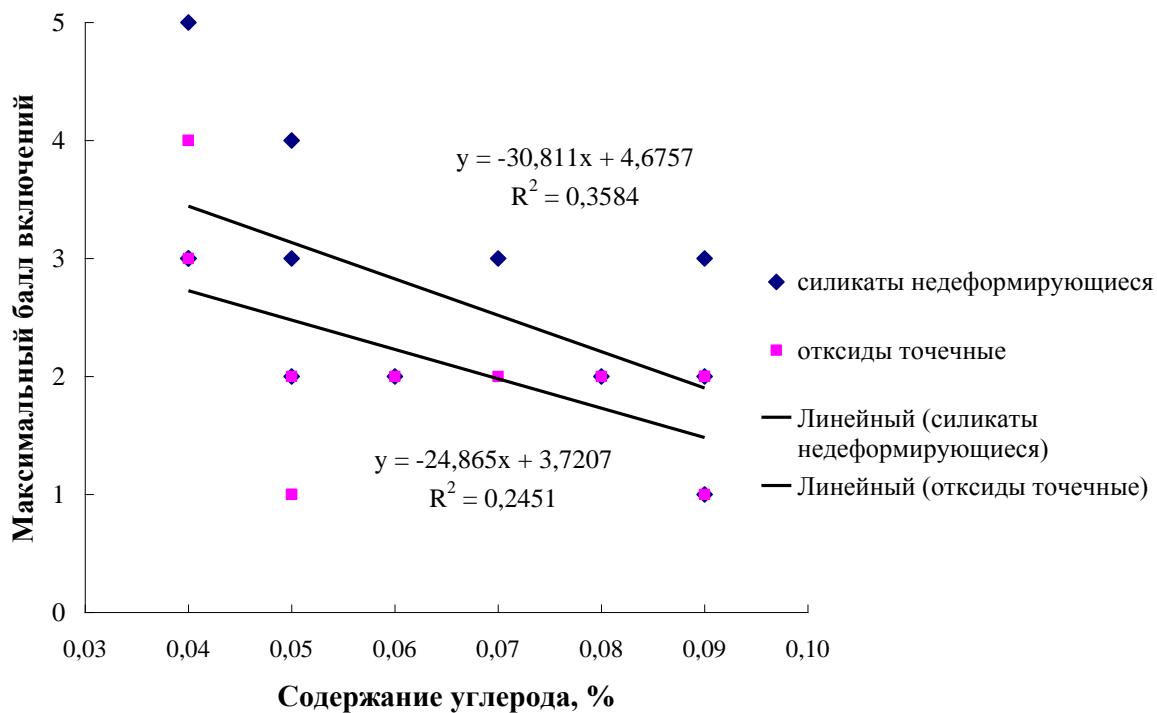
б

Рисунок 1 – Неметаллические включения в конвертерной стали:
а – силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные балл 1 а;
б – силикаты недеформирующиеся балл 5 а и оксиды точечные балл 2 а

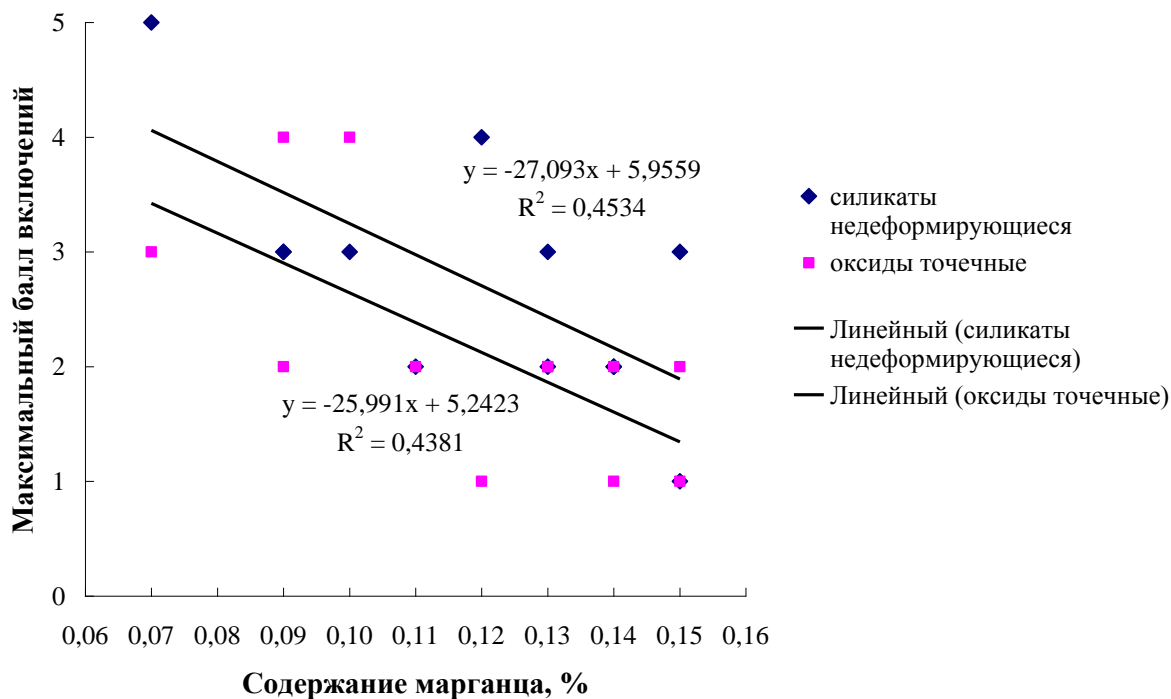
Повышение концентрации марганца в стали в конце продувки приводит к снижению содержания кислорода, что объясняется обратной зависимостью между активностью закиси железа в шлаке и содержанием марганца в металле [8-11].

Таким образом, можно констатировать, что повышение содержания углерода и марганца в стали на выпуске из конвертера способствует снижению загрязненности стали неметаллическими включениями в виде силикатов недеформирующихся и оксидов точечных.

Проведенными исследованиями образцов подтверждено наличие значительного количества неметаллических включений в заготовках стали 3пс, прокатанных из разлитых в изложницы слитков (рисунок 3): силикаты недеформирующиеся (балл до 3 а); оксиды точечные (балл до 2 а); силикаты пластичные (балл до 2 а). Также обнаружено незначительное количество сульфидов (балл 1 а).

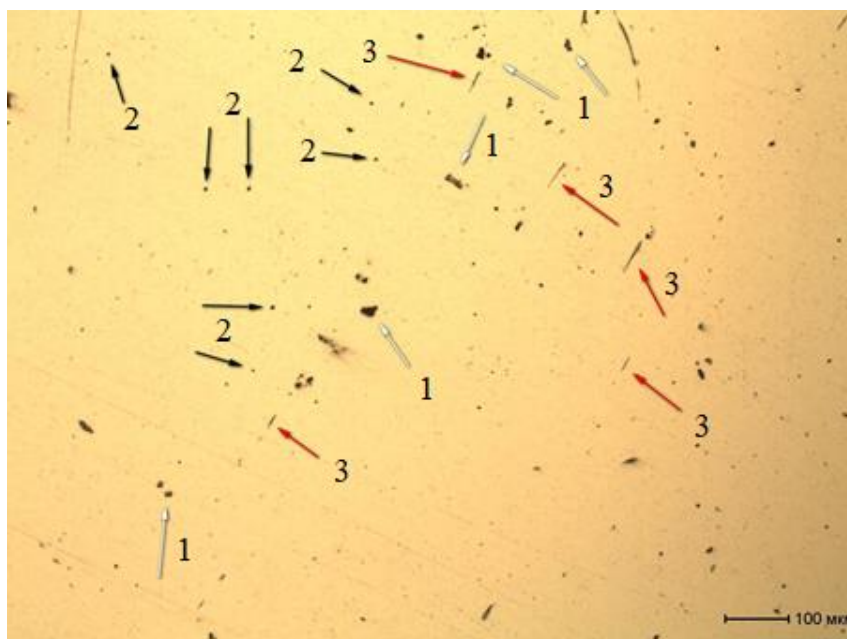


а

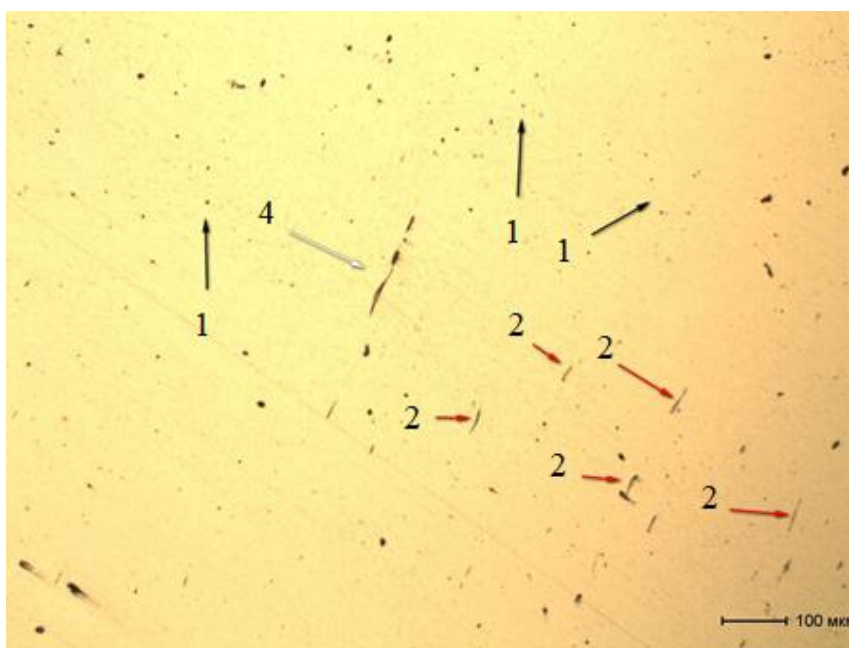


б

Рисунок 2 – Влияние содержания углерода (а) и марганца (б) в стали на выпуске из конвертера на загрязненность неметаллическими включениями



а



б

1 – силикаты недеформирующиеся; 2 – оксиды точечные;
3 – силикаты пластичные; 4 – сульфиды

Рисунок 3 – Микроструктура слитков стали 3пс после деформации

Выводы: По результатам проведенных для условий АО «ЕВРАЗ ЗСМК» исследований установлено значимое влияние на дополнительную обрезку слитков стали 3пс параметров их разливки. Так повышение температуры разливки слитков и продолжительности «искрения» (газовыделения) слитков снижают дополнительную обрезку слитков по внутренним дефектам, а увеличение продолжительности разливки плавки способствуют увеличению до-

полнительной обрезки со слитков. По полученным в результате металлографического анализа данным наиболее распространенными видами неметаллических включений, как в стали 3 на выпуске из конвертера, так и в деформированных слитках являются силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уманский А.А. Исследование процессов формирования качества металлопродукции ответственного назначения на переделе сталь-прокат / А.А. Уманский // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8-2. – С. 335-339.
2. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2008. – № 6. – С. 20-22.
3. Кадыков В.Н. Формирование качества стальных заготовок: монография / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский, Е.В. Протопопов. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2012. – 220 с.
4. Кузнецов И.С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей/ И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, А.А. Уманский, Ю.Т. Рубцов // *Сталь*. – 2008. – № 4. – С. 43-46.
5. Казачков Е.А. Окисленность конвертерной ванны в конце плавки низкоуглеродистой стали / Е.А. Казачков, В.В. Климанчук // *Вестник Приазовского государственного технического университета*. – 2008. – Вып.18. – С. 41-43.
6. Назюта Л.Ю. Анализ окисленности конечного металла при выплавке стали в большегрузных конвертерах / Л.Ю. Назюта, В.С. Денисенко // *Вестник Приазовского государственного технического университета*. – 2011. – Вып.22. – С. 68-76.
7. Гальперин Г.С. Исследование окисленности стали в 350-т конвертерах / Г.С. Гальперин, А.К. Бученков, А.И. Александров, В.В. Болотников // *Сталь*. – 1996. – №1. – С. 28-29.
8. Баптиманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса / В.И. Баптиманский. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
9. Баптиманский В.И. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса: монография / В.И. Баптиманский, В.Б. Охотский. – Киев; Донецк: Вища школа, 1981. – 184 с.
10. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: учебник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.
11. Шишкин Ю.И. Теория и технология конвертерных процессов / Ю.И. Шишкин, А.К. Торговец, О.А. Григорова. – Алматы: Ғылым, 2013. – 192 с.

УДК 621.771.65

А.А. Уманский¹, А.В. Головатенко², А.С. Симачев¹, О.А. Решетнев¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬСОВ*

Проведенными в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» исследованиями установлен характер и степень влияния технологических параметров производства рельсовой стали Э76ХФ на отбраковку рельсов по результатам ультразвукового контроля. Определены преобладающие неметаллические включения в рельсах рассматриваемой стали, являющиеся причиной отбраковки рельсов.

Conducted in the conditions of "EVRAZ ZSMK" studies established the nature and degree of influence of technological parameters of production of rail steel E76HF on rejection of rails on the results of ultrasonic testing. The predominant nonmetallic inclusions in the rails of the steel under consideration, which are the cause of rejection of the rails, are determined.

* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Материаловедение» СибГИУ в рамках базовой части Государственного задания Минобрнауки РФ №11.6365.2017/8.9.

Проведенная реконструкция рельсового производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (строительство нового универсального рельсобалочного стана, модернизация оборудования электросталеплавильного цеха) позволила существенно повысить качество рельсовой продукции, однако при этом отмечаются существенные проблемы, связанные с высоким уровнем отбраковки рельсов. Решение указанной проблемы требует соответствующей теоретической проработки процессов формирования качества рельсовой продукции.

С целью получения научно-обоснованных зависимостей качества рельсов от технологических параметров производства рельсовой стали в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведены комплексные статистические исследования. Использована стандартная методика множественного регрессионного анализа, эффективность применения которой ранее неоднократно подтверждена при анализе влияния металлургических параметров на качество готовой продукции [1-4].

На основании имеющихся литературных данных, а также с учетом фактически фиксируемых в паспортах плавок электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» параметров для анализа выбраны следующие технологические факторы:

- доля чугуна в металлозавалке;

- температура выпуска стали из дуговой сталеплавильной печи (ДСП);
- химический состав стали на выпуске;
- длительность обработки стали на агрегате «ковш-печь» (АКП);
- продолжительность продувки аргоном при обработке на АКП;
- интенсивность продувки аргоном при обработке на АКП;
- температура стали после обработки на АКП;
- химический состав стали после обработки на АКП;
- основность и окисленность шлака при обработке на АКП (первая и вторая пробы);
- продолжительность обработки на вакууматоре;
- длительность продувки при обработке на вакууматоре;
- химический состав стали после обработки на вакууматоре;
- химический состав готовой стали.

В качестве объекта исследований использовали случайную выборку из 200 плавок рельсовой стали марки Э76ХФ. Выбор указанной марки стали обусловлен ее наибольшей долей в общем производстве. В качестве параметра оптимизации выбрали отбраковку рельсов на установке «мокрого» ультразвукового контроля (МУЗК).

По результатам анализа выявлено, что значимое влияние на брак МУЗК оказывают следующие факторы:

- содержание серы на выпуске из ДСП;
- длительность продувки при обработке на АКП;
- основность шлака при обработке на АКП;
- содержание водорода в стали после вакуумирования;
- содержание меди в готовой стали;
- содержание олова в готовой стали.

Уравнение регрессии в натуральном масштабе со значащими коэффициентами имеет вид:

$$B_{\text{МУЗК}} = 20,5 + 30,23 \cdot [S]_{\text{ВЫП}} - 0,03 \cdot D_{\text{ПРОД}} - 1,16 \cdot (\text{Осн}_{\text{АКП}}) + 7,70 \cdot [H] + 31,12 \cdot [Cu] + 210,86 \cdot [Sn],$$

где $B_{\text{МУЗК}}$ – отбраковка рельсов на МУЗК, %; $[S]_{\text{ВЫП}}$ – содержание серы в стали на выпуске из ДСП, %; $D_{\text{ПРОД}}$ – продолжительность продувки при обработке на АКП, %; $(\text{Осн}_{\text{АКП}})$ – основность шлака при обработке на АКП, %; $[H]$ – содержание водорода в стали после вакуумирования, ppm; $[Cu]$ – содержание меди в готовой стали; $[Sn]$ – содержание олова в готовой стали.

Из полученного уравнения регрессии видно, что повышение основности шлака и увеличение длительности продувки стали на АКП при обработке на АКП снижает отбраковку рельсов на МУЗК, а повышение содержание серы в стали на выпуске из ДСП, водорода в стали после вакуумирования, меди и олова в готовой стали увеличивает брак.

В количественном выражении степень влияния указанных факторов в рассматриваемом интервале их изменения составила:

- повышение содержание серы в стали на выпуске из ДСП с 0,019% до 0,078% приводит к увеличению отбраковки рельсов на 1,8 %;

- увеличение продолжительности продувки аргоном при обработке на АКП с 7,2 мин. до 268 мин. приводит к снижению брака рельсов на 8,6 %;
- повышение основности шлака при обработке на АКП от 1,2 до 5,1 позволяет снизить отбраковку рельсов на 7,1 %;
- увеличение содержания водорода в стали с 0,6 ppm до 1,5 ppm приводит к повышению отбраковки рельсов на 6,9 %;
- повышение содержания меди в готовой стали с 0,06 % до 0,16 % увеличивает брак рельсов на 3,1 %;
- увеличение содержания олова в готовой стали с 0,003 % до 0,014 % обуславливает повышения отбраковки рельсов на 2,3 %.

Влияние содержания серы в стали на выпуске из ДСП на уровень брака связано с выделением ее из раствора в виде включений сульфидов FeS или оксисульфидов FeS-FeO в процессе охлаждения, что обусловлено изменением растворимости серы при понижении температуры. Оплавление оксисульфидов и сульфидов по границам зерен при последующей горячей деформации заготовок рельсовой стали в процессе производства рельсов вызывает понижение технологической пластичности, («красноломкость») и приводит к образованию поверхностных дефектов в процессе прокатки.

Механизм влияния основности шлака на качество рельсов связан с известной зависимостью десульфурирующей способности шлака от данной характеристики. Удаление серы из расплава в шлак происходит в большинстве случаев в результате образования CaS:



при этом сера, растворенная в металле, реагирует с CaO в шлаке.

Полученные данные о снижении брака при увеличении длительности продувки аргоном на АКП объясняются известным явлением флотации – прилипания неметаллических включений к пузырькам инертного газа, с последующей ассимиляцией шлаком. Кроме того, вышеприведенная реакция удаления серы из расплава протекает на поверхности раздела фаз, и увеличение этой поверхности за счет перемешивания металла со шлаком при продувке аргоном способствует более глубокой десульфурации.

Повышение содержание водорода способствует увеличению риска образования флокенов. Согласно существующих представлений водород оказывает значимое влияние на процесс образования флокенов при его концентрации в стали более 2 ppm. Хотя существует мнение, что флокены могут образовываться и при меньшей концентрации водорода и определенном сочетании технологических параметров производства стали. Наиболее часто флокены образуются в катаных заготовках и изделиях с относительно большим сечением [5, 6]. Следует отметить, что фактическое содержание водорода на рассматриваемых плавках рельсовой стали после вакуумирования не превышало 1,5 ppm и в среднем составило 0,96 ppm, что является низкими показателями. Таким образом, можно сделать вывод, что в образовании дефектов помимо водорода значимую роль сыграли другие технологические факторы, например, наличие значительных внутренних напряжений (структурные и т.д.).

Механизм отрицательного влияния меди на качество рельсов заключается в следующем. При кристаллизации медь, как и ряд других примесей цветных металлов, имеет свойство концентрироваться в межзеренном пространстве. Ситуация усугубляется склонностью меди к диффузии, что приводит к значительному увеличению ее концентрации в приповерхностных слоях «выпотевание меди» [7, 8]. Поскольку температура плавления меди (1083°C) ниже температуры начала прокатки рельсов, то находящаяся в жидком состоянии медь распространяется в межзеренных границах, ослабляет связь между зёрнами и охрупчивает металл. В результате возникает, так называемая «поверхностная красноломкость», приводящая к образованию дефектов при прокатке.

Отрицательное влияние олова связано с низкой температурой плавления, склонностью к ликвации в междендритных пространствах и к диффузии в поверхностные слои отливка. При этом максимально допустимые концентрации данной примеси, по мнению авторов работ [9, 10] составляет 0,006 %. Фактический диапазон изменения содержания олова на рассматриваемой выборке составил 0,003-0,014%, что говорит о совпадении с имеющимися литературными данными.

Поскольку наибольшую долю в отбраковке рельсов по результатам МУЗК составляют неметаллические включения, с целью установления их природы и происхождения проведены дополнительные исследования.

При проведении исследований использовали металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51 и рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000. Исследованиями дефекта в шейке рельса плавки стали Э76ХФ, отбракованного на МУЗК обнаружено расслоение металла. При подробном изучении было установлено нахождение внутри расслоя скоплений неметаллических включений различной формы и цвета, характерные зоны локализации которых представлены на рисунке 1.

По результатам рентгенофазового анализа (рисунок 2) по межплоскостному расстоянию определены типы неметаллических включений в зоне расслоя: Al_2SiO_5 (Силлиманит (Al: 33%; Si: 18%; O: 49%)); SiO_2 ((Si: 47%; O: 53%) с различной длиной ребер); Al_2O_3 (Корунд (Al: 53%; O :47%)); MnS (Алабандин (Mn: 67-70%; S: 33-30%)).

Исходя из полученных данных причиной образования расслоения в рельсе плавки стали Э76ХФ явилось скопление непластичных неметаллических включений [11, 12] SiO_2 , Al_2O_3 , Al_2SiO_5 .

Таким образом, по результатам проведенных исследований для условий электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено значимое влияние на отбраковку рельсов стали марки Э76ХФ следующих технологических параметров: содержание серы на выпуске из дуговой сталеплавильной печи, длительность продувки при обработке на агрегате «ковш-печь», основность шлака при обработке на агрегате «ковш-печь», содержание водорода в стали после вакуумирования, содержание меди и олова в готовой стали. Установлено, что силикаты недеформирующиеся, а именно алюмосиликаты и

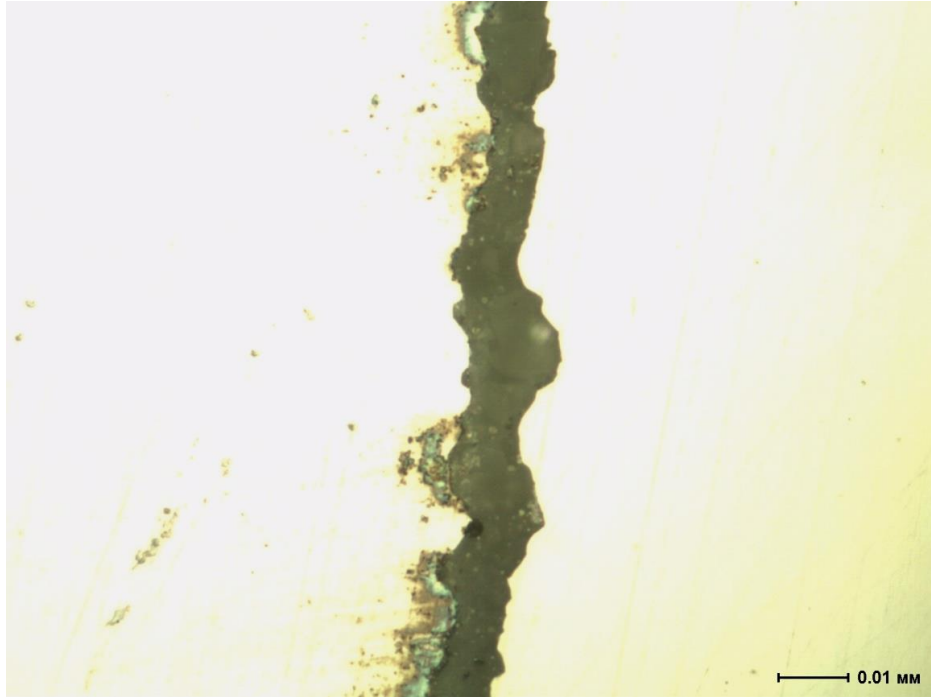


Рисунок 1 – Локализация неметаллических включений в зоне расслоения рельса плавки стали Э76ХФ

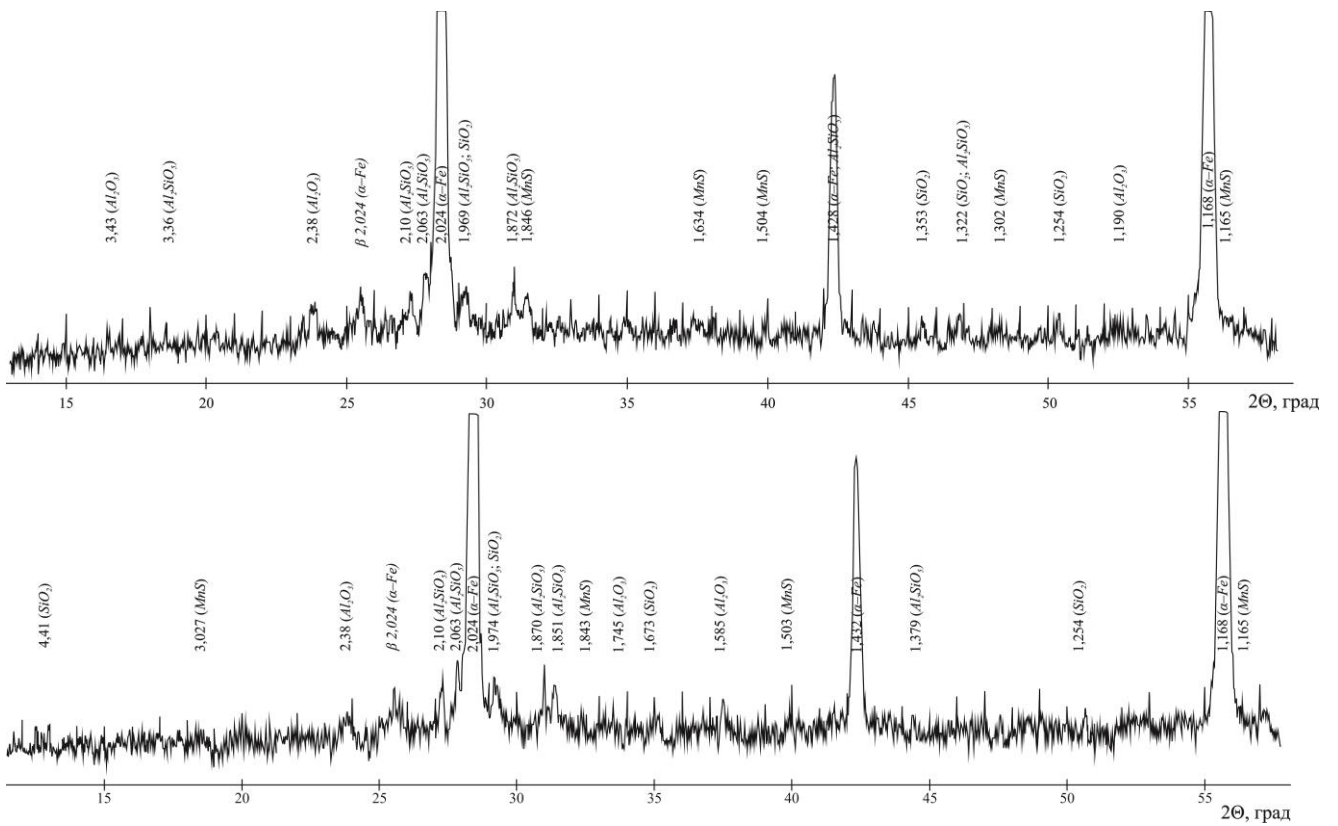


Рисунок 2 – Фрагменты дифрактограмм в местах локализации неметаллических включений в расслоении рельса плавки стали Э76ХФ

шпинели, являются преобладающим типом неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках рельсовой стали марки Э76ХФ и обуславливают отбраковку рельсов по результатам ультразвукового контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уманский А.А. Исследование процессов формирования качества металлопродукции ответственного назначения на переделе сталь-прокат / А.А. Уманский // Фундаментальные исследования. – 2014. – №8-2. – С. 335-339.
2. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. – №6. – С. 20-22.
3. Кузнецов И.С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей / И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, А.А. Уманский, Ю.Т. Рубцов // Сталь. – 2008. – №4. – С. 43-46.
4. Кадыков В.Н. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2007. – №18. – С. 40-48.
5. Влияние химического состава металла на содержание водорода и флокеночувствительность рельсовой стали / А.А. Дерябин [и др.] // Электрометаллургия. – 2003. – №9. – С.10-18.
6. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железом углеродистых сплавов / В.И. Шаповалов. – М.: Металлургия, 1982. – 235 с.
7. Медь в черных металлах / Под ред. И. Ле Мэя и Л. М. Д. Шетки: Пер. с англ. И. Д. Марчуковой и А. Н. Штейнберга. М.: Металлургия, 1988.
8. Гинцбург Я. С. Прокатка качественной стали / Я.С. Гинцбург, К.К. Андрацкий. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1953. – 464 с.
9. Влияние микропримесей цветных металлов на качество непрерывнолитой стали / В.П. Харченко [и др.] // Сталь. – 2001. – №5. – С. 60–62.
10. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В.А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.
11. Старов Р.В. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р.В. Старов [и др.] // Сталь. – 2005. – № 1. – С. 79-82.
12. Добужская А.Б. Изучение состава неметаллических включений в рельсах / А.Б. Добужская, Л.А. Смирнов, Н.В. Мухранов, М.С. Фомичев, Е.В. Белокурова // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 82-86.

А.А. Уманский¹, А.В. Головатенко², А.С. Симачев¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПО СЕЧЕНИЮ РЕЛЬСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ*

На основании проведенных исследований качества рельсов производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» установлены закономерности распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей. Показано, что наиболее распространенным типом неметаллических включений являются силикаты недеформирующиеся, наименьшая концентрация которых наблюдается в головке рельсов.

On the basis of the conducted researches of quality of rails of production of «EVRAZ ZSMK» regularities of distribution of nonmetallic inclusions on section of rail profiles are established. It is shown that the most common type of nonmetallic inclusions are non-deforming silicates, the lowest concentration of which is observed in the head of the rails.

* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Материаловедение» СибГИУ в рамках базовой части Государственного задания Минобрнауки РФ №11.6365.2017/8.9.

Вид, концентрация и распределение неметаллических включений в стальных слитках оказывают значительное влияние на пластические и деформационные свойства стали в процессе производства готовых изделий, а также определяют эксплуатационные характеристики готовой продукции [1, 2]. Ударные нагрузки, которым подвергаются рельсы в процессе эксплуатации, делают недопустимым скопление в головке рельсов недеформирующихся (хрупких) неметаллических включений, а также хрупкоразрушенных включений, которые при деформации способны вытягиваться в строчки, однако при достижении некоторого предельного значения степени деформации разрушаются [3-5].

К включениям первого типа, в частности, относятся глинозем и кремнезем, ко второму типу – сложные окислы (алюминаты, силикаты, шпинели).

В действующем стандарте на производство рельсов (ГОСТ Р 51685-2013) регламентированы размеры включений и суммарный коэффициент загрязненности рельсов строчечными глобулярными включениями и отдельными глобулярными включениями. С целью снижения концентрации высокоглиноземистых включений (с содержанием Al_2O_3 более 50 %), оказывающих наиболее отрицательное влияние на эксплуатационные свойства рельсов, до-

пустимая концентрация алюминия в рельсовой стали в действующем стандарте снижена до 0,004%. Кроме того, поскольку образование высокоглиноземистых включений определяется не только содержанием алюминия в стали, но и концентрацией кислорода, то массовая доля кислорода ограничена пределами не более 20 ppm, в том числе в виде высокоглиноземистых оксидных включений – не более 10 ppm.

Таким образом, исследования неметаллических включений в готовых рельсах, в том числе их распределения по сечению профилей является актуальной задачей.

В представленной работе объектами исследования явились пробы от двух рельсов типа Р65 текущего производства плавок стали марок Э76ХФ и Э90ХАФ, произведенных в ЭСПЦ АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Схема отбора проб от указанных рельсов приведена на рисунке 1.

Алгоритм проведения исследований образцов включал в себя следующие этапы:

- 1) Анализ загрязненности неметаллическими включениями;
- 2) Химический анализ образцов с целью определения ликвации химических элементов по сечению рельсов;
- 3) Исследования микроструктуры стали.



Рисунок 1 – Схема отбора проб рельсов

Анализ неметаллических включений в пробах проводили по методике согласно ГОСТ 1778-70, химический состав образцов определяли методами спектрального анализа: методом рентгенофлуоресцентного анализа по ГОСТ 28033-89 и фотоэлектрического спектрального анализа по ГОСТ 18895-97.

Для определения содержания химических элементов использован рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр «Shimadzu XRF-1800» и атомно-эмиссионный спектрометр ДФС-71. Исследования микроструктуры стали проводили на образцах после травления с использованием оптического металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51.

По результатам проведенных исследований установлено, что преобладающим типом неметаллических включений в обоих рельсах являются силикаты недеформирующиеся, при этом в головке рельсов загрязненность включениями указанного типа заметно ниже по сравнению с шейкой и подошвой рельса (таблица).

Таблица – Распределение неметаллических включений по элементам рельсов плавков стали Э76ХФ и Э90ХАФ

Вид включения	Распределение включений по элементам рельса			
	Головка		Шейка (пробы 5, 6)	Подошва (пробы 7, 8)
	Боковые пробы (1, 4)	Центральные пробы (2, 3)		
Сталь Э76ХФ				
Силикаты недеформирующиеся	1б; 2б	1а; 1б	1а; 1б; 4а	1а; 1б; 2б; 3б
Сульфиды	2б; 3б	-	-	-
Оксиды точечные	1а	-	1а	-
Силикаты пластичные	-	3б; 1а	2а	-
Нитриды алюминия	-	1б	1б; 2б	1б; 2б; 3б
Сталь Э90ХАФ				
Силикаты недеформирующиеся	1б; 2а	1б	1б; 2б; 3б	1а; 2б
Сульфиды	-	2б; 3б	-	3б
Оксиды строчечные	2а	-	-	--
Силикаты пластичные	1а	2б	1б	-
Нитриды алюминия	-	-	-	1б

Также установлено, что в головке обоих рельсов имеет место достаточно высокая загрязненность неметаллическими включениями сульфидного типа (рисунок 2), что явилось следствием значительной положительной ликвации по сечению профиля относительно состава ковшевой пробы по сере (рисунок 3). При этом содержание серы на рассматриваемых плавках по данным ковшевых проб имело низкое значение – 0,010 % на обеих плавках.

Следует отметить, что в целом в рельсе стали Э90ХАФ имеет место пониженная загрязненность неметаллическими включениями относительно рельса стали Э76ХФ, в частности не выявлены крупные неметаллические включения (рисунок 4).



Рисунок 2 – Сульфиды балла 3 б в головке рельса

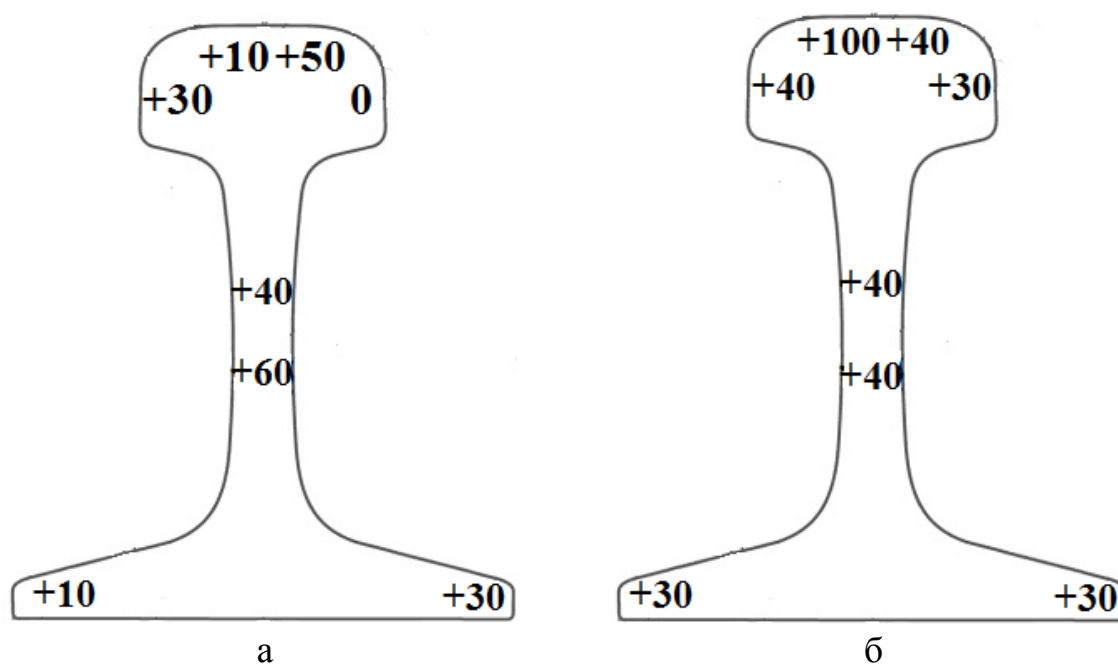


Рисунок 3 – Ликвация серы по профилю рельсов стали марок Э76ХФ (а) и Э90ХАФ (б)

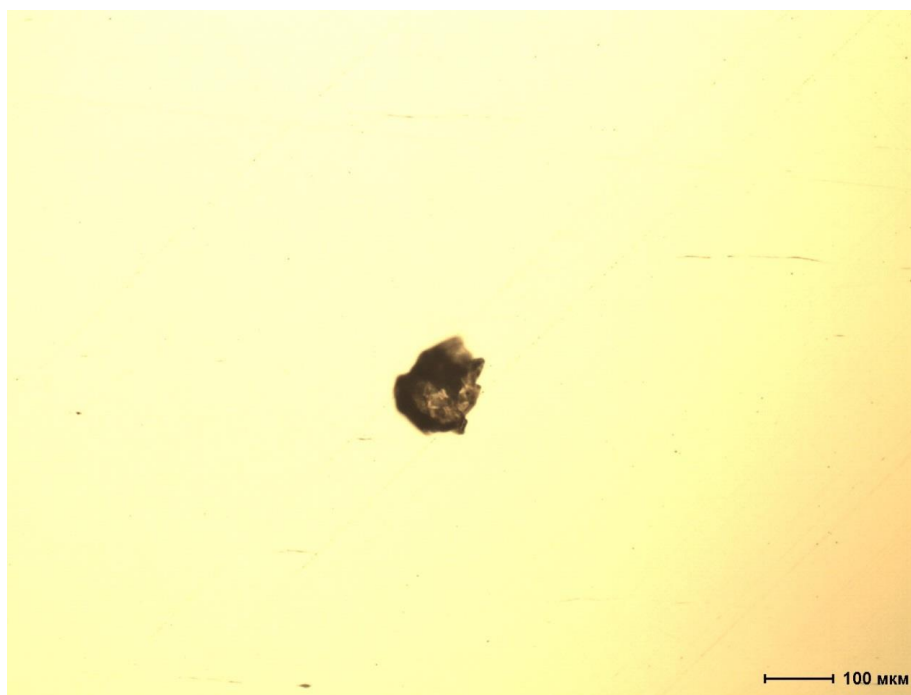


Рисунок 4 – Силикаты недеформирующиеся балла 4 *a* в шейке рельса из стали Э76ХФ

Микроструктура стали обоих рельсов представлена сорбитом закалки в головке, перлитом – в подошве; величина зерна в головке обоих рельсов соответствует № 9 и № 10, в шейке и подошве – № 8 и № 9.

При этом в шейке рельсов обоих плавок выявлена химическая неоднородность со скоплениями неметаллических включений, более выраженная для плавки стали Э76ХФ (рисунок 5). В шейке рельса из стали Э76ХФ наблюдается химическая неоднородность в виде светлых полос, по направлению оси прокатки, перпендикулярно подошве, внутри которых находятся неметаллические включения (рисунок 5 а), а в центре шейки рельса стали марки Э90ХАФ имеет место темная полоса, по краям которой находятся вытянутые неметаллические включения (рисунок 5 б). Сама полоса представлена зернами перлита, но с другой ориентацией и величиной зерен (№ 10) относительно основной структуры шейки.

Обобщая результаты проведенных исследований можно констатировать, что преобладающим типом неметаллических включений в рельсах из сталей марок Э76ХФ и Э90ХАФ являются силикаты недеформирующиеся. При этом концентрация указанных включений неравномерна по сечению рельсовых профилей и минимальна в наиболее ответственном элементе рельсов – головке. Однако при этом в указанном элементе выявлена высокая концентрация включений сульфидного типа, что является следствием значительной ликвации серы по профилю рельса.

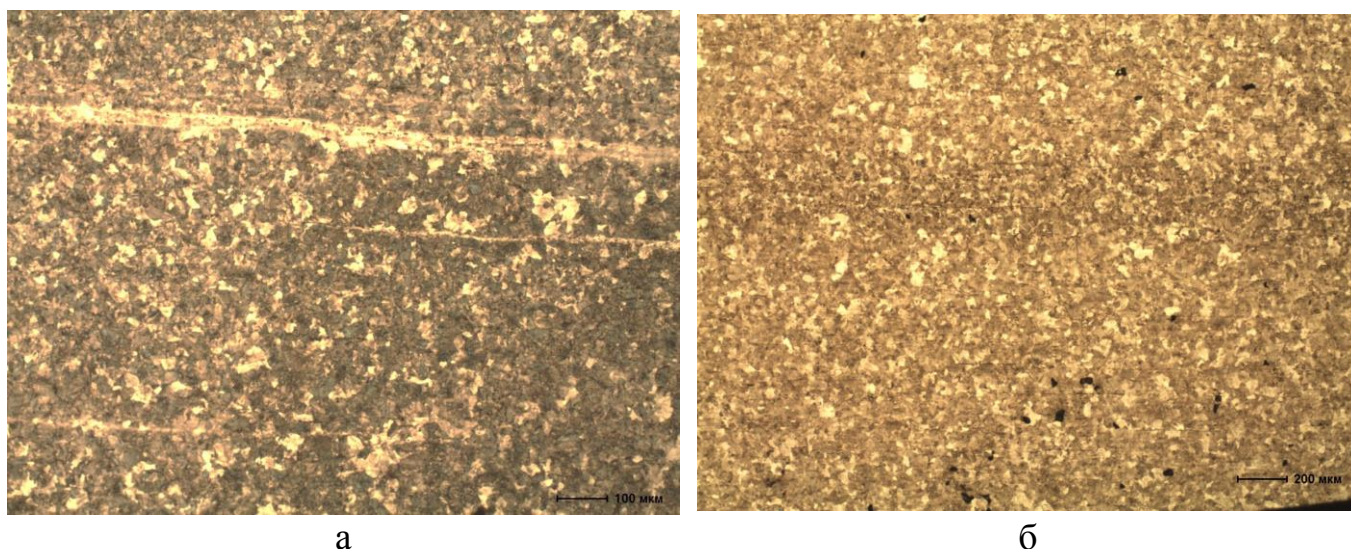


Рисунок 5 – Микроструктура шейки рельсов плавок стали марок Э76ХФ (а) и Э90ХАФ (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губенко С.И. Неметаллические включения в стали / С.И. Губенко, В.В. Парусов, И.В. Дервянченко. – Д.: АРТ ПРЕСС, 2005. – 536 с.
2. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Metallurgy, 1991. – 225 с.
3. Дерябин А.А. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали / А.А. Дерябин, А.В. Добужская // Сталь. 2000. – № 11. – С. 38–43.
4. Дерябин А.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте / А.А. Дерябин, В.А. Рабовский, Е.А. Шур // Сталь. – 2000. – № 11. – С. 82–85.
5. Шур Е.А. Влияние неметаллических включений на разрушение рельсов и рельсовой стали / Е.А. Шур, С.М. Трушевский. – В кн.: Неметаллические включения в рельсовой стали: сб. науч. тр. - Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2005. – С. 87-94.

УДК 621.74

В.Б. Деев¹, А.И. Куценко², О.Г. Приходько², Е.С. Прусов³,
А.А. Соколев¹

¹Национальный исследовательский технологический университет
МИСиС», г. Москва

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк, Россия

³Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
г. Владимир

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВОВ И ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК

В статье рассмотрены общие закономерности формирования структуры отливок и слитков из алюминиевых сплавов, обработанных внешними воздействиями в процессах литья. Показано, что применение физических способов обработки расплавов при плавке и кристаллизации позволяет целенаправленно управлять формированием структуры литых заготовок за счет модифицирующего эффекта.

The paper discusses the general regularities of formation of the structure of castings and ingots of aluminum alloys, processed by external influences in the casting processes. It is shown that the use of physical methods of melts processing during smelting and crystallization allows to purposefully controlling the formation of the structure of cast billets due to the grain refinement effect.

Многочисленные исследования структурных особенностей строения металлов и сплавов в литом состоянии подтверждают, что решающее влияние на свойства отливок оказывают размер и форма кристаллических зерен, их преимущественная ориентировка, сегрегация растворимых и нерастворимых примесей, а также величина и распределение усадочной пористости [1-3]. При этом было выяснено, что степень развития сегрегации в макро- и микрообластях, усадочной пористости и других дефектов строения литых металлов и сплавов в общем случае определяется формой роста кристаллов и структурой фронта кристаллизации на каждом этапе затвердевания отливки [4].

В реальных условиях затвердевания отливок для всех промышленно значимых металлов и сплавов характерна дендритная форма роста кристаллов. В этой связи, степень развития указанных дефектов строения литых металлов и сплавов определяется структурой фронта кристаллизации и, следовательно, теми процессами, которые обуславливают формирование кристаллического строения отливки из данного металла или сплава. Поэтому меха-

нические и эксплуатационные свойства реальных отливок практически полностью определяются их кристаллическим строением. Для отливок и слитков характерным является наличие трех макроструктурных зон: периферийной, мелкозернистой (зоны «замороженных» кристаллов), зоны столбчатых кристаллов и центральной зоны равноосных кристаллов. Наружный слой отливок со случайно ориентированными кристаллами, выросшими на начальной стадии затвердевания в условиях взаимной конкуренции, называют еще быстроохлажденной зоной [5]. Наружный слой становится неотчетливым при увеличении температуры заливаемого металла, поскольку образующиеся при заливке на стенках формы кристаллы оплавляются сильно перегретым жидким металлом.

Столбчатые кристаллы растут под влиянием теплоотвода, направленного к стенке литейной формы. В отливках это вызывает общее ухудшение механических свойств, а также приводит к снижению сопротивляемости металлов и сплавов образованию горячих трещин при литье. В слитках в местах стыка зон столбчатых кристаллов происходит расслоение во времяковки или прокатки. Поэтому в большинстве случаев необходимо избегать образования столбчатой структуры для получения мелкозернистого строения отливок.

Среди разнообразных типов кристаллов в литых металлах механизм образования равноосных кристаллов наиболее сложен для понимания. Известно несколько теорий для объяснения этого явления. Первая теория утверждает, что равноосные кристаллы начинают зарождаться в расплаве перед растущей поверхностью раздела жидкой и твердой фаз. Чтобы объяснить зарождение равноосных кристаллов у фронта растущей столбчатой зоны, необходимо предположить наличие здесь переохлажденной зоны. Вайнгард и Чалмерс [5] объяснили это, используя концепцию конституционального переохлаждения. Они сделали заключение, что центральная жидкая область может быть конституционально переохлаждена вследствие ликвации растворенного вещества у растущей поверхности раздела фаз таким образом, что в переохлажденной области могут зарождаться частицы, вызывающие образование равноосных кристаллов.

Согласно второй теории, центральная равноосная зона формируется с помощью свободных резкоохлажденных кристаллов. Эти кристаллы могут зарождаться в переохлажденной области вблизи стенки формы во время заливки металла. Некоторые из свободных кристаллов «выживают» в условиях перегрева и переносятся в центральную зону отливки, где дорастают до зерен окончательного размера. Эта идея была первоначально предложена Гендерсом в 1926 г. и позднее Чалмерсом [5].

В соответствии с третьей теорией равноосные кристаллы создаются из частично переплавленных дендритов при пульсациях температуры расплава во время роста столбчатой зоны, которые возникают благодаря конвекции расплава у поверхности раздела жидкой и твердой фаз. Особое значение имеет оплавление дендритов растущей твердой оболочки, это явление рассматривается как главный фактор формирования равноосных кристаллов [5].

Согласно четвертой теории, предложенной А. Оно и его сотрудниками [5], кристаллы зарождаются на стенке формы или на охлажденной поверхности расплава и растут с образованием шеек. Затем эти шейкообразные кристаллы отделяются от места зарождения до того, как успеет сформироваться твердая оболочка, окончательно осаждаются и накапливаются с образованием равноосной структурной зоны.

Образование «нижнего конуса» слитка все теории кристаллизации объясняют осаждением кристаллов, растущих свободно в расплаве перед фронтом кристаллизации. Осаждение кристаллов возможно по двум причинам. Первая состоит в том, что кристаллы тяжелее расплава и под действием гравитационных сил могут опускаться вниз. Этой точки зрения придерживаются теории Д.Д. Саратовкина [6], В.И. Добаткина [7], В.О. Гаген-Торна и Н.И. Хворинова [8].

Вторая причина осаждения свободных кристаллов состоит в том, что в расплаве, охлаждающемся в изложнице, развивается естественная конвекция, при которой более холодный расплав вблизи фронта кристаллизации опускается вниз, а более горячий в центре слитка поднимается вверх. Кристаллы, растущие перед фронтом кристаллизации, могут увлекаться опускающимся потоком расплава и перемещаться в нижнюю часть слитка, где они, потеряв скорость, остаются (теория Г.П. Иванцова [9]). Этот механизм более реален в слитках промышленных размеров, так как интенсивность естественной конвекции увеличивается с увеличением размеров изложницы.

Таким образом, проблема кристаллизации отливок представляется, прежде всего, как проблема управления процессом формирования кристаллического строения отливок с целью получения заданного строения и, следовательно, заданных служебных и технологических свойств отливок.

Хорошо известно, что принудительные колебания, обеспечивающие перемешивание расплава во время кристаллизации (ультразвуковые и механические колебания, продувка газами, наложение вращающихся магнитных полей, взаимодействующих электромагнитных полей), способствуют эффективному измельчению структуры при затвердевании литых заготовок [10, 11], но механизм измельчения зерна до настоящего времени изучен недостаточно. Полагают [12-14], что при наличии колебаний зерно измельчается главным образом в результате разрушения дендритных кристаллов.

В 1878 г. Д.К. Чернов предложил идеи способов постоянного перемешивания расплава во время затвердевания его в изложнице: постоянное и сильное сотрясение изложницы, вращение изложницы с быстрым и прерывистым изменением направления [15]. Первый способ был осуществлен в 1910 г. В.В. Лермантовым и затем В.И. Тыжновым. Опыты показали значительное увеличение плотности, измельчение кристаллического зерна и улучшение свойств литой стали [16]. Вторым способом был осуществлен С.Е. Розенфельдом, С.Б. Юдиным и М.М. Левиным в 1951 г. Периодическое и резкое изменение скорости вращения изложницы вызывает сильное перемешивание рас-

плава и приводит к полному уничтожению зоны столбчатых кристаллов и улучшению механических свойств отливок из аустенитных сталей [17].

Идея динамического затвердевания отливок и слитков получила практическое воплощение и в других способах перемешивания кристаллизующегося расплава: заливка в наклонную изложницу и несимметричная заливка изложниц сверху, пропускание через расплав газа, ультразвуковое воздействие [18, 19], перемешивание расплава вращающимся магнитным полем – способ, успешно использующийся сейчас при непрерывном литье слитков [20], воздействие электрического тока [21, 22] и др.

Объяснение процесса кристаллизации отливок не только при обычных условиях литья, но и при вынужденном движении расплава, независимо от способа приведения его в движение дают не все существующие на данный момент теории кристаллизации отливок и слитков. В.Д. Добаткин дает этому следующее объяснение: любое перемешивание расплава ускоряет процесс его охлаждения в форме, следовательно, ускоряется и начало равноосной кристаллизации, в результате сокращается зона столбчатых кристаллов и измельчается зерно в центральной части слитка. В.О. Гаген-Торн в своей теории предполагает, что перемешивание расплава независимо от способа перемешивания мешает образованию сплошной корки на свободной поверхности расплава, залитого в изложницу, а также на поверхности стенки изложницы. Свободные кристаллы, появляющиеся на поверхности стенок и свободной поверхности расплава, при перемешивании разносятся по всему объему расплава и являются затравками для равноосной кристаллизации.

Н.И. Хворинин [8] считает, что при перемешивании расплав разрушает фронт кристаллизации, обломки кристаллов разносятся по всему объему расплава и становятся затравками кристаллизации расплава впереди фронта кристаллизации. При увеличении интенсивности движения расплава (к примеру, за счет вибрации), число обломков возрастает, что вызывает сокращение столбчатой зоны и приводит к измельчению зерна в отливках и слитках.

По теории А. Оно [5] имеется два фактора воздействия вибрации на структуру затвердевающей отливки. Первый фактор состоит в том, что колебания способствуют смачиванию расплавом поверхности формы, а это в свою очередь облегчает теплоотвод от расплава через стенку формы. Но поскольку в обычных условиях поверхность расплава покрыта оксидными пленками, то трудно ожидать его однородного контакта с этой стенкой. Колебания разрушают покровные пленки, облегчают смачивание поверхности формы, в результате скорость охлаждения расплава увеличивается, т. е. облегчается зарождение кристаллов, вследствие этого измельчается структура наружного слоя слитков. Второй фактор заключается в том, что наложение колебаний способствует разобщению шейкообразных кристаллов со стенкой литейной формы. Если металлический расплав содержит достаточно растворенного вещества для формирования дендритных кристаллов при затвердевании, то принудительные колебания могут способствовать формированию равноосных кристаллов.

Когда металл затвердевает в вибрирующей форме, то колебания должны быть эффективны лишь постольку, поскольку они способствуют разобщению кристаллов со стенкой формы в области контакта стенки с поверхностью расплава. Если форма вибрирует во время заливки металла, то вызванное вибрацией волновое движение поверхности расплава будет способствовать разобщению кристаллов со стенкой формы до тех пор, пока не образуется стабильная твердая корочка. Так как верх твердой корочки имеет выступающую часть на уровне свободной поверхности расплава, и выступающие дендриты могут быть источником поставки равноосных кристаллов, то наложение поверхностных колебаний на расплав в форме эффективно даже в период после формирования твердой оболочки, т. е. после завершения заливки расплава.

Имеются основания предполагать, что вибрация наиболее эффективна для разобщения кристаллов со стенкой в начальный период затвердевания [5]. При вибрации у макроструктуры затвердевшего слитка появилась тенденция формирования зоны равноосных кристаллов. Металл, затвердевший в форме, которую подвергали вибрации до тех пор, пока толщина твердой корочки не достигла приблизительно 5 мм, имел такую же структуру, как и в случае застывания в вибрирующей форме в течение всего периода затвердевания. Если же форму поддерживали в стационарных условиях до тех пор, пока толщина твердой корочки не достигала ~10 мм и затем подвергали вибрации до завершения затвердевания, то в окончательной макроструктуре не наблюдали тенденции к формированию равноосной области. Структура в этом случае была подобна структуре металла, затвердевшего в стационарных условиях.

Описанные эксперименты ясно показали, что наложение вибраций наиболее эффективно в начальный период затвердевания, поскольку в этот период они стимулируют отделение кристаллов от мест их зарождения на стенке формы. Ввиду того, что отделившиеся кристаллы могут расплавляться в горячей жидкости при очень высокой температуре заливки, то вибрацию металла следует осуществлять непрерывно до тех пор, пока температура расплава не снизится до определенного уровня, при котором отделившиеся кристаллы могут сохраниться, т. е. не расплавиться полностью [5]. Кроме измельчения зерна, вибрация способствует очищению расплава от газов и твердых неметаллических включений. Д.К. Чернов указывает, что «достаточно произвести сравнительно небольшое движение расплава» для всплывания газового пузыря [15].

Процесс рафинирования алюминиевых сплавов физическими воздействиями рассмотрен в работе [23]. По мнению авторов, вибрация и ультразвук способствуют удалению из жидких силуминов водорода за счет увеличения его диффузионной подвижности в расплавах. Инерционные колебания при вибровоздействии будут передаваться пузырькам, и способствовать их удалению из расплава. Кроме того, вибрационная обработка расплава усиливает эффект модифицирования доэвтектических силуминов натрием. Предполагается, что это происходит из-за более равномерного распределения в расплаве

модифицирующих добавок. Существует и несколько других предположений, хотя единой теории пока нет.

В работе [24] экспериментально подтверждено мнение о том, что вибрационное взаимодействие на расплав связано с теплофизическими условиями его затвердевания. При формировании кристаллических структур вибрационная энергия расходуется не только на разрушение ветвей дендритов и создание в системе дополнительных центров кристаллизации, но и на повышение интенсивности теплоотвода от расплава к стенкам изложницы. Это приводит к повышению темпа кристаллизации расплава и значительному (на 25-30 %) ускорению затвердевания слитка.

В работе [25] описан разработанный станок объемной вибрации. Отливки, получаемые по предложенной технологии, имеют плотную равномерную и мелкозернистую структуру, не имеющую газовых и усадочных порков, неоднородности по химическому составу и обладает стабильно высокими прочностными и служебными свойствами. Следует отметить, что кроме вибрации и перемешивания расплава на структуру полученных слитков оказывают влияние и другие факторы: методы и способы заливки расплавов в форму, материал литейной формы, модифицирующие добавки, температура заливаемого расплава и формы и т.д.

Таким образом, вибрационный метод литья для улучшения качества отливок и слитков известен и используется уже давно. Наряду с опытами промышленного использования вибрации выполнены многочисленные исследования воздействия вибрации на строение и свойства отливок и слитков. Однако в этих исследованиях толкование существа происходящих явлений и процессов, а также практические выводы и рекомендации часто не согласуются между собой, а иногда и противоречат друг другу и требуют дополнительного теоретического и экспериментального изучения.

В целом, эти разногласия сводятся к двум точкам зрения:

1. Увеличение числа центров кристаллизации в расплаве достигается за счет механического разрушения фронта кристаллизации и разрушения дендритных осей под действием упругих сил и явления кавитации [26].

2. Увеличение скорости зарождения центров кристаллизации происходит от волнового давления и разрежения и за счет уменьшения вязкости и поверхностного натяжения расплава при вибрационном воздействии, возникновение зародышей твердой фазы происходит за счет сил вязкого трения вибрируемого расплава с растущими кристаллами [24].

Авторами в лабораторных условиях выполнено исследование влияния различных режимов вибрационной обработки расплава на плотность и твердость отливок, изготавливаемых в песчано-глинистых формах. Эксперименты проводились на образцах двух типов с приведенным размером 5 и 6 мм соответственно. В работах [27-32] доказано, что вибрация эффективно влияет на процесс кристаллизации. При этом растет скорость охлаждения отливок за счет образования более плотного контакта на границе «металл-форма», увеличивается предвсудачное расширение в литейных Al-Si сплавах за счет вы-

деления кристаллов кремния из жидко-твердой области в твердо-жидкую область. Отливки, полученные с наложением вибрации на кристаллизующийся расплав, имеют плотную, равномерную и мелкозернистую структуру. Экспериментально установлено, что для отливок диаметром 30 мм из доэвтектических алюминиевых сплавов наиболее оптимальной является резонансная частота 50 Гц. Установлено, что вибрационное воздействие с оптимальными параметрами эффективно влияет на процесс кристаллизации алюминиевых сплавов. В частности, зерно измельчается на 25-40 %, твердость по Бринеллю возрастает на 6-14 %, относительное удлинение возрастает на 30-42 %, предел прочности на растяжение возрастает на 6-15 %. Исследования показали, что виброобработка на оптимальных резонансных частотах позволяет повысить плотность сплава на 8-12 % и снизить процент брака по герметичности отливок с 15 до 7 %.

Следует отметить, что наложение внешних физических воздействий на расплавы может быть перспективным направлением повышения качества литейных металломатричных композитов [33-35]. Предполагается, что обработка композиционных расплавов в процессах плавки и литья позволит обеспечить заданную степень межфазного взаимодействия между матрицей и экзогенной армирующей фазой, диспергирование эндогенных армирующих фаз, а также равномерное распределение армирующих компонентов по объему расплава и, соответственно, литой заготовки.

Выводы: Комплексное исследование процессов кристаллизации и затвердевания сплавов, обработанных внешними воздействиями (вибрацией, ультразвуком, электрическими и магнитными поля и т.д.), будет способствовать развитию фундаментального понимания механизмов кристаллизации и модифицирования сплавов и композитов для целенаправленного управления формированием структуры отливок и слитков, а также позволит разрабатывать ресурсоэффективные технологии получения высококачественных литых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.M. Stefanescu. Science and Engineering of Casting Solidification. 3rd ed. Springer International Publishing AG Switzerland (2015) 559 p.
2. J. A. Dantzig, M. Rappaz. Solidification. Taylor & Francis Group, CRS Press (2009) 621 p.
3. J. Campbell. Casting. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier (2003) 335 p.
4. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. Чистые металлы и однофазные сплавы. М.: Машиностроение. – 1965. – 256 с.
5. Оно А. Затвердевание металлов. Пер. с англ. М.: Metallurgia, 1980. – 152 с.
6. Саратовкин Д.Д. Дендритная кристаллизация. М.: Metallurgizdat. – 1957. – 128 с.
7. Добаткин В.И. Слитки алюминиевых сплавов. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 175 с.
8. Хворинев Н.И. Кристаллизация и неоднородность стали. – М.: Metallurgia, 1958. – 140 с.

9. Иванцов Г.П. К вопросу о возможности «дождя» кристаллов в стальном слитке // *Сталь*. – 1952. – № 10. – С. 922-931.
10. Deev V.B., Belov N.A., Selyanin I.F., Kutsenko A.I., Ponomareva K.V. Promising resource saving technology for processing melts during production of cast aluminum alloys // *Metallurgist*. 2015. Т. 58. № 11-12. С. 1123-1127.
11. Деев В.Б., Селянин И.Ф., Нохрина О.И., Башмакова Н.В. Влияние температурной обработки и электрического тока на свойства алюминиевых сплавов // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2008. – № 4. – С. 50-53.
12. Wang X., Luo X., Cong F., Cui J. Research progress of microstructure control for aluminium solidification process // *Chinese Science Bulletin* (2013), 58, 468–473.
13. Deev V.B., Prusov E.S., Kutsenko A.I. Theoretical and Experimental Evaluation of the Effectiveness of Aluminum Melt Treatment by Physical Methods // *Metallurgia Italiana* (2018), 110(2), 16-24.
14. Vorozhtsov S., Kudryashova O., Promakhov V., Dammer V., Vorozhtsov A. Theoretical and experimental investigations of the process of vibration treatment of liquid metals containing nanoparticles // *JOM* (2016), 68, 3094–3100.
15. Труды Д.К. Чернова. Под редакцией Н.Т. Гудцова. – М.: *Металлургиздат*, 1950. – 564 с.
16. Тыжнов В.И. Кремневосстановительный мартеновский процесс. ОНТИ. – 1936. – 348 с.
17. Розенфельд С.Е., Юдин С.Б., Левин М.М. О методах динамического воздействия на кристаллизацию отливок // *Литейное производство*. – 1957. – № 11. – С. 24-26.
18. Цуркин В.Н., Грабовый В.М. Оценка эффективности внешнего физического воздействия при внепечной обработке расплава // *Литейное производство*. – 2003. – № 10. – С. 29-31.
19. Eskin D.G. Ultrasonic processing of molten and solidifying aluminium alloys: overview and outlook // *Materials Science and Technology* (2017), 33, 636-645.
20. Борисов В.Г. Управление структурой и свойствами алюминиевых сплавов в условиях специальных способов литья // *Литейное производство*. – 2000. – № 7. – С. 39-42.
21. Рыбкин В.А., Тимченко С.Л. Кристаллизация алюминиевых сплавов под действием электрического тока // *Литейное производство*. – 2003. – № 10. – С. 17-19.
22. Калюкин Ю.Н. Моделирование направленного затвердевания отливки из жаропрочного сплава под действием электрического тока. // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. – № 11. – 2002. – С. 48-52.
23. Иванцов А.А., Крушенко Г.Г. О механизме влияния упругих колебаний на алюминиево-кремниевые сплавы // *Литейное производство*. – 2003. – № 2. – С. 2-4.
24. Найдек В.Л., Эльдарханов А.С., Нурадинов А.С., Таранов Е.Д. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов // *Литейное производство*. – 2003. – № 9. – С. 13-15.
25. Чебышев В.А. Станок объемной вибрации // *Литейное производство*. – 2003. – № 7. – С. 21-22.

26. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. – М.: Metallurgia. – 1977. – 152 с.
27. Результаты исследования механических свойств и микроструктуры валков производства ОАО «КМК» / А.И. Куценко, С.В. Морин, Р.М. Хамитов, О.Г. Приходько, С.А. Тимонин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей ред. Кулакова С. М. / Новокузнецк: СибГИУ, 2002. – Вып. 6. – 463 с.
28. Контактное взаимодействие отливка-форма под действием вибрации / И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, С.В. Морин, Р.М. Хамитов, О.Г. Приходько // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей ред. Кулакова С.М. / Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – Вып. 8. – С. 243.
29. Жидкотекучесть алюминиево-кремниевых сплавов под действием вибрации / И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, С.В. Морин, Р.М. Хамитов, О.Г. Приходько // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей ред. Кулакова С. М. / Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – Вып. 8. – С. 244.
30. Исследование тепловых флуктуаций на фронте кристаллизации при затвердевании чугуновых прокатных валков ОАО «КМК» методом ДТА / И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, О.Г. Приходько, Р.М. Хамитов, С.В. Морин // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Сб. науч. тр. / Под ред. В.А. Маркова и А.М. Гурьева – Вып. 6. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. С. 98-100.
31. Особенности модифицирующей обработки металлических расплавов вибрацией и ультразвуком / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, А.И. Куценко, О.Г. Приходько, О.В. Махина // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 31. – Москва-Новокузнецк: СибГИУ, 2013. – С. 49-52.
32. Selyanin I.F., Deev V.B., Belov N.A., Prikhodko O.G. Physical modifying effects and their influence on the crystallization of casting alloys // Russian Journal of Non-Ferrous Metals (2015), 56, 434-436.
33. Прусов Е.С., Деев В.Б., Рахуба Е.М. Влияние температурно-временной обработки расплава на структуру и свойства эвтектических композитов системы Al-Si-Mg // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2017. – № 39. – С. 170-174.
34. Прусов Е.С., Панфилов А.В., Панфилов А.А. Термодинамический анализ и модель взаимодействия компонентов при синтезе композиционных материалов на основе систем Al-TiO₂-B-SiC и Al-TiO₂-C-SiC // Литейщик России. – 2009. – № 9. – С. 30-33.
35. Панфилов А.В., Прусов Е.С. О получении и свойствах комплексно-армированных композиционных материалов с алюминиевой матрицей // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 1-9.

А.Г. Никитин¹, К.С. Медведева¹, П.Б. Герике²

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ КУСКОВ ФЕРРОСПЛАВА В ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКЕ С УПОРОМ НА ВАЛКЕ

Описана конструкция одновалковой дробилки с упором на валке. Приведены результаты проведения экспериментов по разрушению образцов из анизотропного материала – ферросплава. Показано, что чем больше размер зазора между валком и неподвижной щекой, тем больше процентное содержание крупной фракции готового продукта.

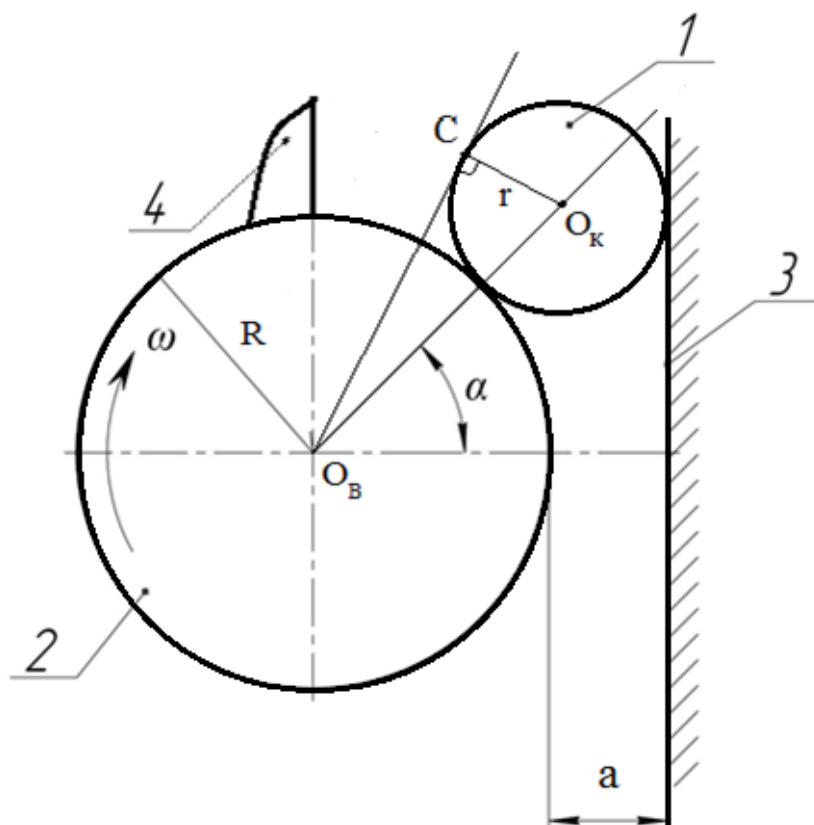
The design of a single-roll crusher with a focus on the landfill is described. The results of experiments on the destruction of samples of anisotropic material – Ferroalloy. It is shown that the larger the size of the gap between the roll and the fixed cheek, the greater the percentage of the coarse fraction of the finished product.

Расход энергии на дробление различных материалов составляет большую долю (до 5%) в энергетическом балансе мира. Многие промышленные производства перерабатывают в больших количествах сыпучие материалы различных классов крупности. В большинстве случаев нужная крупность достигается измельчением кусков на дробилках, в том числе и одновалковых [1].

В Сибирском государственном университете разработана конструкция одновалковой дробилки [2], в которой захват дробимого куска происходит за счет упора, расположенного на валке.

Дробилка работает следующим образом (рисунок 1). Кусок дробимого материала 1 подаётся в зазор между приводным вращающимся валком 2 и неподвижной щекой 3, затягивается в него под действием вертикальной составляющей силы трения между валком, направленной в сторону зазора между валком 2, и неподвижной щекой 3, и дробимым материалом и дробится [3].

Однако, при увеличении степени дробления, то есть отношения размера дробимого куска $2r$ к величине зазора между валком и неподвижной щекой a , угол захвата α увеличивается и это может привести к тому, что вертикальная составляющая силы трения между валком и дробимым материалом будет направлена в сторону, противоположную от зазора между валком 2 и неподвижной щекой 3, при этом будет происходить проскальзывание куска 1 по поверхности валка 2 без захватывания куска в зону дробления. В этом случае при вращении валка упор 4 рабочей поверхностью соприкасается с куском и начинает давить на кусок, при этом возникает сила, действующая на кусок и направленная в сторону зазора, за счет этого кусок принудительно подается в зону дробления и дробится [2].



1 – дробимый кусок; 2 – рабочий валок; 3 – неподвижная щека; 4 – упор
 Рисунок 1 – Схема одновалковой дробилки с упором на валке

Для определения фракционного состава раздробленного материала с разной степенью дробления была проведена серия экспериментов.

Эксперименты проводились на исследовательской установке, представляющей собой одновалковую дробилку с упором на валке, состоящую из рамы, двигателя мощностью 3 кВт, соединенного с редуктором (передаточное отношение $i_p = 15,3$), приводного валка (диаметр валка – 180 мм, число оборотов в минуту – 100) и жесткой вертикальной щеки, с возможностью регулирования зазора между валком и щекой. На установке были разрушены образцы из ферросплава кубовидной формы со стороной 40 мм (анизотропный материал).

Образцы дробили с установленным зазором 13 мм, 20 мм, 26 мм. На рисунке 2 приведены результаты влияния степени дробления на фракционный состав готового продукта. Проведен анализ размеров кусков полученного готового продукта и результаты представлены в таблице.

Из экспериментов по дроблению образцов из ферросплава можно сделать вывод, что, чем больше размер зазора между валком и неподвижной щекой, тем крупнее размер фракции готового продукта и меньше переизмельчение, чем при дроблении такого же куска в меньший зазор. Связано это с тем, что чем больше размер зазора, тем меньше будет степень дробления и меньше плоскостей действия максимальных касательных напряжений, по которым происходит разрушение.



а

б

в

Степень дробления: а – 1,5; б – 2; в – 3

Рисунок 2 – Результаты разрушения образцов ферросплава в одновалковой дробилке с упором

Таблица – Результаты анализа процентного содержания кусков по массе

Величина зазора между валком и неподвижной щечкой, мм	Процентное содержание по массе кусков готового продукта в зависимости от среднего размера, %			
	Размеры куска: до 3 мм	Размеры куска: от 3 до 10 мм	Размеры куска: от 10 до 16 мм	Размеры куска: свыше 16 мм
13	18	20	32	30
20	15	18	25	42
26	5	10	35	50

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Патент РФ 2524536. Способ дробления в валковой дробилке / Никитин А.Г., Люленков В.И., Лактионов С.А., Кузнецов М.А., Матехина А.Н. // Открытия. Изобретения. Бюл. № 21, 2014.
3. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. Анализ сил, действующих на кусок дробимого материала в одновалковой дробилке. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. №10. С. 41-42.

А.Г. Никитин¹, А.В. Абрамов¹, В.В. Горяшин²

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² ООО «СпецСвязьОборудование», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С УСТРОЙСТВАМИ ВЫБОРКИ ЗАЗОРОВ В ШАРНИРАХ

Определено, что одним из основных источников колебаний элементов машин являются подшипники скольжения, в которых вал находится во втулке (вкладышах) с зазором, при выборке которого происходит удар. Экспериментально определено, что устройства для выборки зазоров в подшипниках скольжения при работе щековой дробилки снижают уровень вибрации за счет устранения зазоров и, таким образом, повышают надежность работы дробилки в целом.

It is determined that one of the main sources of vibrations of machine elements are sliding bearings, in which the shaft is located in the sleeve (inserts) with a gap, during the sampling of which an impact occurs. It is experimentally determined that devices for sampling gaps in the sliding bearings during the operation of the jaw crusher reduce the level of vibration by eliminating the gaps and, thus, increase the reliability of the crusher as a whole.

Среди многочисленных технических причин относительно кратковременных, но достаточно частых простоев в условиях эксплуатации щековых дробилок значительное место занимают простои, связанные с заменой вкладышей подшипников скольжения из-за их износа [1]. Быстрый износ вкладышей является результатом не только контактного трения между цапфами осей и вкладышами, но и действия динамических сил, которые возникают при работе щековых дробилок из-за наличия зазора в кинематической паре сопряжения звеньев (цапфы и вкладыша подшипника) и дискретных значений скоростей относительного перемещения звеньев внутри зазоров подшипников скольжения.

Зазоры в кинематических парах, наличие которых обязательно для обеспечения подвижности звеньев, с увеличением продолжительности эксплуатации щековых дробилок постепенно увеличиваются, что приводит к уменьшению точности получаемого готового продукта (изменение фракционного состава), а также увеличению дополнительных динамических сил. Таким образом, надежная работа машины во многом зависит от создания условий, обеспечивающих беззазорный контакт сопряженных звеньев.

Исследования показали, что необходимый эффект можно получить путем применения малогабаритных упругих пневматических элементов, встраиваемых в кинематическую пару [2]. Постоянно воздействуя на подвижный корпус с закрепленным на нем антифрикционным вкладышем, упругий эле-

мент выбирает зазор между цапфой и вкладышем. Устанавливается он со стороны, противоположной действию силы технологического сопротивления на подшипник, что способствует не только выбору зазора в сочленении, но и обеспечивает компенсацию износа вкладыша.

Эксперименты проводились на исследовательской установке, представляющей собой щековую дробилку. Уровень вибрации оценивался косвенно через значения ускорений станины, в которой установлены акселерометры в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Опыты показали, что при наличии зазоров в подшипниках скольжения уровень ускорений в горизонтальной плоскости (рис. 1 а) составляет при холостых ходах $0,4 \div 0,5 \text{ м/с}^2$, под действием сил технологического сопротивления (в процессе однократного дробления) и при их сбросе возникают пики ускорений величиной по модулю до 5 м/с^2 , а в вертикальной плоскости (рис. 2 а), соответственно, $0,3 \div 0,4 \text{ м/с}^2$ и $1,5 \div 2 \text{ м/с}^2$. Если зазоры в опорах выбраны с помощью упругих пневматических устройств, то в горизонтальной плоскости при холостых ходах уровень ускорений уменьшается незначительно и составляет $0,3 \div 0,4 \text{ м/с}^2$, а в процессе дробления и при сбросе нагрузки величина ускорений значительно меньше, чем при работе подшипников с зазорами и составляет $2 \div 2,5 \text{ м/с}^2$ (рис. 1 б).

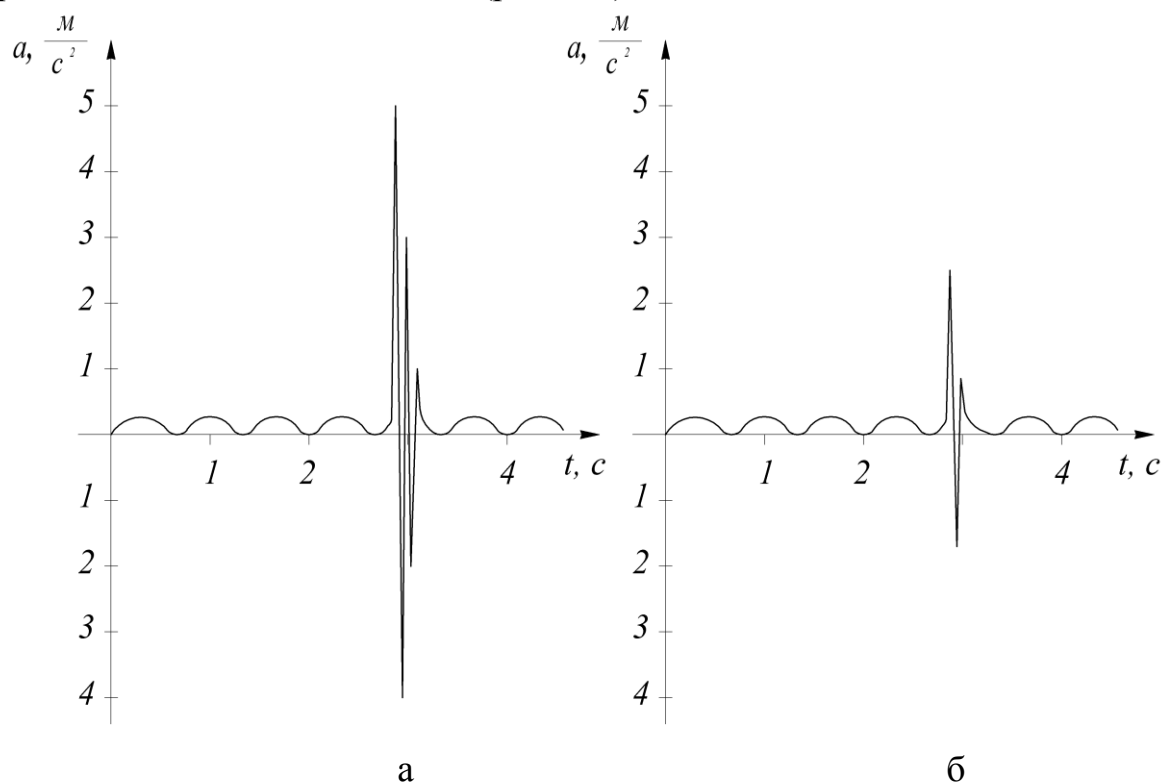


Рис. 1. Осциллограммы ускорений станины в горизонтальной плоскости:
а – при наличии зазоров; б – при выбранных зазорах

В вертикальной плоскости выборка зазоров практически не влияет на уровень ускорений (рис. 2 б). Очевидно, что чем меньше уровень ускорений, возникающих при работе щековой дробилки, тем меньше уровень вибрации машины.

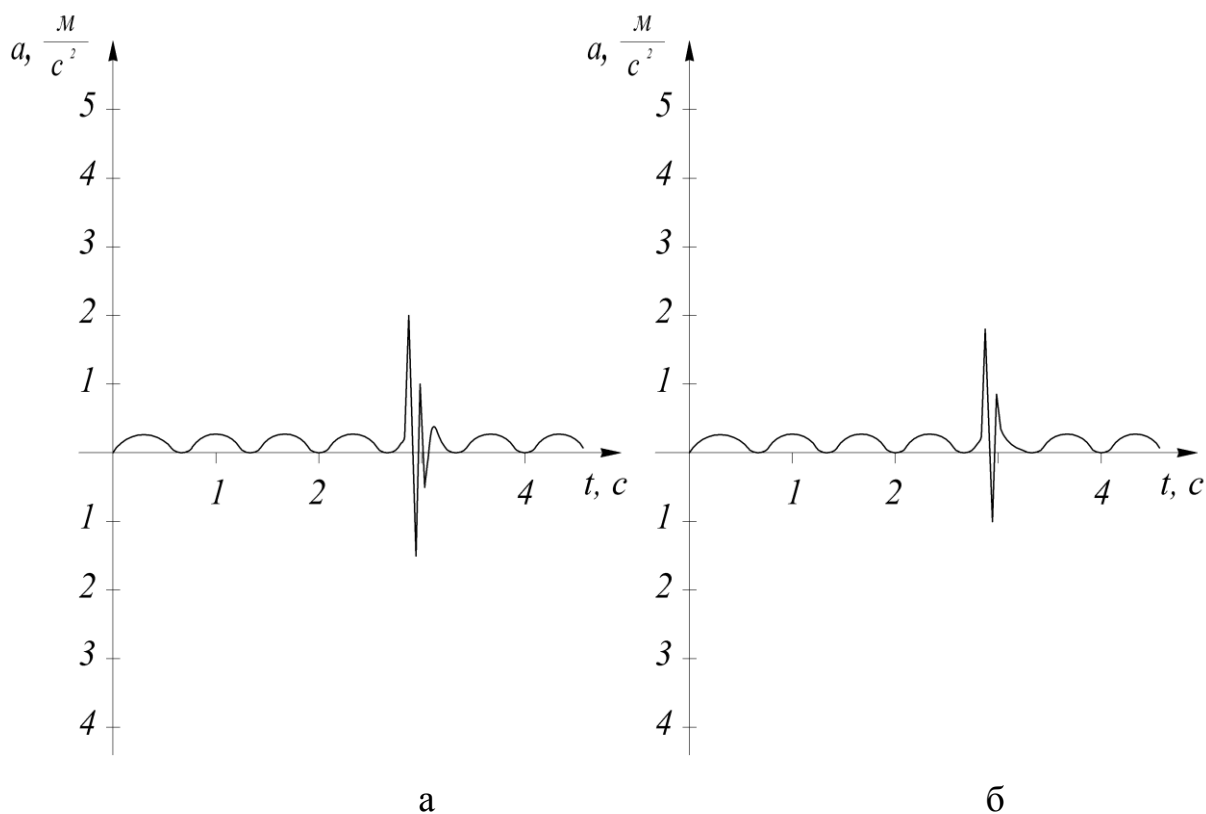


Рис. 2. Осциллограммы ускорений станины в вертикальной плоскости: а – при наличии зазоров; б – при выбранных зазорах

Следует отметить, что затухание значений ускорений при наличии зазоров в подшипниках происходит за $3 \div 4$ периода колебаний, в то время как при использовании устройств для выборки зазоров затухание происходит практически сразу.

В связи с изложенным выше можно сделать вывод, что устройства для выборки зазоров в подшипниках скольжения при работе щековой дробилки снижают уровень вибрации за счет устранения зазоров и, таким образом, повышают надежность работы дробилки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1980. – 343 с.
2. Пат. 174625 РФ. Щековая дробилка. / Никитин А.Г., Чайников К.А., Абрамов А.В. // Открытия. Изобретения. 2017. № 30.

**ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ
И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 621. 762

Т.И. Алексеева¹, Г.В. Галевский¹, В.В. Руднева¹, С.Г. Галевский²

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА ЦИРКОНИЯ

Разработан на основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе.

Based on the interpretation of the results of theoretical and experimental studies, a continuous technological process for the production of zirconium carbide in a plasma-metallurgical reactor was developed.

Введение

Одной из важнейших задач современного материаловедения является получение материалов для работы в экстремальных условиях – при высоких температурах и напряжениях, под воздействием агрессивных сред и т.п. В решении этих задач существенная роль принадлежит использованию соединений тугоплавких металлов с бором, углеродом, азотом, кремнием – боридов, карбидов, нитридов и силицидов, которые, наряду с высокой твердостью и тугоплавкостью, обладают жаростойкостью и жаропрочностью, специфическими физическими и химическими свойствами. Среди карбидов тугоплавких металлов высокими эксплуатационными свойствами обладает карбид циркония, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач современного материаловедения. Быстротечный синтез в условиях турбулентного химически активного плазменного потока (т.н. плазмосинтез) в непрерывном режиме обеспечивает получение карбида циркония в нанодисперсном состоянии.

Проведены экспериментальные исследования процессов карбидообразования, протекающих в азотно-водородном высокотемпературном потоке при плазменной переработке, содержащих диоксид циркония – природный газ (метан):

1. На основании полученных результатов выбран в качестве сырья для получения карбида циркония порошок диоксида циркония марки ЦрО ГОСТ 21907-76, природный газ (метан), технический азот ГОСТ 9293-84. Установлено, что продуктом карбидообразования является карбид циркония ZrC.

2. Получены для исследуемого технологического варианта уравнения, описывающие зависимости содержания в продуктах карбида циркония, свободного углерода (в %) от основных технологических факторов:

$$[\text{ZrC}] = -109,72 + 0,0371 T_0 + 0,0034 T_3 - 0,0687 \{\text{CH}_4\},$$

$$[\text{ZrO}_2] = 174,44 - 0,02995 T_0 - 0,00236 T_3,$$

$$[\text{C}_{\text{своб}}] = -101,33 + 0,015 T_0 + 0,0079 T_3 + 1,2487 \{\text{CH}_4\} - 0,00019 T_0 \{\text{CH}_4\} - 0,00008 T_3 \{\text{CH}_4\},$$

$$[\text{N}] = -7,092 + 0,0013 T_0 + 0,00064 T_3,$$

(в уравнениях T_0 – начальная температура плазменного потока (5000 – 5400 К); T_3 – температура закалки (2000 – 2800 К); $\{\text{CH}_4\}$ – количество восстановителя (100 – 130 % от стехиометрически необходимого для получения ZrC).

3. Определены особенности и предложен вероятный механизм образования карбида циркония по схеме «пар – кристалл», предположительно при взаимодействии паров циркония и циана; составлена обобщенная гипотетическая схема карбидообразования, содержащая 2 зоны: высокотемпературную зону (6000 – 3500 К) формирования реакционной смеси, в которой происходят процессы испарения порошка циркония, и более низкотемпературную (3500 – 2000 К), в которой происходит конденсация паров циркония, значительное снижение концентрации углеводородов и образование карбида циркония.

4. Проведена комплексная физико-химическая аттестация карбида циркония. Установлено:

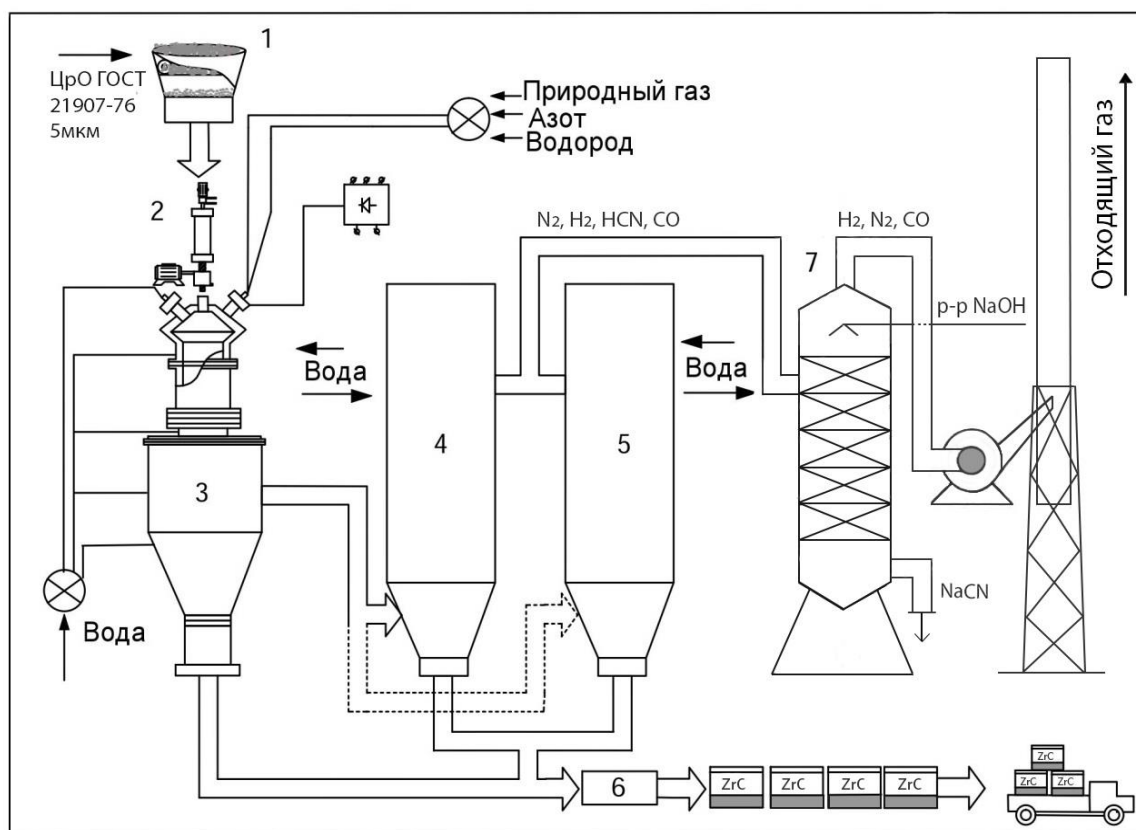
- содержание карбида циркония в полученных продуктах, не контактировавших с воздухом, составляет 94,2 – 93,61 %, сопутствующих примесей, %: диоксида циркония 4,56 – 5,27 %, углерода свободного 1,32 – 1,12 %, азота 1,87 – 2,12 %;

- карбид циркония получен в нанокристаллическом состоянии, представлен ограниченными частицами кубической формы размерного диапазона от 10 до 40 нм.

На основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований разработан непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе.

Для реализации плазмосинтеза карбида циркония предлагается аппаратно-технологическая схема, представленная на рисунке 1 [1-3], включающая следующие операции и стадии: 1) входной контроль сырья и технологических газов; 2) подготовка порошка ZrO_2 : хранение, дозирование; загрузка в порошок дозатор; 3) плазмообработка; 4) охлаждение и частичное осаждение в закалочной-осадительной камере отходящего от реактора газового потока до рабочей температуры рукавных металлотканевых фильтров (600-800 К), отделение от него карбида циркония в фильтрах; 5) аттестация нанокристаллического ZrC по химическому составу и дисперсности, упаковка в запаянные двойные полиэтиленовые пакеты и отправка на склад готовой продукции.

Основные показатели качества и технико-экономические показатели получения карбида циркония для условий производства заказных партий представлены в таблице. Производственная себестоимость и отпускная цена рассчитывались в соответствии с рекомендациями [4]. Требуемый объем инвестиций для организации производства карбида циркония в составе 3-х плазмометаллургических реакторов общей мощности 450 кВт составляет 123,7 млн. руб. При этом прогнозируется достижение годовой производительности 54 т/год при отпускной цене 35142 руб./кг (576\$/кг). Себестоимость карбида циркония составляет 20539 руб./кг и имеет следующую структуру, %: сырье, материалы, электроэнергия 86; заработная плата и отчисления на социальные нужды 3; содержание и эксплуатация оборудования 4; расходы общецеховые, общехозяйственные, коммерческие 7. Срок окупаемости капитальных вложений составляет четыре месяца.



1 – протирка порошкообразного сырья; 2 – загрузка порошка ZrO_2 в дозатор; 3 – плазмообработка; 4-5– охлаждение отходящего пылегазового потока и отделение целевого продукта; 6 – сбор, контроль качества и упаковка; 7 – абсорбционный вариант обезвреживания отходящих газов

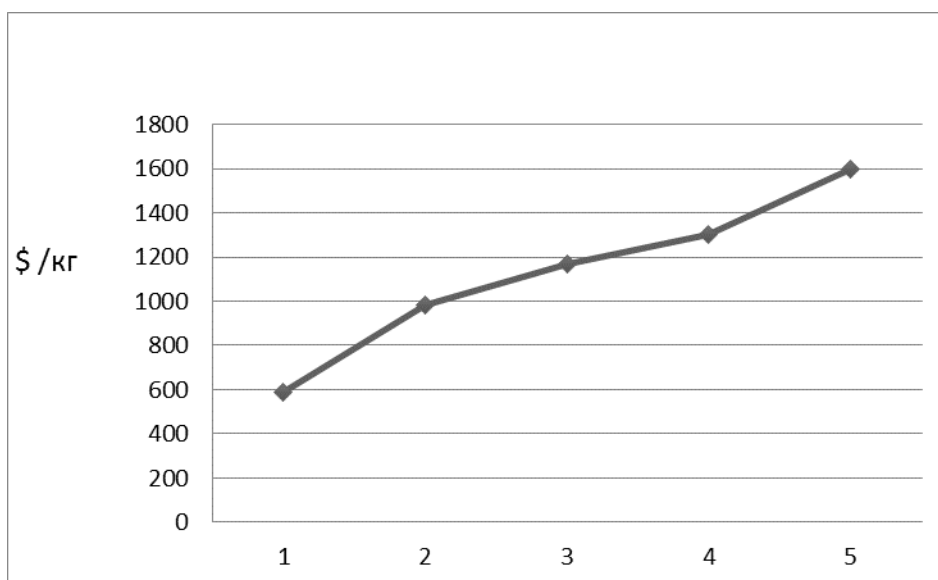
Рисунок 1 – Аппаратурно-технологическая схема получения карбида циркония

Таблица – Основные показатели качества и технико-экономические показатели получения карбида циркония

Показатели	Значение
Производственная площадь, м ²	300
Установленная мощность, кВт	450
Количество реакторов, шт	3
Коэффициент использования оборудования, доли ед.	0,7
График работы, количество смен	2 смены x 12 час.
Инвестиции в основные и оборотные фонды, млн. руб.	123,7
Удельный расход газа теплоносителя (азота), т/т	5,73
Удельный расход природного газа (метана), т/т	0,15
Удельный расход цирконийсодержащего сырья, т/т	0,99
Удельный расход электроэнергии, тыс. кВт·ч/т	42,81
Содержание основной фазы (ZrC), %	92
Годовая потребность в сырье, т/год	
- диоксид циркония ЦрО ГОСТ 21907-76	26,3
- природный газ (метан)	4,9
Годовая производительность, т/год	54,5
Плановая себестоимость, руб/кг	20539
Цена (на 01.05.2018), руб/кг	35142
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,3

Сопоставление цены с ценовыми предложениями для нанокристаллического карбида циркония зарубежных компаний, представленное на рисунке 2, свидетельствуют о конкурентоспособности разработанного технологического процесса.

Разработан на основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе, включающий подготовку сырья, плазмогенерацию, плазмообработку цирконий-углеродсодержащего сырья, образование ZrC, его принудительное охлаждение и выделение из потока отходящих от реактора технологических газов. Технологический процесс обеспечивает в условиях работы с коэффициентом использования оборудования 0,7 производительность 18,16 т/год на один реактор при отпускной цене 35 142 руб./кг.



- 1 – Предлагаемая технология; 2 – «American Elements» (Лос-Анджелес);
 3 – «PlasmaChem GmbH» (Берлин); 4 – «NEOMAT Co» (Саласпилс);
 5 – «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.» (Хьюстон)

Рисунок 2 – Мировой уровень цен на нанокристаллический карбид циркония

Заключение

Сформулированы на основе сформированных представлений об особенностях физико-химических свойств карбида циркония в нанокристаллическом состоянии технические прогнозы и предложения по применению его в составе функциональных защитных покрытий. В условиях ООО «Полимет» установлена целесообразность применения карбида циркония в составе коррозионностойких защитных покрытий на основе никеля взамен используемых наноалмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубчак Р.В. Совершенствование производства алюминия за рубежом / Р.В. Дубчак // Цв. металлургия – 1994 - №10 – С. 28-33.
2. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис – М.: Флинта: Наука, 2004 – 280 с.
3. Технология наноматериалов : практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т, сост. ; Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – 29 с., ил.
4. Керимов В.Э. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отдельных отраслях производственной сферы / В.Э. Керимов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство-торговая корпорация «Дашков и К», 2014. – 384 с.

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

С.С. Мишуров, В.Б. Деев, Н.А. Белов, А.А. Соколов

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛИТЕЙНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛЕГИРОВАНИЯ Al-Zn-Mg-Fe-Ni

В данной статье описана принципиальная возможность создания высокопрочного литейного сплава на основе перспективной системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni.

This article describes the principal possibility of creating a high-strength casting alloy based on a promising alloying system Al-Zn-Mg-Fe-Ni.

Высокопрочные материалы занимают особое место, поскольку они используются в ответственных изделиях, в частности в авиации и ракетостроении. Наиболее высокими прочностными свойствами среди промышленных алюминиевых сплавов обладают деформируемые сплавы на базе системы Al-Zn-Mg-Cu. Специфика составов сплавов этой системы состоит в том, что для достижения максимальной прочности они содержат повышенные концентрации цинка, магния и меди. Потолок легирования практически достигнут в деформируемом сплаве В96ц-3 и зарубежных аналогах, например АА7068. Литейные сплавы на основе данной системы, например ВАЛ12, не нашли широкого применения в промышленности из-за строгих ограничений в содержании железа и кремния, которые не позволяют использовать вторичное сырье для производства изделий из них, и невозможностью использования аргоно-дуговой сварки из-за склонности к образованию горячих трещин при кристаллизации.

Известные высокопрочные литейные алюминиевые сплавы представлены в основном сплавами на основе системы легирования Al-Cu-Mn (марки АМ4,5Кд и АМ5 по ГОСТ 1583-93, АА201.0 (Aluminum Association)) [1]. Известны также высокопрочные сплавы на основе системы легирования Al-Zn-Mg-Mn (например, сплав АЛ24П с повышенным содержанием магния) [2]. Сплавы системы легирования Al-Cu-Mn характеризуются низкими технологическими свойствами (прежде всего горячеломкостью) и сравнительно невысокой устойчивостью к коррозии, сплавы системы Al-Zn-Mg-Mn несколько уступают первым в механических свойствах и также обладают невысокими технологическими свойствами. Для сплавов обеих систем легирования характерны ограничения по максимальному содержанию железа (0,3 %) и кремния (0,3 %).

В результате проведенных под руководством профессора Н.А. Белова работ был разработан ряд новых сплавов на базе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni, характеризующихся более высокими технологическими и механическими свойствами, чем стандартные сплавы за счет образования эвтектики

(Al)+Al₉FeNi, которая по морфологическим характеристикам близка (Al)+Al₃Ni, но поскольку она содержит железо, то этот элемент автоматически становится легирующей добавкой, а не примесью [3]. В ходе работ по соглашению от 22 июля 2014 года № 14.578.21.0039 о предоставлении субсидии Минобрнауки РФ был создан литейный сплав ЭЛАС (АЦ6Н0,5Ж), химический состав которого представлен в таблице 1, превосходящий известные аналоги как по прочностным характеристикам, устойчивости к коррозии, так и по технологическим свойствам (таблица 2) [4].

Таблица 1 – Химический состав высокопрочного литейного сплава ЭЛАС (АЦ6Н0,5Ж) на базе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni

Массовая доля элементов, %									
Основные компоненты						Примеси (не более)			
Al	Zn	Mg	Ni	Fe	Cu	Si	Mn	Прочие элементы	
								Каждый	Сумма
Основа	6,3-6,9	2,4-2,8	0,6-0,8	0,5-0,7	0,1-0,25	0,2	0,05	0,02	0,1

Таблица 2 – Характеристики разработанного ЭЛАС, предназначенного для производства фасонных отливок и его аналогов

Характеристика	Единица измерения	Сплав				
		ЭЛАС	АМ4,5Кд (ГОСТ 1583-93)	АМ5 (ГОСТ 1583-93)	АЛ24П [5]	201.0 (Aluminum Association)
Временное сопротивление при T=20 °С	МПа	510	490	333	460	485
Предел текучести при T=20 °С	МПа	480	390	-	372	435
Относительное удлинение при T=20 °С	%	5,5	4,0	4,0	6,0	7,0
Температура солидуса	°С	567	548	548	-	571

Разработанный сплав предусматривает термическую обработку по режиму Т6, включающей двухступенчатый нагрев, закалку в воде и искусственное старение. При этом суммарная продолжительность термообработки отливок сплава ЭЛАС не превышает 15 ч, в то время как для сплавов системы Al-Cu-Mn она составляет не менее 35 ч [6].

В результате сравнения литейных свойств разработанного сплава со свойствами сплава АМ4,5Кд установлено, что разработанный сплав превосходит сплав АМ4,5Кд по жидкотекучести и формозаполняемости (по ком-

плексной пробе Белова-Гусевой), и обладает меньшей склонностью к горячей ломкости (по карандашной и кольцевой пробам). Экспериментальные образцы отливок из сплава ЭЛАС, полученные кристаллизацией под давлением (ЛКД), представлены на рисунке 1.



а



б

Рисунок 1 – Отливки «Опора» (а) и «Фланец» (б), полученные из сплава ЭЛАС (АЦ6Н0,5Ж) методом ЛКД

Изучение тонкой структуры образцов ЭЛАС, представленной на рисунке 2, после проведения термической обработки по режиму Т6, показывает наличие дисперсных частиц фаз-упрочнителей, при этом зернограничные цепочки выделений не обнаружены. Это объясняется тем, что межфазные границы (Al)/Al₉FeNi являются, наряду с высокоугловыми границами, эффективными местами стока вакансий. Благодаря равномерному распределению фазы Al₉FeNi более равномерно и полно протекает распад алюминиевого твердого раствора, в результате чего происходит равномерное распределение фаз-упрочнителей по объему слитка, а грубые зернограничные выделения, приводящие к охрупчиванию сплава, отсутствуют.

Выводы: Сплав ЭЛАС показал хорошее сочетание технологичности и механических свойств и при получении деформированных полуфабрикатов (плит, листов, прутков). Поэтому он был рекомендован к включению в новую версия ГОСТ 4784 («Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые») под маркой AZ6NF. Поскольку ГОСТ 1583-93 [1] сильно устарел и нуждается в коренном пересмотре, то есть основания рассчитывать, что высокопрочный сплав ЭЛАС займет свое место и среди марочных литейных сплавов.

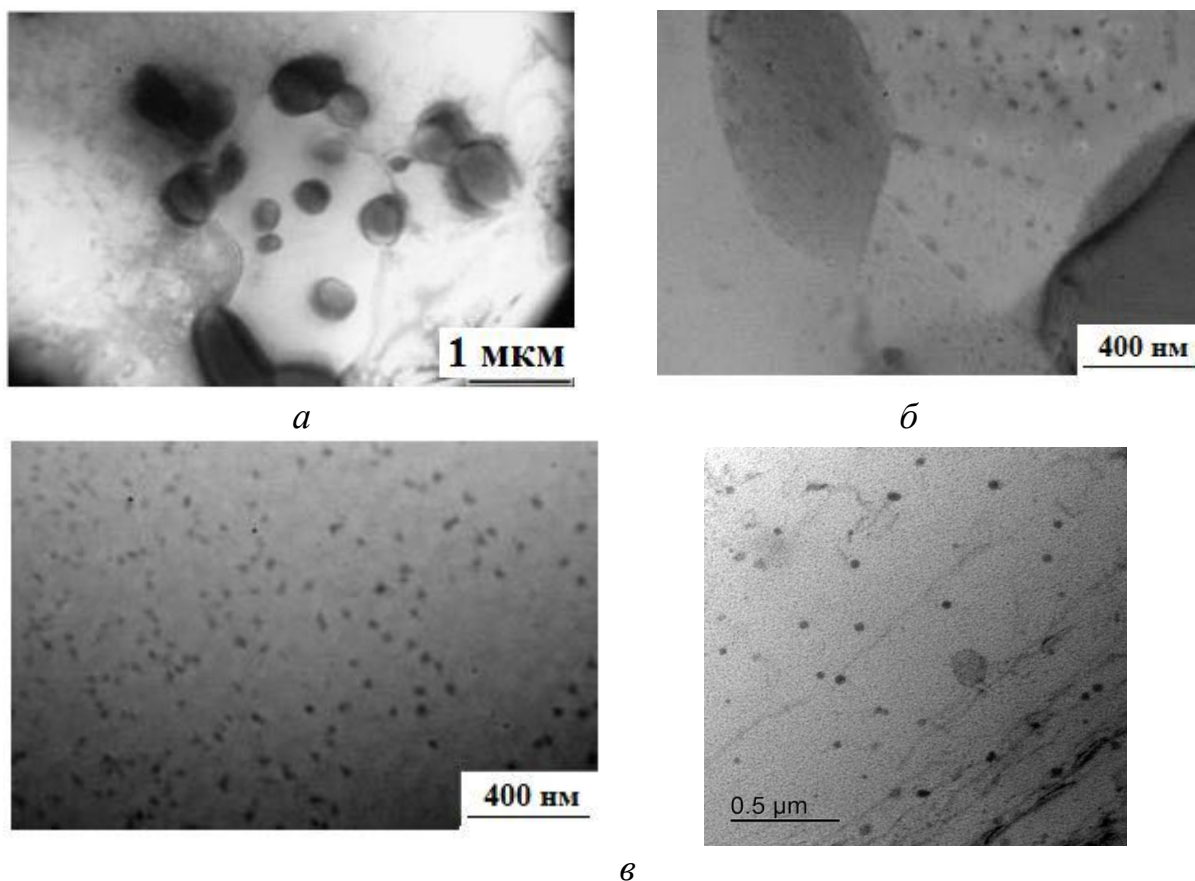


Рисунок 2 – Тонкая структура в отливках сплава ЭЛАС после термической обработки Т6: *а* – распределение частиц Al_9NiFe ; *б* – распределение частиц Al_9NiFe и частиц фаз-упрочнителей; *в* – распределение частиц фаз-упрочнителей в объеме зерна

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. - М.: Издательство стандартов. 2004 г.
2. Шеметев Г.Ф. Алюминиевые сплавы: составы, свойства, применение: СПб: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2012. – 155 с.
3. Белов Н.А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов- М.: Издательский Дом МИСиС, 2010. – 511 с.
4. Белов Н.А., Алабин А.Н., Акопян Т.К., Мишуров С.С. Способ получения отливок из высокопрочного сплава на основе алюминия // Пат. РФ № 2621499. Опубл.06.06.2017. Бюл.17.
5. Абрамов А.А., Тихомиров М.Д. Технологии получения качественных отливок из высокопрочных литейных алюминиевых сплавов / Литейное производство. 2007. № 5. С. 29–34.
6. Aluminum 201.0-T6 Casting Alloy. [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cb43b5d9252f45f29fd488ff9ad9bdae&ckck=1>.

С.С. Мишуров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg-Ni-Fe

В статье представлено исследование влияния скорости охлаждения на структуру и свойства высокопрочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Ni-Fe с целью оценки возможности изготовления из них фасонных отливок на серийном оборудовании.

This article describes the study of the influence of the cooling rate on the structure and properties of high-strength alloys of the Al-Zn-Mg-Ni-Fe system in order to assess the possibility of manufacturing shaped castings from it on serial equipment.

Известные высокопрочные литейные алюминиевые сплавы представлены в основном сплавами на основе системы легирования Al-Cu-Mn (марок АМ4,5Кд и АМ5 по ГОСТ 1583-93, AA201.0 (Aluminum Association)) [1]. Известны также высокопрочные сплавы на основе системы легирования Al-Zn-Mg-Mn (например сплав АЛ24П с повышенным содержанием магния) [2]. Сплавы системы легирования Al-Cu-Mn характеризуются низкими технологическими свойствами (прежде всего горячеломкостью) и сравнительно невысокой устойчивостью к коррозии, сплавы системы Al-Zn-Mg-Mn несколько уступают первым в механических свойствах и также обладают невысокими технологическими свойствами. Для сплавов обеих систем легирования характерны ограничения по максимальному содержанию железа (0,3%) и кремния (0,3%).

В ряде работ [3-5], проведенных под руководством профессора Н.А. Белова, работ был разработан ряд новых сплавов на базе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni. В указанных исследованиях показана потенциальная возможность использования сплавов данной системы легирования для производства фасонных отливок, однако в литературных данных нет сведений о литейных свойствах перспективных сплавов данной системы.

Для определения литейных свойств сплавов используются технологические пробы на жидкотекучесть [6], горячеломкость [7], формозаполняемость [8], свободную и затрудненную усадку [9].

В данной работе проводилось экспериментальное изучение литейных свойств перспективных алюминиевых сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni и их сравнение с наиболее высокопрочным из стандартных сплавов

марки АМ4,5Кд по ГОСТ 1583-93. Исходя из представленных на рисунке 1 политермических разрезов, фазовый состав перспективных сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni должен состоять из твердого раствора на основе алюминия (Al), и двойной эвтектики (Al)+Al₉FeNi. Однако, как показано на рисунке 2, при неравновесной кристаллизации сплавов 1 и 2, после кристаллизации двойной эвтектики L → (Al)+Al₉FeNi следует еще одно эвтектическое превращение L → (Al)+Al₉FeNi+T.

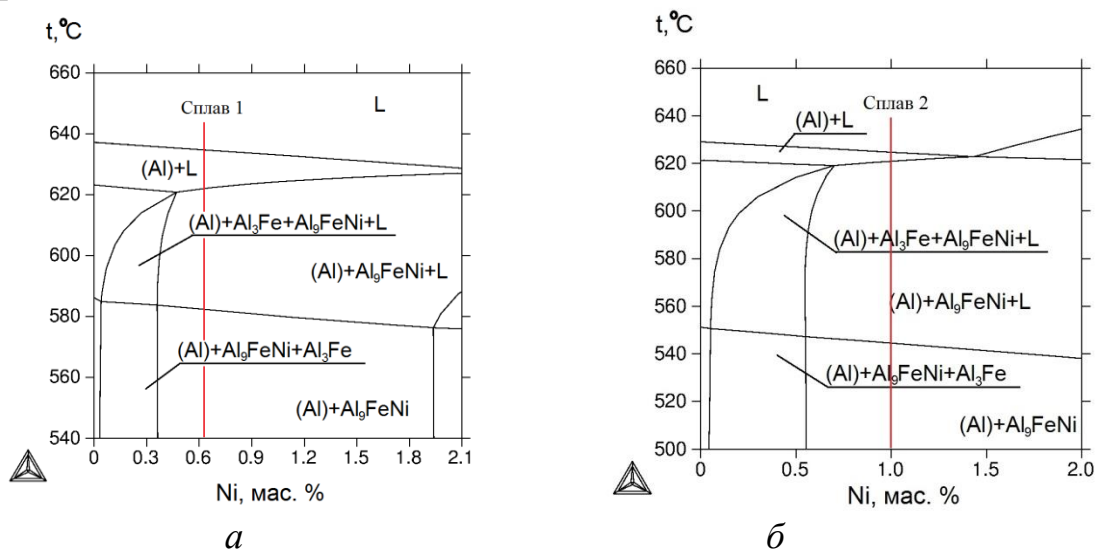


Рисунок 1 – Рассчитанные политермические разрезы системы Al-Zn-Mg-Cu-Ni-Fe: *a* – при 6,6 % Zn, 2,6 % Mg, 0,5 % Fe, 0,18 % Cu; *б* – при 7 % Zn, 3 % Mg, 0,6 % Fe, 0,18 % Cu

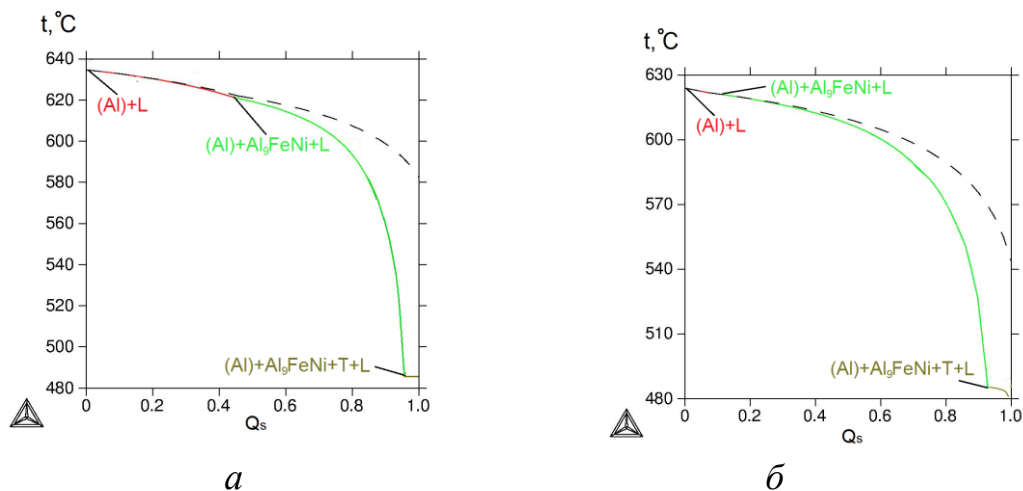


Рисунок 2 – Рассчитанные зависимости мольной доли твердых фаз (Q_s) от температуры в интервале неравновесной и равновесной кристаллизации: *a* – для сплава Al-6,6%Zn-2,6%Mg-0,5%Fe-0,18%Cu; *б* – для сплава Al-7%Zn-3%Mg-0,6%Fe-0,18%Cu

Неравновесная кристаллизация сплавов заканчивается в трехфазной области (Al)+Al₉FeNi+T при 480 °С, поэтому для нагрева под закалку сплавов из рассчитанной области необходимо использовать двухступенчатый нагрев под закалку, в данном случае по режиму «Нагрев до температуры 450±5 °С, вы-

держка в течение 2 часов, нагрев до температуры 515 ± 5 °С, выдержка в течение 4 часов».

Для определения литейных свойств использовались технологические пробы:

- комплексная проба Белова-Гусевой для определения жидкотекучести и формозаполняемости, представленная на рисунке 3;
- карандашная проба для определения горячеломкости, представленная на рисунке 4.

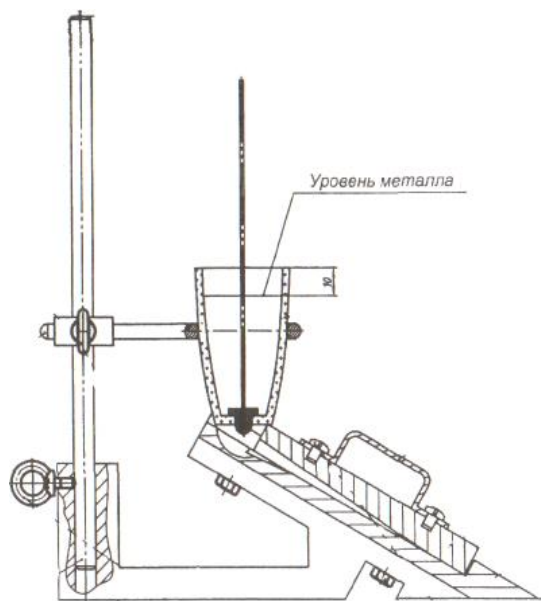


Рисунок 3 – Схема комплексной пробы Белова-Гусевой для определения жидкотекучести и формозаполняемости

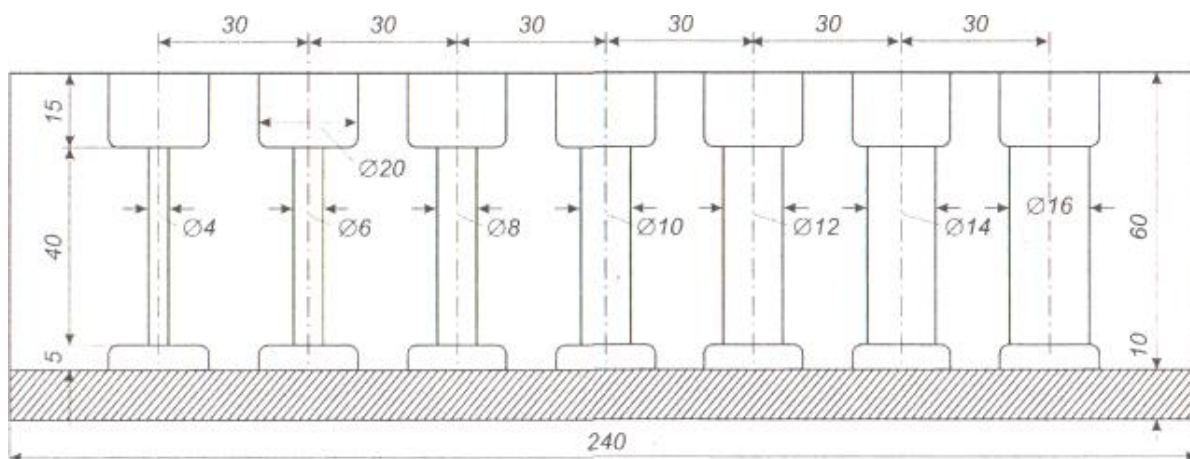


Рисунок 4 – Схема карандашной пробы для определения горячеломкости

В качестве критерия для оценки формозаполняемости и жидкотекучести по комплексной пробе Белова-Гусевой используется площадь прилегающей к нижней части формы поверхности образца, полученного заливкой в клиновидную форму (чем больше площадь, тем выше технологичность сплава).

В качестве критерия для оценки горячеломкости по карандашной пробе используется минимальный диаметр стержня, полученного заливкой в форму, не содержащего трещин, видимых невооруженным глазом.

Приведенные в таблицах 1 и 2 результаты определения жидкотекучести и формозаполняемости перспективных алюминиевых сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni и сплава АМ4,5Кд свидетельствуют о превосходстве разработанных сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni над сплавом АМ4,5Кд по показателям «жидкотекучесть», «формозаполняемость» и «горячеломкость».

Как показано на рисунках 5 и 6, в литом состоянии микроструктура исследованных сплавов системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni содержит твердый раствор на основе алюминия (Al), фазу Al₉FeNi эвтектического происхождения, которая выделяется по границам дендритных ячеек (Al), и фазу T(Al₂Mg₃Zn₃) из вырожденной неравновесной эвтектики, которая так же выделяется по границам дендритных ячеек первичных кристаллов (Al).

Таблица 1 – Результаты определения жидкотекучести и формозаполняемости перспективных сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni и сплава АМ4,5Кд

Сплав	Al- 6,6% Zn-2,6%Mg- 0,7%Ni-0,5%Fe- 0,18%Cu		Al-7%Zn-3%Mg-1%Ni- 0,6%Fe-0,18%Cu		АМ4,5Кд	
	№ образца	Площадь поверхности, см ²	№ образца	Площадь поверхности, см ²	№ образца	Площадь поверхности, см ²
Измеренные значения	1	136	1	137	1	132
	2	137	2	138	2	134
	3	134	3	132	3	132
	4	138	4	134	4	121
	5	136	5	138	5	134
	6	138	6	141	6	137
	7	140	7	138	7	138
	8	137	8	138	8	132
	9	143	9	137	9	132
	10	135	10	138	10	134
Среднее значение		137,4	-	137,1	-	132,6

Таблица 2 – Результаты определения показателей горячеломкости для перспективных сплавов системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni и сплава АМ4,5Кд (ВАЛ 10)

Сплав	Al- 6,6% Zn-2,6% Mg-0,7% Ni-0,5% Fe-0,18% Cu		Al-7% Zn-3% Mg-1% Ni-0,6% Fe-0,18% Cu		АМ4,5Кд	
	№ серии образцов	Показатель горячеломкости, мм	№ серии образцов	Показатель горячеломкости, мм	№ серии образцов	Показатель горячеломкости, мм
Измеренные значения	1	12	1	12	1	14
	2	14	2	14	2	16
	3	14	3	12	3	16
	4	12	4	14	4	16
	5	12	5	12	5	14
	6	10	6	10	6	16
	7	14	7	12	7	16
	8	12	8	14	8	14
	9	14	9	12	9	16
	10	12	10	12	10	16
Максимальное значение	14		-	14	-	16
Минимальное значение	10		-	10	-	14

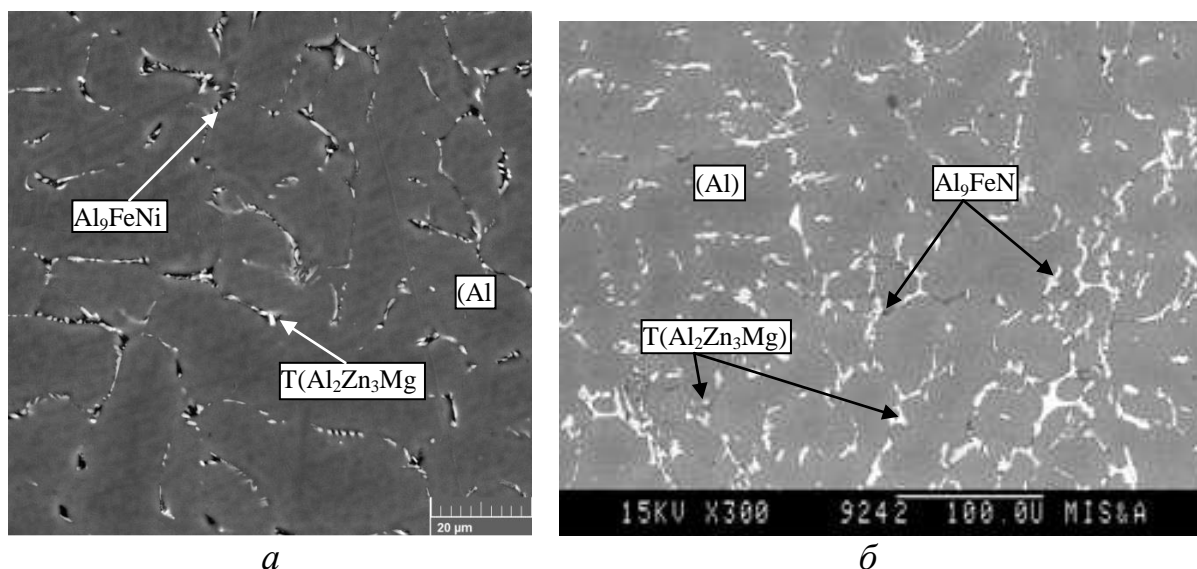
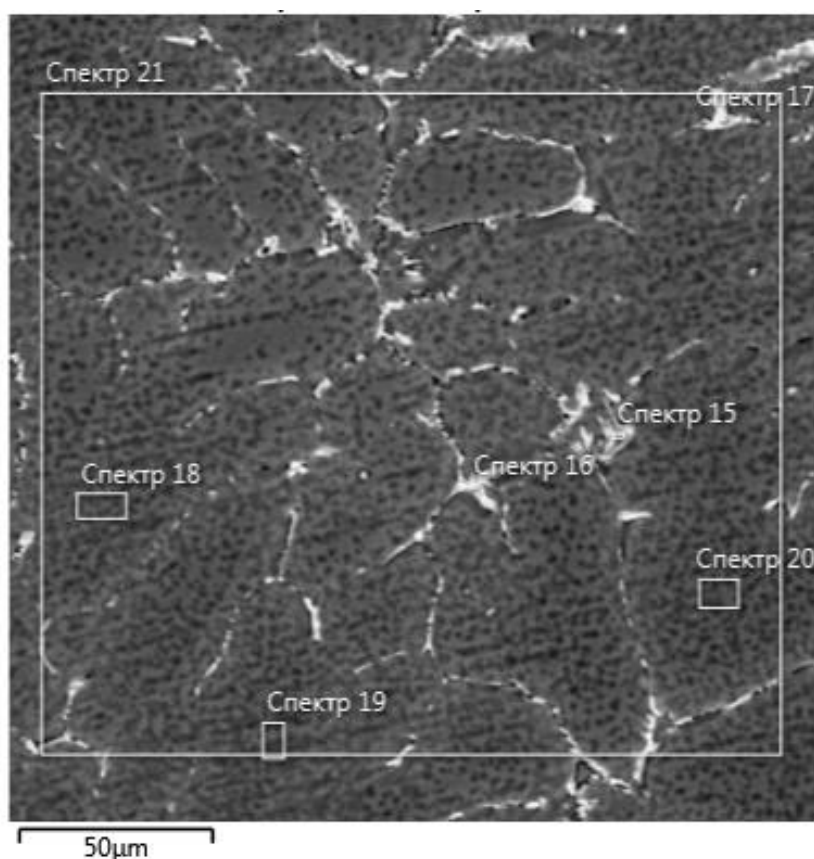


Рисунок 5 – микроструктура исследованных сплавов системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni:

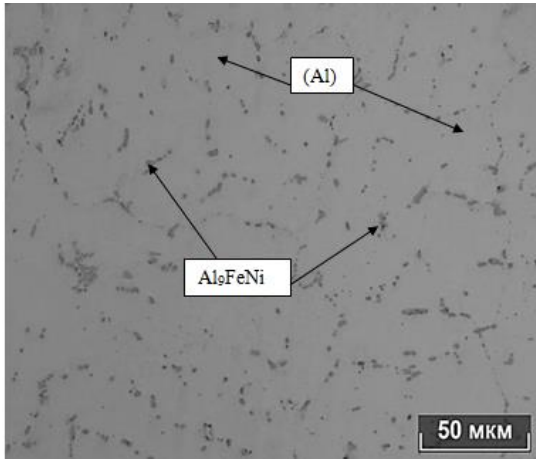
a – Al-6,6% Zn-2,6% Mg-0,7% Ni-0,5% Fe-0,18% Cu;
б – Al-7% Zn-3% Mg-1% Ni-0,6% Fe-0,18% Cu



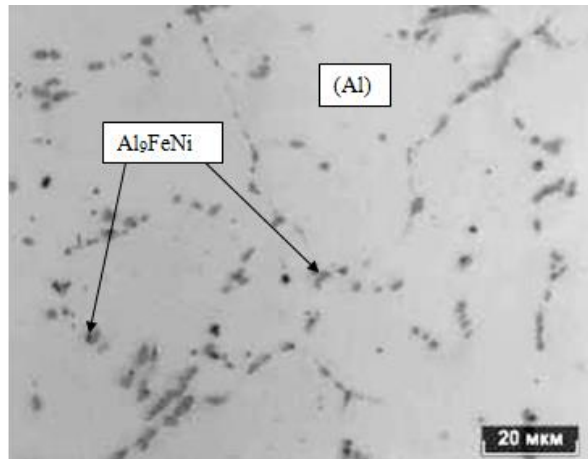
Название спектра	Mg	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Сумма	Фаза
Спектр 15	2,63	73,95	7,27	7,65	0,45	8,05	100,00	Al_9FeNi
Спектр 16	5,73	66,75	3,50	4,86	1,94	17,22	100,00	$T(Al_2Zn_3Mg)$
Спектр 17	3,28	63,52	6,23	8,26	4,10	14,62	100,00	$T(Al_2Zn_3Mg)$
Спектр 18	1,23	94,75	0,09	0,07	0,02	3,85	100,00	(Al)
Спектр 19	0,92	95,88	0,00	0,17	0,00	3,03	100,00	(Al)
Спектр 20	0,86	95,93	0,00	0,00	0,00	3,21	100,00	(Al)
Спектр 21	1,90	91,31	0,48	0,52	0,21	5,59	100,00	(Al)

Рисунок 6 – Микроструктура сплава №1, с областями, отмеченными надписями «спектр», по которым производилась идентификация фаз

На рисунках 7–9 показано, что после проведения двухступенчатого гомогенизационного отжига образцов сплава №1 (Al–6,6% Zn–2,6% Mg–0,7% Ni–0,5 % Fe–0,18% Cu) по режиму: «нагрев до температуры 455 ± 5 °С, выдержка в течение 2 часов, нагрев до температуры 560 ± 5 °С, выдержка в течение 4 часов, закалка в воду», происходит фрагментация и сфероидизация частиц фазы Al_9FeNi .



а

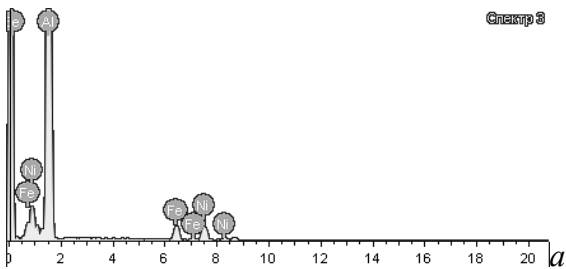


б

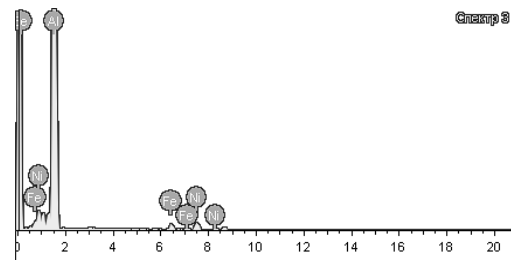
Рисунок 7 – Микроструктура исследованных сплавов системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni после термической обработки, проведенной по режиму «нагрев до температуры 455 ± 5 °С, выдержка в течение 2 часов, нагрев до температуры 560 ± 5 °С, выдержка в течение 4 часов, закалка в воду» (Т6):

а – сплав Al-6,6% Zn-2,6% Mg-0,7% Ni-0,5% Fe-0,18% Cu;

б – сплав Al-7% Zn-3% Mg-1% Ni-0,6% Fe-0,18% Cu



а

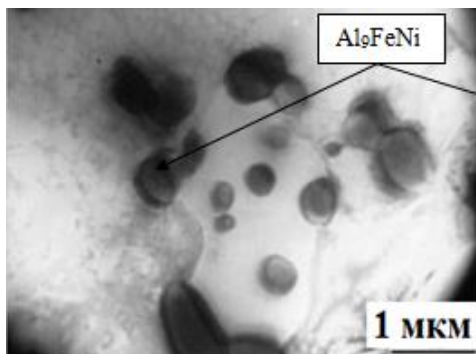


б

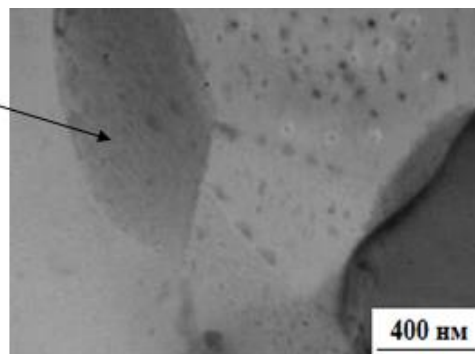
Рисунок 8 – Характеристический рентгеновский спектр от фазы Al_9FeNi :

а – сплав Al-6,6% Zn-2,6% Mg-0,7% Ni-0,5% Fe-0,18% Cu;

б – сплав Al-7% Zn-3% Mg-1% Ni-0,6% Fe-0,18% Cu



а



б

Рисунок 9 – Тонкая структура образцов сплава системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni после термической обработки по режиму «Т6»: а – распределение частиц Al_9NiFe ; б – распределение частиц Al_9NiFe и частиц фаз-упрочнителей

Исходя из представленных в таблице 3 результатов определения механических свойств перспективных сплава системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni после термической обработки по режиму «Т6» и свойств сплава АМ4,5Кд можно сделать вывод, что сплавы Al- 6,6% Zn-2,6%Mg-0,7%Ni-0,5%Fe-0,18%Cu и Al-7%Zn-3%Mg-1%Ni-0,6%Fe-0,18%Cu превосходят сплав АМ4,5Кд и по эксплуатационным характеристикам.

Таблица 3 – Результаты определения механических свойств перспективных сплава системы Al-Zn-Mg-Fe-Ni после термической обработки по режиму «Т6» и свойств сплава АМ4,5Кд

Наименование показателя	Ед. изм.	Сплав		
		Al- 6,6% Zn-2,6%Mg-0,7%Ni-0,5%Fe-0,18%Cu	Al-7%Zn-3%Mg-1%Ni-0,6%Fe-0,18%Cu	АМ4,5Кд
Временное сопротивление при T=20 °С	МПа	510	545	490
Предел текучести при T=20 °С	МПа	480	528	390
Относительное удлинение при T=20 °С	%	5,5	4,4	4,0

Выводы: В результате определения литейных и механических свойств установлено, что новые высокопрочные сплавы Al-6,6%Zn-2,6%Mg-0,7%Ni-0,5%Fe-0,18%Cu и Al-7%Zn-3%Mg-1%Ni-0,6%Fe-0,18%Cu системы Al-Zn-Mg-Ni-Fe превосходят наиболее прочный из стандартных сплавов марки АМ4,5Кд по ГОСТ 1583-93 как по технологическим, так и по механическим свойствам.

В результате исследования микроструктуры сплавов Al-6,6%Zn-2,6%Mg-0,7%Ni-0,5%Fe-0,18%Cu и Al-7%Zn-3%Mg-1%Ni-0,6%Fe-0,18%Cu в литом состоянии и после термической обработки установлено соответствие фактического фазового состава результатам моделирования в программе Thermo-Calc и отсутствие фаз неблагоприятной морфологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004 г.
2. Шеметев Г.Ф. Алюминиевые сплавы: составы, свойства, применение: СПб: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2012. – 155 с.
3. Belov N.A., Alabin A.N., Mishurov S.S. Influence of iron and silicon on the phase composition and structure of heat-resistant casting nicalines strengthened by nanoparticles // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2011. Volume 52, Issue 3. pp. 244–253.
4. Belov N.A., Alabin A.N. Use of Multicomponent Phase Diagrams for Designing High Strength Casting Aluminum Alloys // Materials Science Forum. 2014. Vol. 794–796, pp. 909–914.
5. Akopyan T.K., Padalko A.G., Belov N.A. Influence of Hot Isostatic Pressing on the Structure and Properties of an Innovative Low-Alloy High-Strength Aluminum Cast Alloy Based on the Al-Zn-Mg-Cu-Ni-Fe System // Russian Metallurgy (Metally). Volume 2015, [Issue 11](#), pp 937–942.
6. ГОСТ 16438-70. Формы песчаная и металлическая для получения проб жидкотекучести металлов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
7. Поздняков А.В. Расчет показателя горячеломкости и его использование при разработке новых литейных алюминиевых сплавов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МИСиС, 2013.
8. Санников А.В. Совершенствование технологии получения фасонных отливок из алюминиевого сплава АН2ЖМц на базе системы Al-Ni-Mn-Fe-Zrс целью повышения прочностных свойств при 300–350 °С. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МИСиС, 2014.
9. ГОСТ 16817-71 Формы песчаная и металлическая для определения линейной усадки цветных металлов и сплавов. Конструкция и размеры. Технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.

УДК 621.74

В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВО-КАЛЬЦИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ

В статье исследована жидкотекучесть сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики с использованием комплексной U-образной пробы. Показано, что эти сплавы превышают по своей жидкотекучести литейные силумины марок АК7ч и АК9ч.

The article investigates the fluidity of alloys based on aluminum-calcium eutectic using a complex U-shaped sample. It is shown that these alloys exceed in their fluidity the linear silumins of the grades АК7ch and АК9ch.

Под литейными свойствами сплавов понимаются технологические свойства, которые непосредственно влияют на получение качественных отливок с требуемым уровнем механических и эксплуатационных свойств. Одним из основных литейных свойств является жидкотекучесть. Жидкотекучесть, испытываемая по технологическим пробам, представляет известный интерес и употребляется для практического определения способности металла заполнять литейную форму и следовательно, получать литые изделия требуемого качества. Кроме того, жидкотекучесть сплава дает ценную технологическую информацию при идентичных условиях заполнения пробы и формы.

Особое значение имеет изучение жидкотекучести при использовании новых сплавов, которые пока имеют ограниченное применение.

В данной работе приведены результаты исследований жидкотекучести сплавов на основе системы Al-Ca (сплавы на основе алюминиево-кальциевой эвтектики).

Исследовали сплавы систем Al-Ca-Mn-Sc и Al-Ca-Fe-Sc (таблица). Сплавы получали путем сплавления чистых материалов и лигатур: алюминия А7 (ГОСТ 11069-2001), цинка Ц0А (ГОСТ 3640-94), магния Мг90 (ГОСТ 804-93), кальция металлического, лигатур Al-10%Fe, Al-10%Mn, Al-2%Sc. Для изучения жидкотекучести заливали расплавы в комплексную U-образную пробу (рисунок). Скорость охлаждения составляла около 10 К/с.

Так как сплавы на основе алюминиево-кальциевой эвтектики предусматриваются в качестве замены классических литейных силуминов, то также исследовали жидкотекучесть сплавов АК7ч и АК9ч, обработанных различными воздействиями при плавке (термовременной обработкой (ТВО), обработку аргоном, флюсами, хлористыми марганцем и цинком).



Рисунок – Комплексная U-образную проба

Таблица – Жидкотекучесть сплавов на основе системы Al-Ca, сплавов АК9ч и АК7ч

Сплав (% - везде масс.)	№ варианта	Способ обработки	Жидкотекучесть, мм
Al-7%Ca-1%Mn-0.3%Sc	1	исходный	400
Al-6%Ca-0.7%Fe-0.3%Sc	2	исходный	290
АК9ч	3	исходный	370
АК7ч	4	исходный	295
	5	Обработка флюсом: NaCl - 60 %, KCl - 15 %, NaF -25 %	310
	6	Продувка аргоном (8-10 мин при 0,3 МПа)	350
	7	ТВО (перегрев до 1100-1120 °С и выдержка 15-20 мин), фильтрация через стеклоткань	360
	8	ТВО и продувка аргоном (8-10 мин при 0,3 МПа)	375
	9	ТВО и 0,2 % хлористого марганца	385
	10	ТВО и 0,2 % хлористого цинка	410
*В вариантах 8-10 программа ТВО включала нагрев расплава до температуры 970-980 °С, выдержка при этой температуре 13-15 мин			

В таблице приведены результаты исследования жидкотекучести сплавов на основе системы Al-Ca и сплавов АК7ч и АК9ч.

Согласно полученным данным, сплавы Al-7%Ca-1%Mn-0.3%Sc и Al-6%Ca-0.7%Fe-0.3%Sc превышают по своей жидкотекучести литейные силумины марок АК7ч и АК9ч. Даже обработка расплавов АК7ч ТВО, аргоном и флюсами не позволила значительно превысить уровень жидкотекучести сплавов системы Al-Ca.

Соответственно, сплавы на основе системы Al-Ca могут конкурировать с литейными силуминами по технологическому свойству - жидкотекучести, что предопределяет получение литья требуемого качества.

Выводы: Исследование жидкотекучести сплавов Al-7%Ca-1%Mn-0.3%Sc и Al-6%Ca-0.7%Fe-0.3%Sc и сравнение с жидкотекучестью силуминов марок АК7ч и АК9ч показало, что сплавы на основе алюминиево-кальциевой эвтектики не уступают классическим сплавам и могут быть использованы при получении отливок различной степени сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.А. Белов, Е.А. Наумова, Т.К. Акопян. Эвтектические сплавы на основе алюминия: новые системы легирования. – М.: Руда и металлы. 2016. – 258 с.

2. Belov N. A., Naumova E.A, Bazlova T.A., Doroshenko V.V. Phase composition and hardening of castable Al – Ca – Ni – Sc alloys containing 0.3% Sc // Metal Science and Heat Treatment. 2017. Vol.59. No. 2. pp. 12 – 17.

В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШИХТЫ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВО-КАЛЬЦИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ

В статье показано, что при получении сплавов системы Al-Ca возможно использование шихты с повышенным содержанием железа. Выявлено, что железо полностью входит в состав эвтектики в виде соединения $\text{Al}_{10}\text{CaFe}_2$.

The article shows that when producing alloys of the Al-Ca system it is possible to use a mixture with a high iron content. It was revealed that iron is completely included in the composition of the eutectic in the form of $\text{Al}_{10}\text{CaFe}_2$ compound.

В работе [1] в качестве альтернативы литейным силуминам предлагается использовать сплавы на основе системы Al-Ca. Кальций образует с алюминием эвтектику, более дисперсную по сравнению с алюминиево-кремниевой. Содержание фазы Al_4Ca в этой эвтектике достигает 30 об.%, в то время как доля (Si) в эвтектических силуминах не превышает 10 об.%, что показано в [1]. Это позволяет реализовать лучшее сочетание технологичности при литье и показателей физико-механических свойств.

Дополнительно легировать сплавы системы Al-Ca предлагается добавками Mg, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Zr и Sc. Из представленных элементов наибольшего внимания заслуживает последний. Скандий (обычно до 0,3%) является известным упрочнителем алюминиевых сплавов. Но его введение в силумины неоправданно [2], поскольку кремний связывает его в соединение AlSc_2Si_2 , и эффект упрочнения не может быть достигнут из-за недостатка частиц фазы Al_3Sc . С другой стороны, в ряде работ [2-4] показано его эффективное применение в сплавах, легированных кальцием. Поскольку ранее совместное использование кальция и скандия для создания литейных алюминиевых сплавов не рассматривалось, задачей работы являлось обоснование возможности применения сплавов на основе системы Al-Ca-Sc в качестве литейных. Также достаточно остро стоит вопрос, связанный с содержанием железа в шихте.

Система Al-Ca-Fe-Zr-Sc. Дальнейшим развитием сплава Al-6%Ca-0,7%Fe-0,3%Sc (все % – по массе) стало определение более конкретных химических составов, в том числе частичная замена скандия цирконием, который также формирует с алюминием Al_3Zr (L_{12}) [5], но повышает диапазон

рабочих температур до 400 °С, в то время как у сплавов со скандием разупрочнение начинается уже после 300 °С [2]. Несмотря на то, что по данным моделирования фазового состава точка тройной эвтектики L→(Al)+Al₄Ca+Al₃Fe составляет 7,2 % Ca и 0,7% Fe, концентрацию железа увеличили до 1%, поскольку при ускоренном охлаждении область первичной кристаллизации (Al) расширяется. Кроме того, было установлено наличие соединения Al₁₀CaFe₂, частицы которого имеют благоприятную морфологию. Исходя из этих соображений, был определен состав экспериментального сплава: Al-6%Ca-1%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc (рисунок 1).

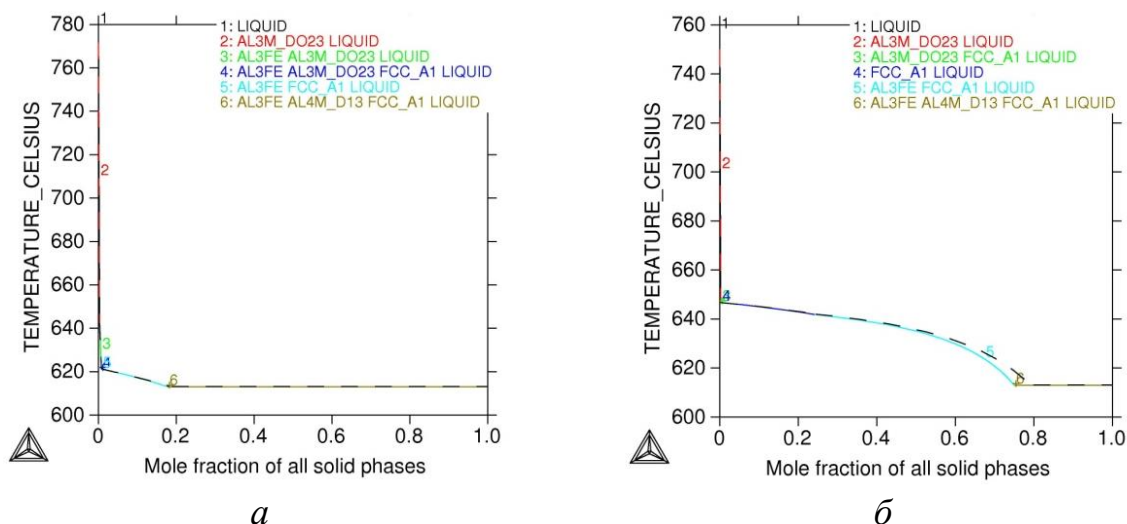


Рисунок 1 – Расчетная зависимость (Thermo-Calc, моделирование Scheil-Gulliver) суммарной мольной доли твердых фаз (Q) от температуры в процессе неравновесной кристаллизации сплавов: *a* – Al-6%Ca-1%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc, *б* – Al-2%Ca-1%Mn-0,4%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc

Система Al–Ca–Mn–Fe–Zr–Sc. При дальнейшем изучении системы Al–Ca–Mn–Sc учитывалось влияние примеси железа, которое неизбежно присутствует при литье в металлические изложницы. Также была рассмотрена возможность использования циркония совместно со скандием, как и для системы Al–Ca–Fe. По моделировании фазового состава было определено, что максимальное совместное содержание Mn и Fe не может превышать 1,5%, иначе будут формироваться первичные кристаллы Al₆(Fe, Mn), а содержание кальция не должно при этом превышать 2,5 %. Исходя из этого был определен состав сплава – Al-2%Ca-1%Mn-0,4%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc (рисунок 1).

Кривые дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) сплавов системы Al–Ca приведены на рисунке 2.

Выводы: Выявлено, что при получении сплавов системы Al–Ca возможно использование шихты с повышенным содержанием железа, поскольку оно полностью входит в состав эвтектики в виде соединения Al₁₀CaFe₂, частицы которого имеют благоприятную морфологию.

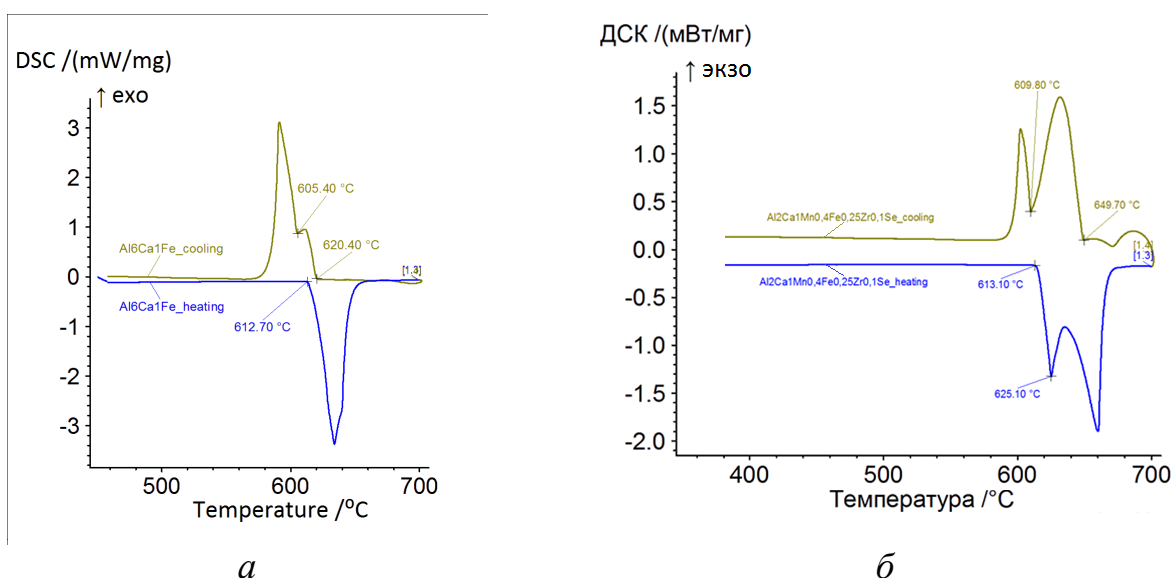


Рисунок 2 – Кривые ДСК сплавов: *a* – Al-6%Ca-1%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc, *б* – Al-2%Ca-1%Mn-0,4%Fe-0,25%Zr-0,1%Sc

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.А. Белов, Е.А. Наумова, Т.К. Акопян. Эвтектические сплавы на основе алюминия: новые системы легирования. – М.: Руда и металлы. 2016. – 258 с.
2. Toropova L. S., Eskin D. G., Kharakterova M. L., Dobatkina T. V. Advanced aluminum alloys containing scandium: structure and properties. – Amsterdam : Gordon and Breach Science Publishers, 1998. – 175 p.
3. Filatov Yu. A. Deformable Al – Mg – Sc alloys and possible regions of their application // Journal of Advanced Materials. 1995. No. 5, p. 386–390.
4. Belov N. A., Naumova E.A, Bazlova T.A., Doroshenko V.V. Phase composition and hardening of castable Al–Ca–Ni–Sc alloys containing 0,3% Sc // Metal Science and Heat Treatment. 2017. Vol.59. No. 2. pp. 12–17.
5. Anna Morozova, Anna Mogucheva, Dmitriy Bukin, Olga Lukianova, Natalya Korotkova, Nikolay Belov and Rustam Kaibyshev. Effect of Si and Zr on the Microstructure and Properties of Al-Fe-Si-Zr Alloys // Metals, 7 (11): 495, 2017.

УДК 621.74

С.С. Мишуров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОГО СЛОЯ С ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕЗНИКЕЛЕВОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА БИОМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной статье описана принципиальная возможность использования метода химического травления для обеспечения возможности изготовления биоимплантатов из пористых заготовок из сплавов системы Ti-Nb-Zr.

This article describes the principal possibility of using the method of chemical etching to enable the manufacture of bioimplants from porous preforms of Ti-Nb-Zr alloys

При современном уровне развития наилучшим методом лечения дегенеративных заболеваний костной ткани, которыми страдают люди в возрасте более 50 лет, является хирургическое восстановление или замена при использовании искусственных биоматериалов, таких как имплантаты в бедрах, коленях, позвоночнике, плечах и т.п. [1, 2]. Среди современных имплантируемых биоматериалов титановые сплавы остаются наилучшим решением благодаря их удельной прочности, коррозионной стойкости в человеческом организме и биосовместимости. Для улучшения механических и технологических свойств титана его легируют такими элементами, как Nb, Ta, Mo, Zr, Fe, Cr, V, Al, так как для биосовместимости этих сплавов, как показано на рисунке 1, чрезвычайно важен их химический состав. Например, Co, Ni, Cu и V относятся к токсичным элементам, и Al, Fe, Mo, Ag и Au относятся к аллергенам, в то время как Zr, Nb, Ta и Pt демонстрируют превосходную биосовместимость [3, 4]. В последнее время наибольшее влияние в разработке титановых сплавов для имплантатов уделяется сплавам с памятью формы или сверхупругостью, так как важнейшими свойствами для длительной эксплуатации имплантируемых биоматериалов являются низкий модуль Юнга и сверхупругое поведение, которыми, как показано на рисунке 2, обладают только материалы с памятью формы [3, 4, 5, 6].

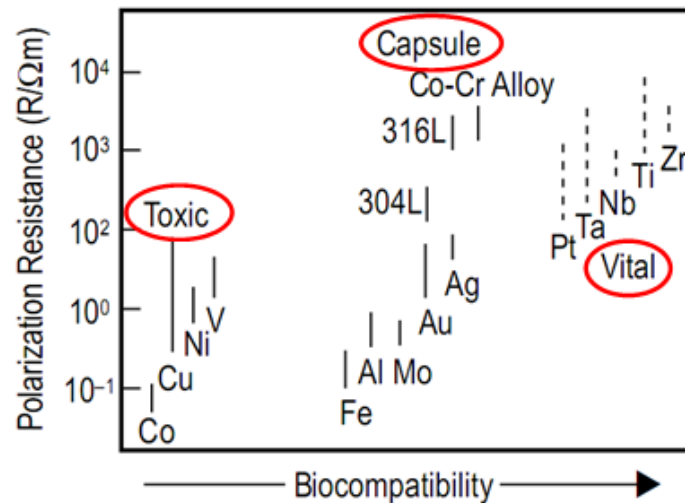


Рисунок 1 – Биосовместимость материалов для биоимплантатов [6]

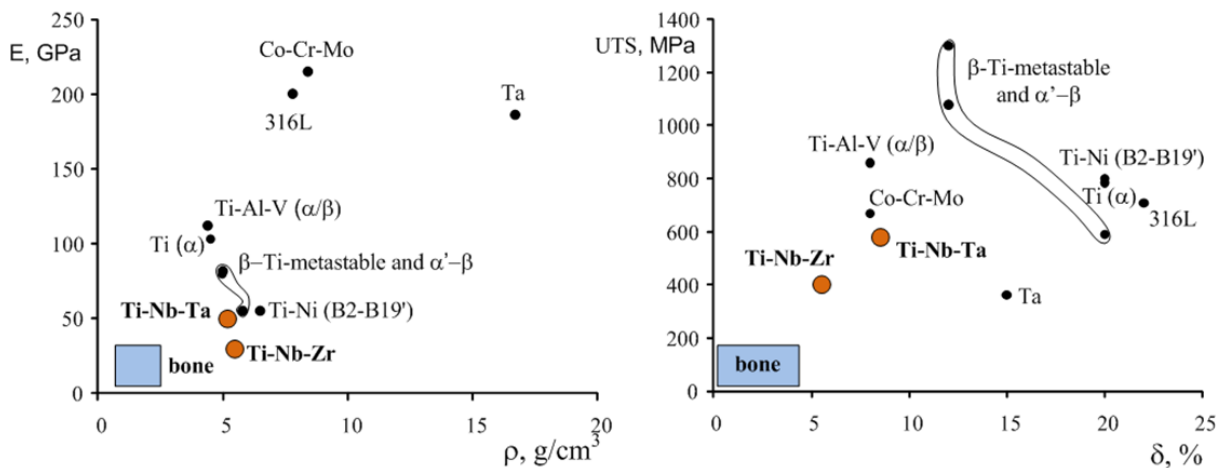


Рисунок 2 – Механические свойства материалов для биоимплантатов [6]

При использовании материалов, свойства которых существенно отличаются от свойств костной ткани, происходит атрофия костной ткани, вследствие того, что в паре «металл–кость» при механических воздействиях основную нагрузку на себя берет более жесткий (высокомодульный) металл («эффект экранирования»), а не кость, и как следствие – происходит разрушение соединения костной ткани и имплантата [6]. Кроме того, для своей длительной эксплуатации имплантат должен обладать пористой структурой, обеспечивающей врастание костной ткани в структуру имплантата и циркуляцию жидкостей организма, так как кость представляет собой пористый композитный материал с открытыми порами, что показано на рисунке 3.

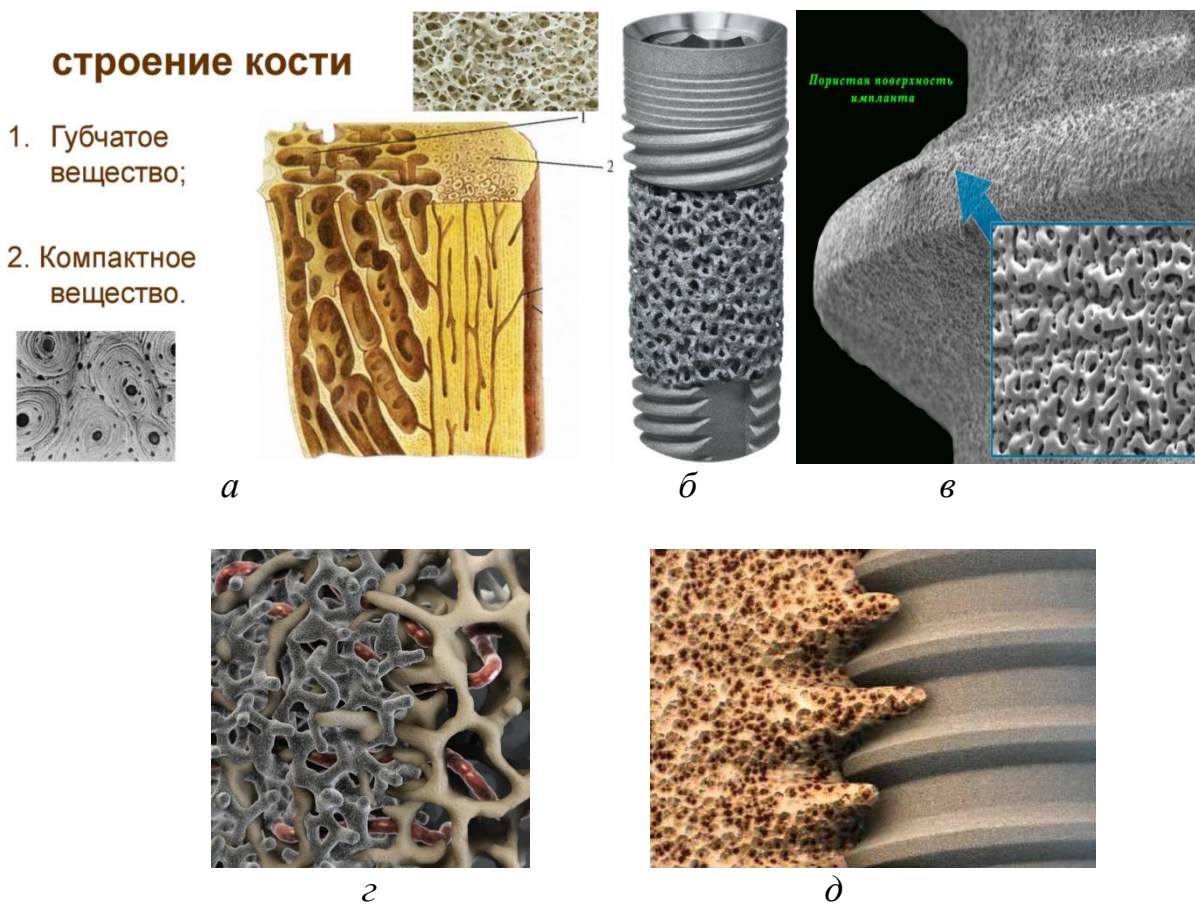


Рисунок 3 – Механизм взаимодействия костной ткани с пористым биоимплантатом:

а – строение кости; *б* – общий вид биоимплантата с пористой структурой и поверхностью; *в* – увеличенное изображение химически обработанной поверхности биоимплантата; *г* – вращение губчатого вещества костной ткани в пористую структуру биоимплантата; *д* – обрастание пористой поверхности биоимплантата компактным веществом костной ткани

Для формирования пористой структуры биоимплантатов из титановых сплавов используют два метода:

– формирование преформы из порошка титанового сплава с удаляемым поробразователем и ее последующем нагреве в вакууме, в ходе которого происходит удаление порообразователя и спекание преформы [7];

– формирование преформы из гидридов компонентов сплава и ее последующем нагреве в вакууме, в ходе которого происходит удаление водорода, за счет разложения гидридов, и спекание преформы [8, 9].

Для изготовления из пористых заготовок изделий из сплавов на основе титана можно применять обработку резанием с применением лезвийного инструмента, лазерной или абразивной резки, в том числе гидроабразивную резку, однако указанные методы не позволяют получить изделие с открытой пористостью, так как при лазерной резке поверхность оплавляется и расплавленный металл затекает в открытые поры, а при прочих методах на поверхно-

сти изделия образуется деформированный слой, который закрывает поверхность открытых пор. Кроме того, возможно попадание смазывающих охлаждающих жидкостей и частиц абразива в поры изделия, что является недопустимым для их эксплуатации в человеческом организме.

В работе [7] была предложена методика изготовления изделий биомедицинского назначения из пористых безникелевых сплавов с памятью формы, суть которой состояла в заполнении пористой заготовки воском для исключения возможности попадания нежелательных элементов в пористое изделие, обработки резанием заполненной воском заготовки, химическом удалении деформированного слоя путем его обработки раствором $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ в соотношении 1:4:5 (по объему), и удаления воска в растворе, содержащем смесь ксилола и ацетона. Однако поверхность образцов, обработанных таким методом, содержала трещины, что не позволило рекомендовать его для промышленного применения.

В ряде работ [8–12], посвященных химическому травлению поверхности сплавов системы Ti-Nb-Zr использовались различные растворы кислот, содержащие HF , HNO_3 , H_2O и H_2O_2 , однако ни в одной из них не указаны конкретные режимы обработки, позволяющие удалить деформированный слой с поверхности пористых изделий без его повреждения в результате химического наводораживания.

Для детального изучения процессов, происходящих при химическом удалении деформированного слоя за счет обработки поверхности растворами кислот, были изучены работы, посвященные травлению титана, ниобия и циркония, из которых были получены данные о влиянии концентраций кислот на процесс удаления поверхности сплавов на основе титана и ее насыщении водородом, представленные на рисунке 4. Химическое наводораживание сплавов на основе титана объясняется химическими реакциями, которые происходят при обработке титана в соответствующих растворах:

– в плавиковой кислоте: $2\text{Ti} + 6\text{HF} \rightarrow 2\text{TiF}_3 + 3\text{H}_2\uparrow$;

– в смеси плавиковой и азотной кислот: $3\text{Ti} + 18\text{HF} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{H}_2[\text{TiF}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$;

– в смеси плавиковой и серной кислот: $\text{Ti} + \text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}_2(\text{TiF}_6) + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;

– в соляной кислоте: $\text{Ti} + \text{HCl} \rightarrow \text{TiCl}_3 + \text{H}_2\uparrow$.

Для экспериментального изучения возможности удаления деформированного слоя в промышленных условиях был проведен ряд экспериментов по подбору растворов, содержащих смеси кислот, выдержка в которых обеспечивала бы удаление деформированного слоя толщиной 10 мкм с поверхности пропитанной воском пористой заготовки в течение 30 мин. В результате проведенных экспериментальных работ установлено, что полное удаление деформированного слоя указанной толщины возможно в растворах, содержащих $\text{HF} + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ в соотношении 10:11:178 (по объему), либо $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ в соотношении 10:19:170 (по объему), либо $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ в соотношении 10:15:174 (по объему).

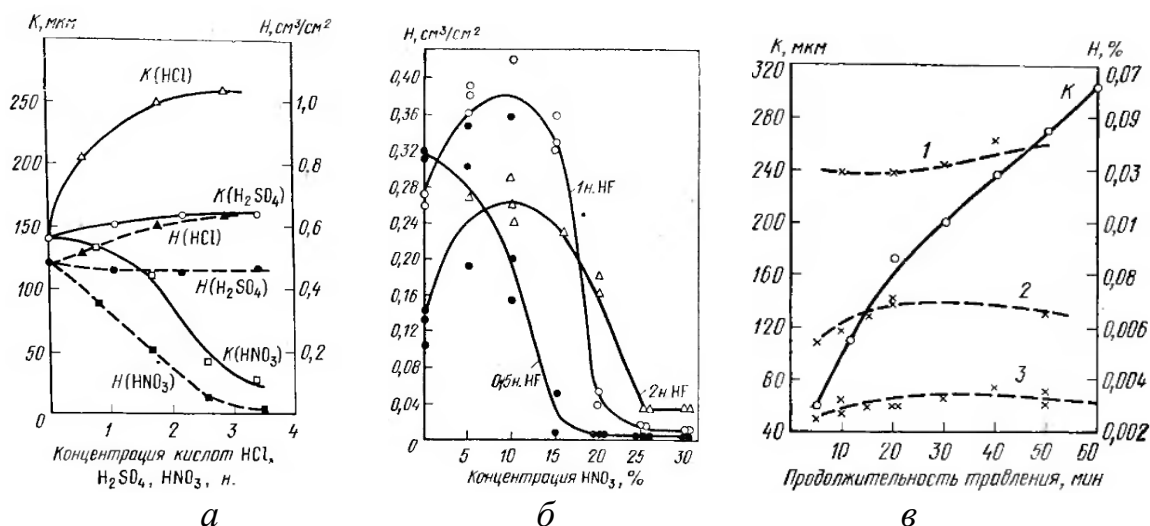


Рисунок 4 – Влияние концентраций кислот на процесс удаления поверхности сплавов на основе титана и ее насыщении водородом [13]: а – влияние азотной, серной и соляной кислот в растворе 0,5-нормальной плавиковой кислоты на растворение и наводороживание отожженного при 750 °С образца из сплава ВТ14 при температуре 40 °С и выдержке в течение 1 ч; б – зависимость насыщения образца из сплава ВТ14 от концентраций плавиковой и азотной кислот; в – кинетика растворения и наводороживания сплава ВТ1-0 в растворе 2%HF+2%HCl+8%H₂SO₄

В результате проведенного исследования микроструктуры образцов из сплава Ti-18Zr-14Nb, фотографии которых представлены на рисунках 5–7, обработанных в вышеуказанных растворах кислот, установлено, что только выдержка в растворе, содержащем HF + HNO₃ + H₂O в соотношении 10:19:170 (по объему) позволяет обеспечить рабочую поверхность изделия, не содержащую трещин.

Выводы: Разработанная методика удаления деформированного слоя, образовавшегося в результате обработки резанием заполненных воском пористых образцов из сплава Ti-18Zr-14Nb методом химического травления (путем выдержки в течение 30 мин в растворе, содержащем HF + HNO₃ + H₂O в соотношении 10:19:170 (по объему)), позволяет обеспечить рабочую поверхность изделия, не содержащую трещин, образующихся из-за химического насыщения поверхности образца водородом, и может быть использована в серийном производстве биоимплантатов из безникелевых сплавов с памятью формы.

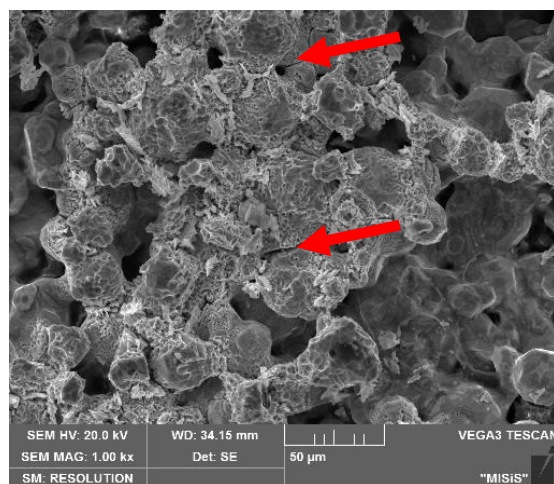


Рисунок 5 – Структура пористого образца сплава Ti-18Zr-14Nb (выдержка в растворе HF + HCl + H₂O (10:11:178 по объему) в течение 30 мин)

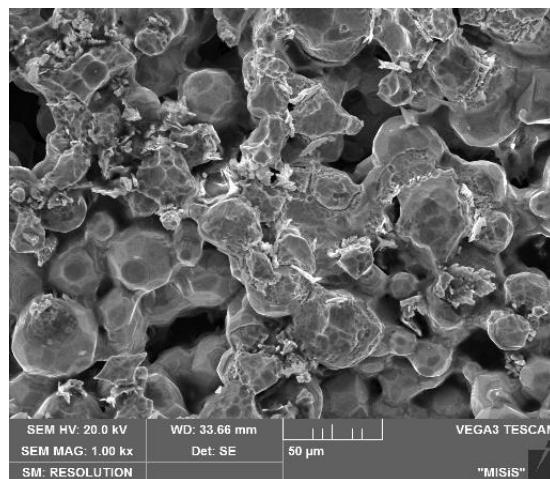


Рисунок 6 – Структура пористого образца сплава Ti-18Zr-14Nb (выдержка в растворе HF + HNO₃ + H₂O (10:19:170 по объему) в течение 30 мин)

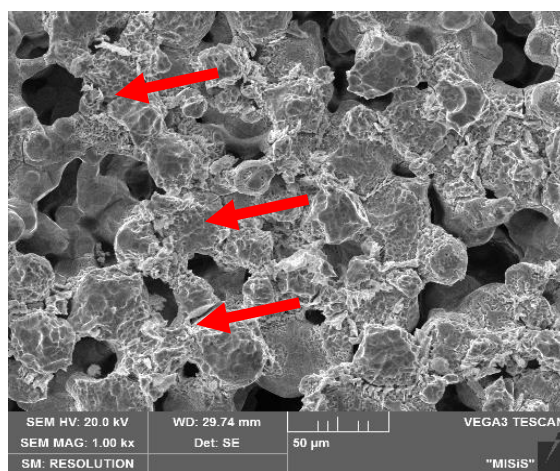


Рисунок 7 – Структура пористого образца сплава Ti-18Zr-14Nb (выдержка в растворе HF + H₂SO₄ + H₂O (10:15:174 по объему) в течение 30 мин)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. Yuan, M. Zhu, C.Y. Chung / Biomedical Porous Shape Memory Alloys for Hard-Tissue Replacement Materials // *Materials*. 2018. 11(9). 1716.
2. Park J.B., Bronzino J.D. Biomaterials: principles and applications. Boca Rator, FL: CRC Press. 1–241 (2003).
3. A.E. Aguilar Maya, D.R. Grana, A. Hazarabedian / Zr–Ti–Nb porous alloys for biomedical application // *Materials Science and Engineering C*. 32(2). 2012.
4. Rajamallu Karre , Manish K. Niranjana, Suhash R. Dey / First principles theoretical investigations of low Young's modulus beta Ti–Nb and Ti–Nb–Zr alloys compositions for biomedical applications // *Materials Science and Engineering C*. 50 (2015). 52–58.
5. Li Yuan, Songlin Ding, Cuie Wen. Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures: A review // *Bioactive Materials*. 2019. 4(1). pp. 56-70.
6. Шереметьев В.А. Стабильность структуры и функциональных свойств термомеханически обработанных биосовместимых сплавов Ti-Nb-Zr и Ti-Nb-Ta с памятью формы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МИСиС. 2015.
7. Anastasia Korobkova, Alibek Kazakbiev, Yulia Zhukova, Vadim Shermetyev, Sergey Dubinskiy, Mikhail Filonov / Surface treatment of bulk and porous materials based on superelastic titanium alloys for medical implants // [Materials today: proceedings](#). 2017. 4(3): 4664-4669.
8. Marcio W.D. Mendes, Carola G. Ágrede, Ana H.A. Bressiani, José C. Bressiani / A new titanium based alloy Ti–27Nb–13Zr produced by powder metallurgy with biomimetic coating for use as a biomaterial // *Materials Science and Engineering C*. 63 (2016). 671–677.
9. D. Sri Maha Vishnua, Jagadeesh Sure, Yingjun Liu, R. Vasant Kumar, Carsten Schwandt / Electrochemical synthesis of porous Ti-Nb alloys for biomedical applications // *Materials Science and Engineering C*. 96 (2019).
10. Hossein Mohammad Khanlou, Bee Chin Ang, Mohsen Marani Barzani, Mahyar Silakhori, Sepehr Talebian / Prediction and characterization of surface roughness using sandblasting and acid etching process on new non-toxic titanium biomaterial: adaptive-network-based fuzzy inference System // *Neural Computing and Applications*. 2015. Volume 26, [Issue 7](#), pp. 1751–1761.
11. Anton Konopatsky, Vladimir Brailovski, Mikhail Filonov. Manufacturing and Characterization of Novel Ti-Zr-Based Shape Memory Alloys // [Materials today: proceedings](#). 2017. 4(3): 4856-4860.
12. V.A. Sheremetyev, S.M. Dubinskiy, M.A. Ikbal / Effect of Dynamical Chemical Etching on the Porous Structure Parameters of Superelastic Medical Ti–Nb–Zr Alloy Foam // *Russian Metallurgy (Metally)*. Volume 10. 2017. pp. 789–793.
13. Александров В.А., Аношкин Н.Ф. Полуфабрикаты из титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 512 с.

В.Н. Цвигун, Е.А. Шур², Р.С. Койнов¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² ВНИИЖТ, Москва, Россия

МИКРОДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ВБЛИЗИ ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ ПРИ МОНОТОННОМ НАГРУЖЕНИИ

Описаны результаты прямых наблюдений микродеформаций у вершины усталостной трещины при монотонном нагружении. Показано, что максимальный угол у вершины долома равен 13° в пластичном материале, есть микросдвиги вдоль вершины трещины более 20 мкм. Сформулирован механизм однократного долома для большинства материалов.

The results of direct observations of microdeformations at the tip of a fatigue crack under monotonic loading are described. It is shown that the maximum angle at the top of a breaking is equal to 13° in a plastic material, there are microshears along the tip of a crack more than 20 μm . The mechanism of one-time breakage is formulated for most materials.

Сокращения: УТ – усталостная трещина; ВУТ – вершина УТ

Ранее [1-4] была описана модель роста усталостной трещины как шарнира с механической точкой вращения берегов трещины. Эта точка вращения в хрупких материалах совпадает с вершиной усталостной трещины (ВУТ). В пластичных материалах она находится на некотором расстоянии от ВУТ в глубине образца и определяется пересечением двух прямых линий, проведенных по берегам трещины.

Методы прямого наблюдения за ростом УТ в прозрачном образце позволили ранее подробно описать [1] механизмы разрушений, приводящих к образованию основных видов фрактографических рельефов при циклическом нагружении. К ним относятся: образование усталостных хрупких и вязких бороздок; траковых следов; макролиний усталости от перегрузок и вспышек температуры; зависимость шага усталостной бороздки при росте УТ от длины левого ската нагружающего цикла напряжений.

Настоящая статья посвящена изучению процессов разрушения (микродеформации у ВУТ, страгиванию трещины, ветвлению трещины, образованию такого фрактографического рельефа как речной узор) при монотонном нагружении. Явления роста УТ изучали методами световой стереомикроскопии на прозрачных хрупких и пластичных полимерах (ПММА, ПЭ и других) с меньшим, чем у металлов модулем упругости. Последующие эксперименты

проводили на хрупких и пластичных металлических материалах. В качестве хрупкого металлического материала использовали рельсовую сталь в горячекатаном состоянии (НВ 250, КСЧ 15 Дж/см²). В качестве пластичного металлического материала использовали сталь 12ХН3А (НВ 241, КСЧ 100 Дж/см²).

Высокая степень локализация микродеформаций около стенок усталостной трещины позволила применять микрообразцы размером 25х6х3 мм с предварительно выращенной УТ. Поле наблюдений в микроскопе составляло около 0,5 мм. При доломе образца с УТ площадка разрушений с десятками микротрещин возрастает в несколько раз.

Поверхность образца на пути роста УТ размечали с помощью острой алмазной иглы от профилографа (радиус острия менее 1 мкм). Применяли сетку с ячейкой около 0,05 мм. Было бы лучше использовать метод нанесения сетки вакуумным напылением. Это полностью бы исключило влияние неровностей на поверхности на траекторию перемещения ВУТ. По деформациям микронной сетки можно по превращению исходных прямоугольников в искривленные параллелепипеды в ABAQUS рассчитать степени деформации. Наличие значительных пластических деформаций у ВУТ, которые вызывают текстурные рефлексии вблизи трещины долома, было подтверждено при съемке на отражение в электронографе с половины сломавшегося образца размером 12х6х3 мм из алюминиевого сплава.

1 Монотонное нагружение образца с усталостной трещиной

Вид пластически деформированной зоны у ВУТ можно представить, как показано на рисунке 1 [5,6]. Визуально это линии скольжения (и начинающие открываться ступенчатые трещины на пересечениях этих линий скольжения) хорошо видны при небольшом увеличении в прозрачных материалах.

При наблюдении с помощью стереомикроскопа за процессом роста УТ в хрупкой стали установлено, что непрерывный рост УТ сопровождается ее раскрытием-закрытием в вершине, как обычного шарнира с постоянным углом при ВУТ (рис.2). Угол АОВ открывается и закрывается (почти полностью), а вершина УТ, когда она закрыта – не видна. Хорда CD у ВУТ отсутствует или имеет высоту несколько микрон, т.е. в хрупком материале точка вращения совпадает с точкой О. Если такой образец с УТ подвергается монотонному нагружению, то даже в хрупкой рельсовой стали начинает образовываться хорда CD и зона вытяжки COD.

Сначала она короткая, потом из точек С и D образуются короткие усы сдвиговых деформаций – в этих точках максимальная плотность линий скольжения, которые будут местами появления пунктирных, игольчатых микротрещин. С ростом монотонной нагрузки, приложенной к образцу с УТ, растет и хорда CD, удлиняются два уса деформаций и раздается щелчок при разрушении образца. Металл в треугольнике АОВ и рядом вскипает, взрывается с образованием десятков трещин и проходит магистральная трещина, которая начинается в точке С или D, далее она продолжается на точку О и дальше.

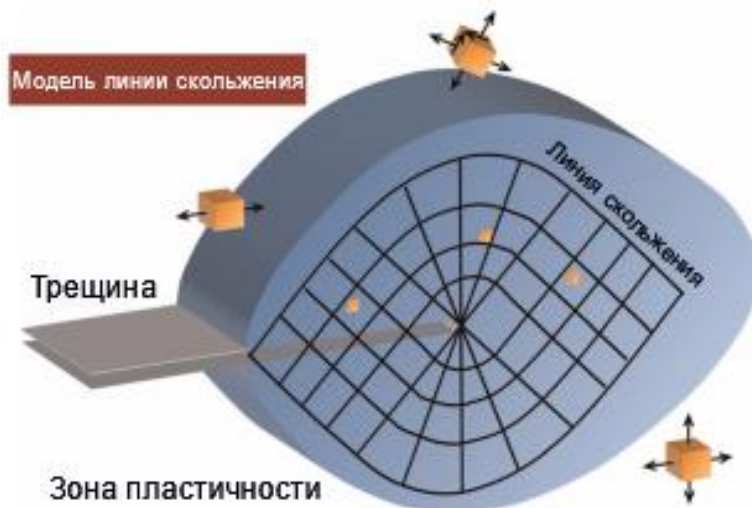


Рисунок 1 – Поля линий скольжения у вершины трещины [5,6]. Искривление ортогональных прямоугольников приводит к созданию зон вторичных напряжений растяжения, условий вскрытия плоскостей сдвига, т.е. игольчатых пунктирных микротрещин. Там, где больше концентрация линий скольжения, там места первых разрушений

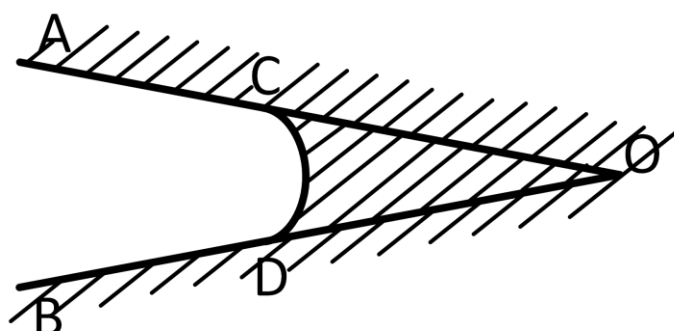


Рисунок 2 – Схема трещины в пластичном материале ACDB. Есть зона вытяжки COD и точка вращения O

Многие хорошо известные, общепринятые модели образования усталостных бороздок (Смит, Лэйрд) оказались верными только в узком интервале усталостных нагрузок [8].

Поэтому предпочтительны прямые наблюдения, измерения картины деформаций у ВУТ, т.к. усталостным разрушениям предшествуют несколько циклов усталостного нагружения. Кинематический анализ роста УТ очень сложен, но есть много интересных явлений в полях линий скольжения у ВУТ:

1 – есть повороты и смещения систем отсчета (особенно при однократном долоте образца с УТ);

2 – есть постоянные переходы точек вращения вглубь образца по мере развития микродеформаций у ВУТ и микроразрушений;

3 – в полосах сдвигов материалы движутся с разными скоростями одной полосы относительно другой;

4 – образуется косоугольная система координат, происходят трехмерные развороты;

5 – инструментарий деформаций и разрушений это только сочетание вращательного и поступательного движений. Эти два простых движения ответственны за все перемещения, образование зон конфликтов, перенапряжений, разрушений.

При монотонном нагружении образцов из хрупкой и пластичной сталей силой P фиксировали их состояние при различной нагрузке $P = 0; 1360 \text{ Н}; 1560 \text{ Н}$ (рисунок 3).

Уже при отсутствии нагрузки ($P = 0$) остаточный угол раскрытия ВУТ равен двум градусам за счет деформаций берегов трещины, окисления стенок УТ, появления вторичных трещин при ветвлении основной УТ (рисунок 3 а). Вторичные трещины почти всегда уходят вверх и вниз от основной трещины под углом от 35 до 100 градусов.

Линия разметки на образце, (рис.3а), С-Е- F- D еще остаются прямыми, а угол при ВУТ равен двум градусам, при усилии $P = 0 \text{ Н}$ (схема d).

При нагрузке $P = 1360 \text{ Н}$, (рис.3b), из ВУТ, из точки О, прошло короткое скольжение (сдвиг) Н, и более длинное скольжение G, вверх. Т.к. сдвиг G был длиннее, то и сдвиг верхнего берега УТ был больше на 8 мкм, чем внизу (рис.3b).

Направление сдвига берегов УТ легко вычислить по фотографии, если соединим берега УТ хордой EF и появится ее наклон. При снижении усилия P от 1360 Н до нуля, в усах деформаций G и Н будет реверсивная упруго - пластическая деформация.

Если продолжить повышать монотонно нагрузку до усилия $P = 1560 \text{ Н}$, получим раздвоение трещины. Она пойдет дальше по одному из усов G или Н; скорее Н, т.к. он находится правее, дальше от ВУТ. В итоге, трещина долома будет одна, а другая ветвь остановится и закроется. Максимальное раскрытие ВУТ будет 0, 18 мм (рис.3с), а верхний берег УТ сдвинут вправо на 20 мкм. Точка вращения берегов УТ будет находиться при нагрузке 1560 Н на расстоянии $T = 0,55 \text{ мм}$ (рис.3с), а при нагрузке 1360 Н (рис.3b) величина T была 0,21 мм. Таким образом, пластическая деформация охватывает все больший объем материала.

Для хрупкой стали расстояние X (рис.3е) мало, всего несколько микрон. При долоте микрообразца из этой стали участок перед ВУТ подвергается динамическому разрушению, когда трудно понять пошаговые разрушения (необходима скоростная видеозапись). Открываются десятки микротрещин разной ориентации и по зоне предразрушений проходит магистральная трещина. Все короткие трещины (пунктирные) закрываются, и мы их не видим.

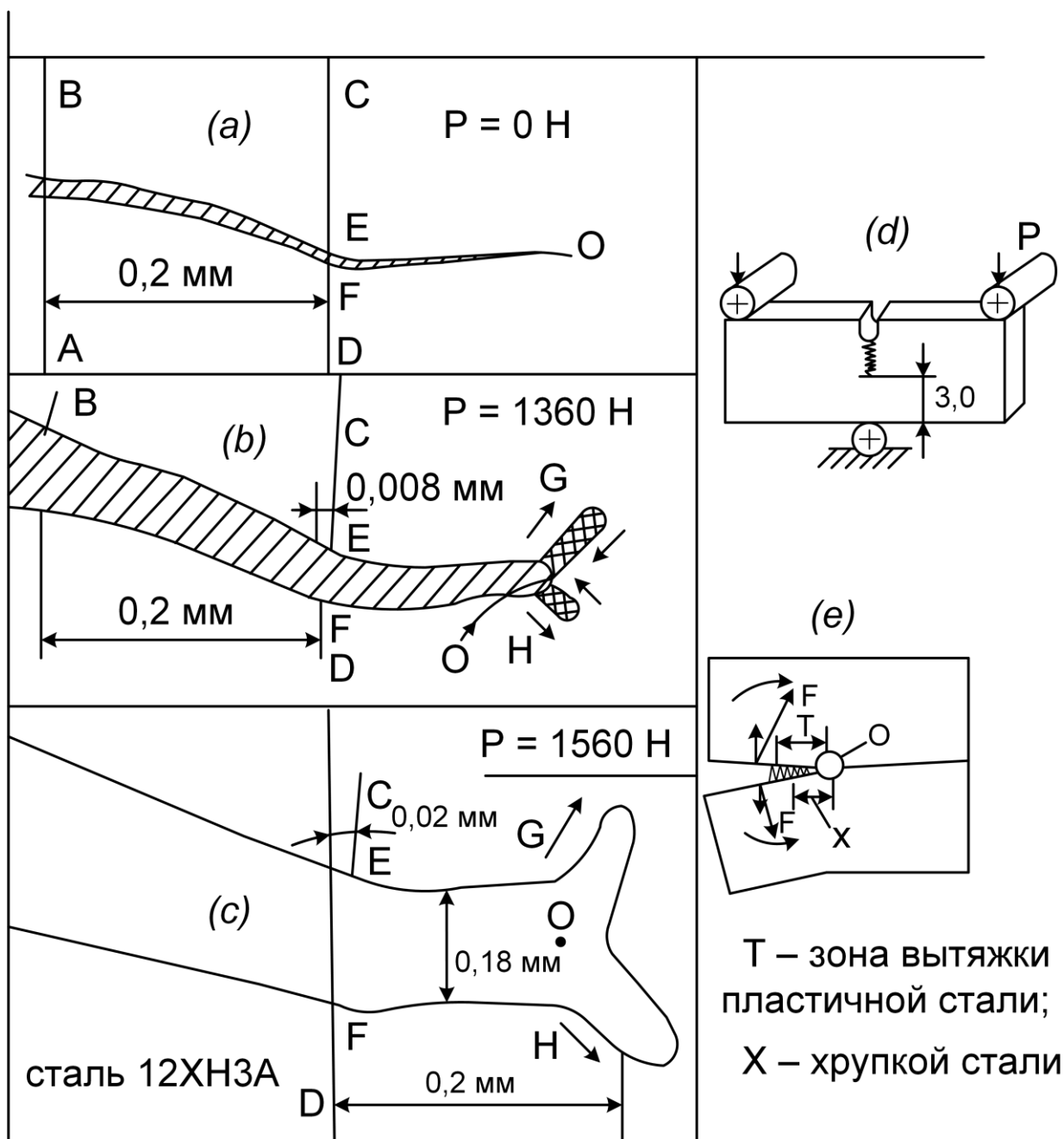


Рисунок 3 – Образец с усталостной трещиной нагружается по схеме (d) при усилии $P=0 \text{ H}$ (a); $P= 1360 \text{ H}$ (b); и $P=1560\text{H}$ (c). Схематическое изображение двух стадий раскрытия трещины долома

В пластичной стали угол при вершине долома равен примерно 13° (без учета высоты ступени). Для пластичных материалов точка вращения O не совпадает с ВУТ и работать на растяжение начинает вся длина зоны вытяжки T , а не короткий отрезок X , как для менее пластичных материалов (рис.3e). Для самых хрупких материалов этот отрезок X стремится к нулю.

Поворот вектора силы F (рис.3e) по мере увеличения нагрузки, у ВУТ увеличивает вклад пластичности и два длинных уса пластической деформации уже не прямолинейные, а искривляются вперед, в сторону роста УТ,

происходит рост пунктирных многочисленных игольчатых микротрещин, которых много в этих полях линий скольжения впереди ВУТ.

2 Процесс ветвления трещин

Обычно под ветвлением трещин имеют в виду раздвоение трещин. УТ растут в режиме открытия – закрытия вершины трещины (хлопания). Когда нет подвода энергии они закрываются, а новый цикл открывает УТ. Именно при трогании с места, закрытой полностью или частично трещины происходят важные явления микродеформаций у ВУТ и следующий за этим процесс ветвления.

Ветвление трещины – обычный процесс образования из одной магистральной трещины двух и редко трех самостоятельных трещин. Это происходит при росте УТ на дефектах, включениях, карбидах, других микротрещинах. При скоростном росте трещин чаще происходит ветвление трещины, потому что при больших скоростях движения у ВТ локализуется, подавляется пластичность материала, он охрупчивается, снижается энергия разрушения и трещина легче ветвится. Поскольку процесс подведения энергии к трещине не постоянен, а происходит импульсами, с остановками трещины до подхода следующего импульса, то временно ВТ будет закрываться частично до минимально возможного угла закрытия. При этом при трогании с места приостановленной трещины, у ее вершины (рис.4) возникнут две плоскости микросдвигов, которые при почти вертикальном переднем фронте импульса нагружения, открываются и равноценно растут как две трещины, со своими углами разрушения V_F . Первая трещина образуется на продолжении верхнего уса деформации, а вторая – из нижнего уса деформации (сдвига). Классически эти усы на новом материале, из надреза, будут направлены под углом $\pm 55^\circ$ к горизонтали, а при наличии цилиндрической пластически деформированной зоны упрочненного наклепом материала (рис.4) сдвиги будут под углом более 45° , т.е. материал упрочнен, и зона сжимающих остаточных напряжений отклоняет сдвиги, отталкивает их на больший угол назад.

При низкой скорости роста и когда трещина трогается с места после остановки, радиус зоны пластической деформации будет больше. При этом в процесс деформации вовлекаются большие объемы материала, а не узкая полоска вдоль стенок трещины, как при ее непрерывном росте.

При росте трещины у ее вершины редко бывают симметричные условия деформации. Поскольку на пути роста трещины встречаются дефекты типа трещин и пор, материал имеет разную локальную прочность. Это приводит к угловому сдвигу или сколу у вершины трещины, т.е. образуется одна боковая трещина или две. Последние обычно наклонены под углом $50 - 70^\circ$ к плоскости трещины.

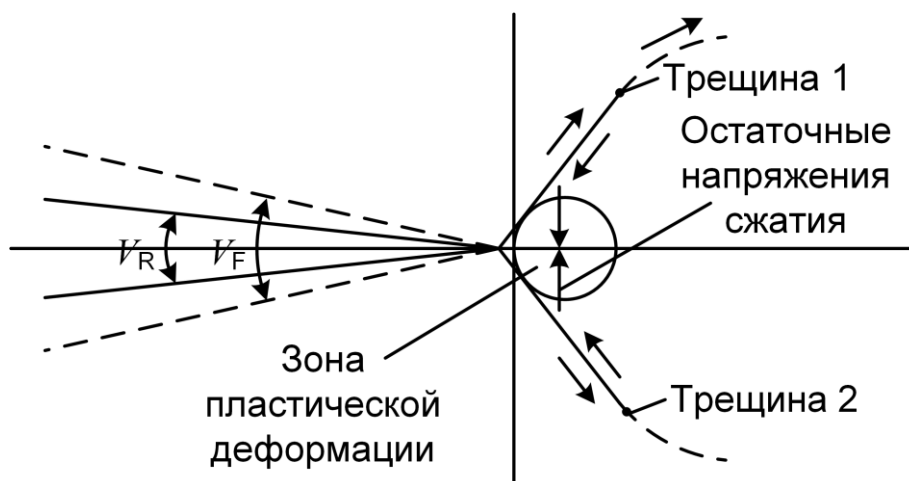


Рисунок 4 – Схема образования при остановке трещины зоны пластической деформации с остаточными напряжениями сжатия. При медленном старте трещина пойдет в обход этой зоны, с одной стороны, или пересечет ее прямо. При быстром старте образуется две трещины, по каждому из симметричных сдвигов

При снижении напряжений во время их большой пульсации трещина останавливается и закрывается, берега ее смыкаются. Новый нагружающий импульс напряжений приводит к раскрытию трещины, ее росту. При этом на месте закрытия вершины трещины, при трогании ее с места обычно образуется пара боковых трещин [2]. Причина этого явления - остаточные деформации материала при остановке трещины (удлиненный материал подвергается сжатию при закрытии трещины).

Если УТ растет в поле действия K_2 (сдвига) или смеси K_1/K_2 , то наблюдается сильное ветвление трещины. Это связано с тем, что в поле сжимающих напряжений растет не одна трещина - лидер, а сразу несколько коротких игольчатых трещин, которые потом соединяются между собой в цепочку. Остальные трещины приостанавливаются и дальше не растут.

Для УТ ветвление трещины часто связано с большими значениями K_2 - компоненты. Если реализуется схема растяжения, а K_1 - компонента есть на включениях, плоскостях сдвига, речных микроструктурах, то обычно растет одна магистральная трещина УТ. Остальные УТ просто закрываются, и их не видно при 100 - кратном увеличении.

3 Речной узор

Картины речного узора на фрактограммах хорошо видны, когда разрушаются хрупкие металлические материалы, камни и керамика. Разрушения по типу речного узора проявляются как соединение первоначально разрушенных сколом (квасисколом) микроплощадок, находящихся на разных уровнях, относительно плоскости магистральной трещины и имеет целью соединить разрушения на разных уровнях ниже и выше плоскости основной магистральной трещины, объединить эти разрушения с плоскостью магистральной трещины

по короткому пути дочерними (вторичными) трещинами. В реализации такого механизма разрушения используется скол (квазискол) по плоскостям спайности внутри зерна, а также сколы по сегрегациям на границах зерен.

Эти точки нормального или смешанного отрыва имеются не только внутри треугольника COD шарнира трещины (рис. 5b), но и впереди ВУТ, там, где действуют реверсивные упруго-пластические деформации.

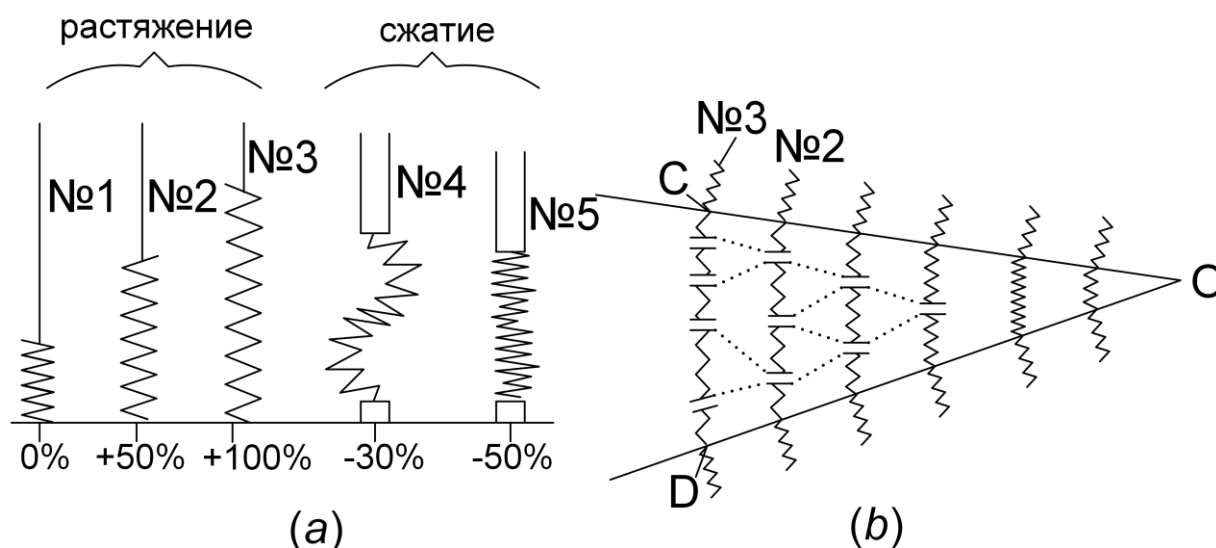


Рисунок 5 – Применение гофрированных упруго – пластических элементов для моделирования вертикальных деформаций в шарнире трещины COD.

(№1-№2-№3) – схема деформаций в открытой трещине (a); при закрытии вершины трещины элемент №3 сначала осаживается с потерей устойчивости, а затем -№5 он осаживается вертикально (неустойчивость при закрытии). При раскрытии трещины COD происходит образование речного узора разрушения (b) путем соединения хрупких разрывов (пунктирные точки) в цепочки вторичных трещин.

При неполном закрытии трещины элемент № 3, (рис.5), преобразуется при сжатии (закрытии) трещины - в элемент № 4, а при полном закрытии трещины элемент № 3 имеет вид как № 5. При закрытии трещины только при сжатии элемента № 4 есть потеря устойчивости, перекося, т.к. он был растянут при открытии трещины. Такое искривление роста УТ имеет место, при раскрывании материалов в условиях сжатия. Это приводит к горизонтальным сдвигам, расслоениям.

При сжатии материала идет процесс осадки до тех пор, пока у микрообъема материала не появится третья жесткая опора, необходимая для его устойчивости.

Когда трещина раскрывается, то фигуры речного узора получаются при соединении в цепочки (пунктир) (рис. 5b) ближних коротких трещин, образованных в местах квазискола.

У вершины трещины (рис. 6a) прямоугольный тетраэдр заменяем весами, на которых силу растяжения F уравновесим прочностью зерен А и В. Зер-

но А представим как две площадки S1 и S2, на которые устойчиво опирается при сжатии вся конструкция зерна, а при растяжении все уравновешено до начала разрушения цепей - связей (с). Каждое зерно имеет хрупкие (С) и вязкие элементы (L). Первыми будут разрушены хрупкие элементы, а потом будут смяты, срезаны более вязкие перемычки, рис. 6d. Разрушения идут поэтапно: первыми происходят сколы - отрывом, а затем образовавшиеся фасетки сколов начинают соединяться микросдвигами в поле растяжения.

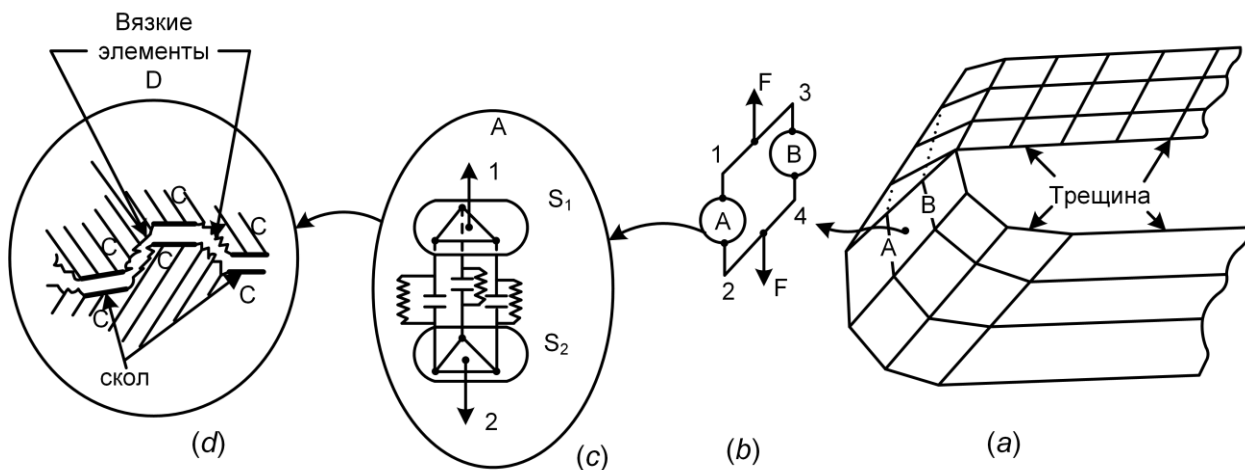


Рисунок 6 – Схема разрушений по типу речного узора. У ВУТ (а) при ее раскрытии идет непрерывное сравнение прочности и деформаций в соседних зернах А и В (b), выбирается путь роста трещины. Внутри зерна А (с) –при растяжении путем скола разрушаются слабые элементы, а при сжатии – элементы остаются неустойчивыми, пока каждый из них не будет иметь три точки опоры. Таким образом элементы разрушаются сначала сколом (С) (рис.6d), а потом сдвигом (D). При соединении фасеток на большой магистральной трещине в итоге получают фигуры речного узора, на которых соединяются разноуровневые площадки.

Выводы: Сформулирован общий для большинства материалов механизм однократного долома при монотонном нагружении и наличии усталостной трещины. Начинается он со старта двух локальных сдвигов (усов деформаций) под углом около 60 градусов из ВУТ. При исчерпании ресурса пластичности образуется много пунктирных микротрещин. От деформаций и трещин, которые нарезают и рассекают микрообъем материала у ВУТ на криволинейные искривленные фигуры, стартуют десятки ступенчатых трещин в местах пересечений плоскостей сдвигов.

По мере развития пластических сдвигов у ВУТ увеличивается угол раскрытия трещины, поворачиваются векторы сил растяжения и усы деформации поворачивают в сторону роста УТ. Возникают дополнительные растягивающие напряжения от искривленных сдвигов, которые облегчают вскрытие плоскостей сдвигов, как трещин.

Толщина зоны пластической деформации по берегам УТ соизмерима с радиусом такой пластической зоны впереди УТ.

По деформациям сетки с шагом 10 мкм, которая нанесена на зону вблизи ВУТ, можно измерять компоненты сдвига и отрыва у ВУТ при доломе.

По радиусу зоны пластической зоны у ВУТ при однократной перегрузке, можно, определять время торможения и замедления роста УТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение механизмов контактно-усталостных дефектов в рельсах [Электронный ресурс] : монография / В. Н. Цвигун, Е. А. Шур, В. Н. Кузнецов, Р. С. Койнов ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Электронные данные (1 файл). – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – ISBN 9785780604976.

2. Шур Е. А. Модели образования фрактографических рельефов на усталостных трещинах / Е. А. Шур, В. Н. Цвигун, Р. С. Койнов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 40. - С. 118-135. – Библиогр.: с. 134 (28 назв.).

3. Цвигун В. Н. Подповерхностные усталостные трещины («крылья бабочки») при контакте качения / В. Н. Цвигун, Е. А. Шур, Р. С. Койнов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 39. - С. 183-190. – Библиогр.: с. 190 (12 назв.).

4. Изучение механизмов питтинга, спаллинга и других контактно-усталостных дефектов рельсов. Сообщение 3. Исследование трещиностойкости рельсовой стали в условиях сложного напряженного состояния (влияние K1 и K2 в различных соотношениях) / В.Н. Цвигун, В.Н. Кузнецов, С.В. Коновалов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк : СибГИУ, 2015. – Вып. 34. - С. 153-158. – Библиогр.: с. 158 (3 назв.).

5. Chowdhury P., H. Sehitoglu – Mechanisms of fatigue cracks growth – of critical digest of theoretical developments – FFEMS, 2016 Wiley Public Shing Ltd Fatigue Fract Mater Struct 00, p. 1 -23.

6. Rice J. / The mechanics of crack tip deformation and extension by fatigue/ 1966, ASTM, ASTM STP 415, p. 247 – 411.

7. Ritchie R. Mechanism of fatigue cracks propagations in ductile and brittle solids – Int. J. of Fracture – 1999, 100, p. 55 – 83.

8. Laird C., Smith G.C.: Crack propagation in high stress fatigue. – Philosophical magazine, 1962, №7, p. 947-857.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

О. Шлик, А. Шлик, А. Шлик

Accusteel Ltd., г. Нетания, Израиль

АКУСТИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ACCUSTEEL КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО И КОНВЕРТЕРНОГО ПЕРЕДЕЛОВ СТАЛИ - ТЕХНОЛОГИЯ XXI ВЕКА

Контроль основных технологических показателей, температуры и химического состава расплава, в электродуговом и конвертерном переделе стали, производится сертифицированными приборами. Анализируя работу, используемых на агрегатах измерительных компьютерных систем и автоматизированных комплексов установлено, что температуры и химический состав химических элементов в расплаве, определяются с большими погрешностями. Для устранения возникших проблем, предлагается альтернатива существующим сертифицированным компьютерным комплексам и системам, акустическая компьютерная система Accusteel. Доказано, что компьютерная система Accusteel, это метод получения среднемассовой температуры, химического состава и поведения жидкой фазы расплава в режиме реального времени, обладают высокой достоверностью определяемые коэффициентом корреляции 0.93 – 0.99. Высокая достоверность получаемой информации, обеспечит полную автоматизацию конвертерного и электродугового производства стали.

The control of the main technological parameters, temperature and chemical composition of the melt steel in the EAF and BOF steelmaking is performed by the certified instruments. Analyze of results of these equipment is shown that the melt temperature and melt chemistry are determined with poor accuracy. Accusteel Acoustic Control System is an alternative for the existing certified computer systems. Testing of the Accusteel system was made together with analyzing of data from the existing systems. It is proved that the Accusteel system is determining the mass-average temperature, chemistry and behavior of the liquid phase of the melt in real time and has high reliability with the correlation coefficient of 0.93 - 0.99. High reliability of the Accusteel system information can provide possibility for full automation of BOF and EAF production.

Отсутствие корректного контроля технологических параметров, таких как температура и химический состав расплава, проблема выпуска годной продукции. Из требуемых условий [1] по температурному режиму плавки, сформулирован перегрев расплава 80 – 120°C, с целью обеспечения тех или

иных технологических приемов, необходимых для получения выпускаемой продукции.

Контроль основных технологических параметров, температуры, химического состава расплава, производят в конце плавки. Осуществляются эти технологические операции, с использованием сертифицированных компьютерных систем, приборов локального кратковременного погружения, термопары – температуры, взятием проб металла, на химический состав с последующим экспресс анализом химического состава расплава, интерферометром. Применение измерительных систем, для измерения температуры термопарой, взятием проб металла на химический анализ, связаны с риском для жизни сталеваров.

Использование некорректной информации, статистических данных, определяемых с большой погрешностью, температуры и химического состава расплава, позволило создать множество алгоритмов для автоматизированного управления технологическим процессом. Созданные, автоматизированные управляющие системы, не нашли своего применения, в практике управления технологическим процессом сталеплавильного производства, и работают в режиме советчика мастера. Ведение технологического процесса, остается зависимо от оператора, который имеет только визуальную информацию, о поведении расплава, в окно электродуговой печи или факела на горловине конвертера.

Альтернативой, имеющимся измерительным и управляющим компьютерным системам, разработана акустическая компьютерная система Accusteel. Акустическая компьютерная система, управления технологическим процессом Accusteel, косвенный метод контроля, базируется на физических [2] представлениях распространения акустических возмущений, в полости агрегата. Шум плавки большой интенсивности, результат взаимодействия сверхзвуковой струи окислителя или плазмы с расплавом, где частота звука (1):

$$f = c/\lambda; \quad (1)$$

где: f – частота звука, c – скорость звука, λ – длина волны акустического излучения. Из (1) скорость звука представляет:

$$c = \sqrt{kRT}; \quad (2)$$

где: k – показатель адиабаты, R – газовая постоянная, T – абсолютная температура, газа по которому распространяется акустическое излучение. Из уравнения (2) получаем T :

$$T = \frac{f^2 \lambda^2}{kR}; \quad (3)$$

Определяемая температура, в результате сканирования газового пространства печи, собственным акустическим излучением струи, является среднемассовой температурой газа в полости агрегата. Газы в полости сталеплавильного агрегата, результат химической реакции, выделяются из расплава. Выделяемые газы CO, по физическим свойствам[2], лучепрозрачные. Не

подвержены нагреву, лучеиспусканием факела струи окислителя и плазмы. Влияние в газе второй фазы, до 250 г/м^3 , на скорость распространения звуковых возмущений [3], незначительно. Имеющийся алгоритм, позволяет получать информацию о физико-химических свойствах расплава в реальном масштабе времени см. рис. 1,2.

На рис. 1, рис. 2 представлены схемы установки системы Accusteel и диаграммы, результат обработки шума плавки, акустической компьютерной системой, на электродуговой печи и конверторе. Где имеется информация, о поведении в реальном масштабе времени данных, по ходу технологического процесса, среднemasсовой температуры, химического состава, поведение шлака (шлак металлической эмульсии) расплава.

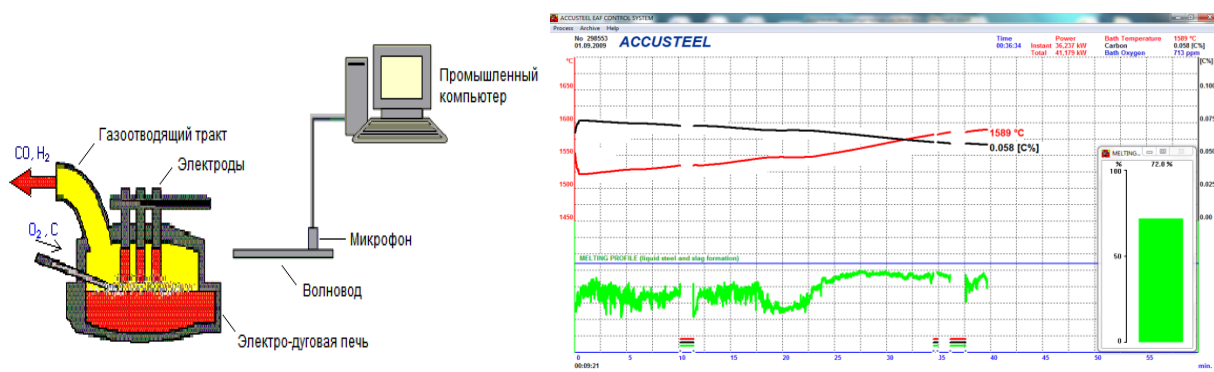


Рисунок 1 – Схема установки, компьютерной акустической системы Accusteel и диаграмма результатов обработки шума плавки, электродуговой печи

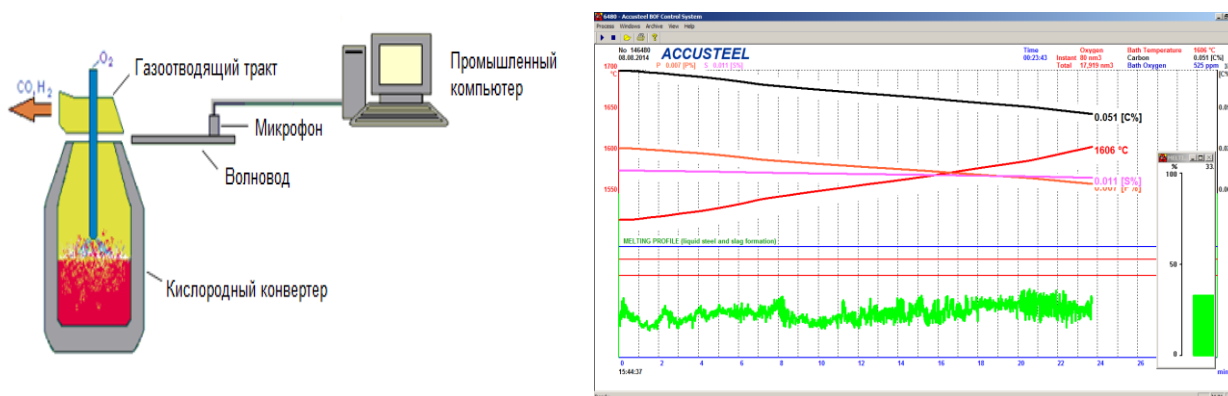


Рисунок 2 – Схема установки, компьютерной акустической системы Accusteel и диаграмма результатов обработки шума, конвертерной плавки

Для статистического и корреляционного анализа, данные температур и химического состава расплава, собирались с сертифицированных роботизированных компьютерных систем и системы Accusteel, установленных на агрегате, одновременно по ходу технологического процесса электродуговой печи садкой 100 т. Бразилия. Обработка получаемой информации производилась, по инженерному методу, компьютерной программой Excel. Тарировка, акустической компьютерной системы, осуществляется по средним статистиче-

ским, математически ожидаемым показаниям, технологических данных, полученных за 3 – 5 минут до конца плавки.

Результаты статистического анализа, данных двух последних замеров температур конца плавки, определяемых системой термопара и системой Accusteel электродуговой печи переменного тока, садкой 100 т представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты статистического анализа данных двух последних замеров температур конца плавки

	T1 ^{°C}	Ta1 ^{°C}	T2 ^{°C}	Ta2 ^{°C}
Количество	255	251	142	137
Среднее	1622	1628	1632	1629
СтандОткл	±34	±9	±34	±9

Из таблицы 1 видно, что среднее или математически ожидаемые данные [6-7] T1^{°C} и T2^{°C}- определяемые термопарой и Ta1^{°C} и Ta2^{°C} – определяемые Accusteel, разнятся незначительно. Оценка погрешности определения температур производилась, [6-7] СтандОткл – стандартным отклонением. Погрешность температуры определяемой роботизированным комплексом термопарой составляет ±34^{°C}, свидетельствуя о большом разбросе определяемых данных, по сравнению с данными для определяемых температур системы Accusteel ±9^{°C}. Оценка корректности получаемой информации, проводилась с помощью корреляционного анализа, результат которого представлен в таблицы 1.

Результаты корреляционного анализа данных таблицы 1, определяемых системой термопара и системой Accusteel, электродуговой печи переменного тока садкой 100 т, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа

Корреляционные функции	T1 ^{°C} (T2 ^{°C})	Ta1 ^{°C} (Ta2 ^{°C})
Корреляционный коэффициент	0.44	0.97

Из табл. 2 видно, что данные локальных температур определяемых компьютерной системой термопара, обладают коэффициентом корреляции 0.44, что является подтверждением некорректности информации, полученной термопарой. По сравнению с корректными 0.97, данными среднемассовых температур системы Accusteel. Причиной, некорректности данных, полученных компьютерной сертифицированной системой термопара, является локальность измерительного прибор, кратковременностью секунды съема и обработки информации, в неоднородной высокотемпературной среде, расплаве. Информация, получаемая локально корректна, только для места и времени получения

информации. Наличие интенсивных теплообменных процессов, в расплаве, делает измеряемую среду расплав, неоднородной и изменяющейся во времени.

Данные температур термопары и температур системы Accusteel не могут быть корректны, по отношению друг к другу, по причине физического несоответствия. Данные температуры, определяемые компьютерной системой термопара, локальны и случайны. Данные температур, определяемые компьютерной акустической системой Accusteel среднемассовые, определяемые непрерывно по времени хода плавки. Результаты корреляционных исследований, подтверждают некорректность температур, получаемых существующим локальным методом, сертифицированным компьютерным прибором термопарой.

Для проверки корректности получаемой информации, проведем графический анализ результатов корреляционного анализа, путем графического построением корреляционных данных функций температур определяемых, сертифицированной компьютерной системой термопара $T1^{\circ}\text{C}(T2^{\circ}\text{C})$.

Из рис. 3 функции $T1^{\circ}\text{C}(T2^{\circ}\text{C})$ видно, что данные температур, определяемые компьютерной системой термопара некорректны, имеют большой разброс данных характеризующийся R^2 – квадратичными отклонениями и коэффициентом корреляции 0.44. Свидетельствуя о некорректном случайном характере получаемой информации, быстродействующим, локальным способом, роботизированной компьютерной системой – термопара, в неоднородной высокотемпературной среде, расплаве.

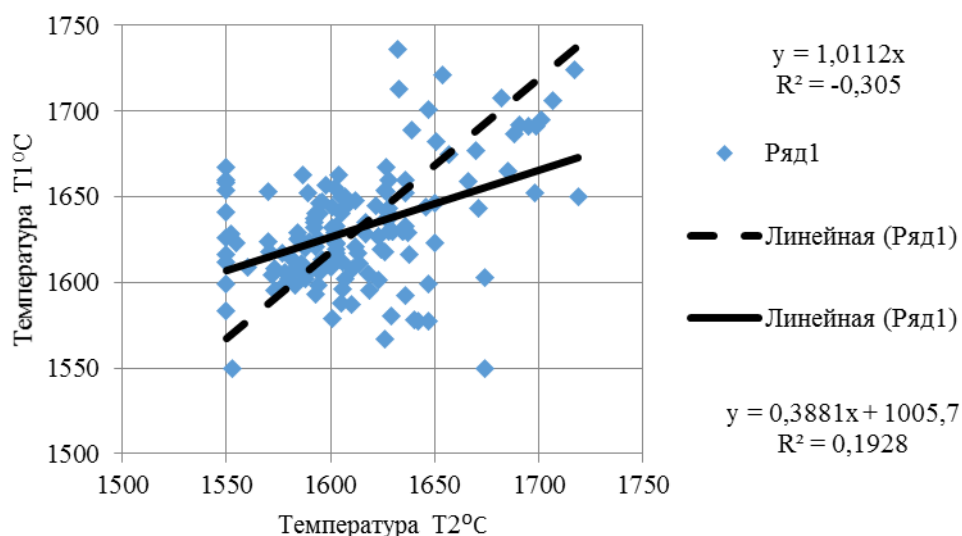


Рисунок 3 – Корреляция функции $T1^{\circ}\text{C}(T2^{\circ}\text{C})$ определяемых локальным методом температуры расплава, компьютерной системой термопара

Аналогично графического построения функции $T1^{\circ}\text{C}(T2^{\circ}\text{C})$ для сертифицированной компьютерной системы термопара, произведем графическое построение функции $Ta1^{\circ}\text{C}(Ta2^{\circ}\text{C})$ данных среднемассовых температур, получаемых компьютерной системой Accusteel.

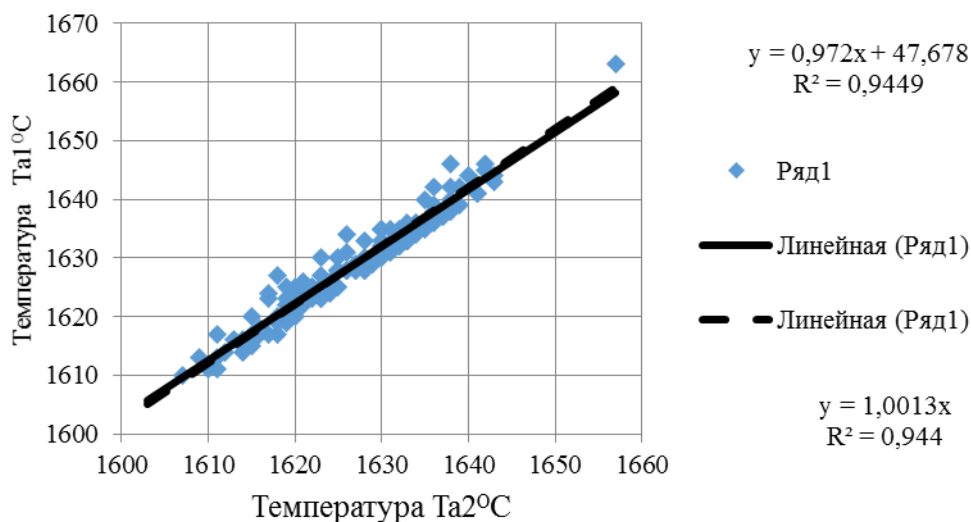


Рисунок 4 – Корреляция функции $Ta1^{\circ}C(Ta2^{\circ}C)$ среднемассовых температур определяемых акустической компьютерной системой Accusteel

Из рис. 4 функции $Ta1^{\circ}C(Ta2^{\circ}C)$ видно, что данные температур определяемые системой Accusteel, корректны, определяемый коэффициентом корреляции 0.97 с квадратичными отклонениями - R^2 подтверждающими корректность получаемой информации. Такая корреляция достижима, только в процессе получения среднемассовой, непрерывно получаемой по ходу процесса информации.

Если известна среднемассовая температура расплава, обладающая высокой достоверностью, получение информации о концентрации химических элементов расплава не представляет сложности. Металлургический процесс, базируется на термодинамических представлениях, изменениях концентрации химических элементов, в расплаве [4-5].

Корректная информация, о ходе технологического процесса, собранная в архив системой Accusteel, позволяет оптимизировать тепловой и шлаковый режимы технологического процесса. В качестве примера, рассмотрим диаграммы плавов, характеризующие процесс в начале эксплуатации системы Accusteel и после 25 суточной работы с системой Accusteel по выданным рекомендациям. Ранее, до установки системы Accusteel на электродуговой печи о ходе технологического процесса, оператор имел только визуальную информацию, наблюдая и управляя процессом, через технологическое окно печи.

Особенностью, технологического процесса выплавки стали, в современной электродуговой печи, использование энергии электрической и химической от подачи кислорода окислителя и природного газа, в соотношении 50 % на 50 %, при наличии «болота» до 10% расплава в печи от предыдущей плавки. На имеющийся в печи расплав, подают первую порцию шихты, скрапа и шлак образующих присадок. Производят его оплавление в течении 8-10 первых минут работы печи. После остановки процесса, подают вторую порцию шихты, доводя шихту до полного плавления. Возможен технологический процесс

на трех, четырех порциях шихты. Расчет шихты ведется с учетом качества скрапа и необходимости заполнения ванны металлом.

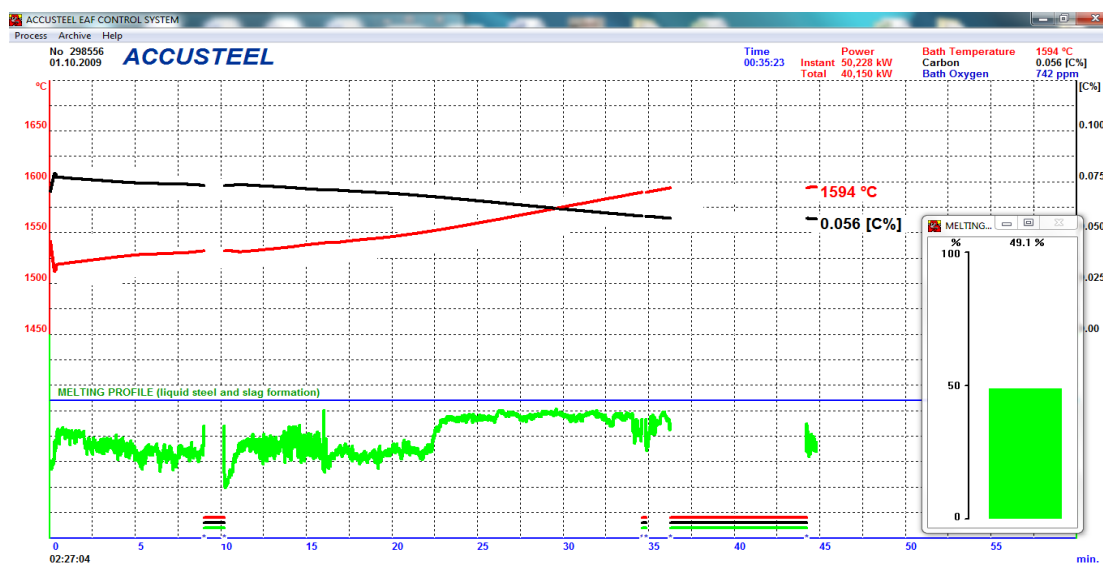


Рисунок 5 – Диаграмма плавки № 298556 от 01.10.2009 г

На рис. 5 представлена одна из первых плавки после установки системы на печи. Можно видеть, что плавление первой порции скрапа за первые 8 минут плавки не обеспечивает ее плавление, происходит только оплавление скрапа с уменьшением объема посаженного в печь металла. Плавление второй порции скрапа, обеспечивает формирование жидкой фазы ванны металла с шлаковой фазой, что происходит на 23 минуте плавки. Колебания зеленой кривой свидетельствует о скачивании шлаковой фазы закрывающей электроды, что приводит к нарушению технологического процесса, потери энергии. В результате такой работы израсходовано 40.15 мегаватт электрической энергии, с учетом вышесказанного на передел истрачено 80.3 мегаватта энергии, с температурой выпуска стали 1594°C. Визуализация технологического процесса, позволила увидеть недостатки и сформулировать рекомендации. Работа технологического процесса по рекомендациям, выданным с использованием информации полученной с системы Accusteel. На рис. 6 представлен результат оптимизации процесса выплавки стали.

Из рис. 6 виден результат оптимизации технологического процесса, в течении двухнедельного использования информации, с системы Accusteel. Изменен энергетический и шлаковый режим плавки, шлак удерживали в печи, тем самым предотвращена работа, открытой дугой. В результате изменения технологического процесса, плавка сократилась с 35 минут 23 секунд до 33 минут работы печи, что привело к снижению затрат на 2.9 мегаватта электрической энергии и повышением температуры выпуска расплава с 1594°C до 1610°C увеличив температуру выпуска на 16°C. Изменение шлакового режима плавки, предотвратило зависания скрапа. Дальнейшая оптимиза-

ция процесса может привести к повышению производительности печи с существенной экономией энергетических затрат.

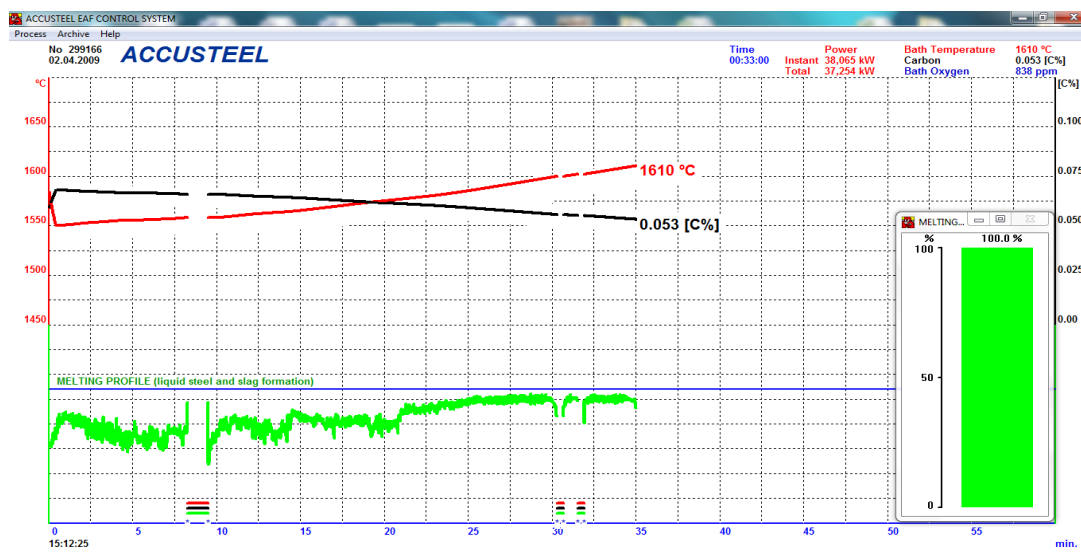


Рисунок 6 – Диаграмма плавки № 299166 от 02.04.2009г.

Рассмотрим, опыт использования системы Accusteel, на одном из самых передовых предприятий США, фирмы Nucor, электродуговой печи постоянного тока садкой 150 т. Контроль и управление технологическим процессом, осуществляется за 2 – 3 минуты до конца плавки, роботизированным комплексом определением температуры термопарой, расчетным путем по определяемой температуре концентрации углерода %C в расплаве.

Результаты статистического анализа определяемых двух последних температур конца плавки и концентраций углерода, в расплаве 150 т. электродуговой печи постоянного тока, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты статистического анализа определяемых двух последних температур конца плавки и концентраций углерода

	T1°F	Ta1°F	T2°F	Ta2°F	%C1	%Ca1	%C2	%Ca2
Количество	148	151	99	113	142	146	99	119
Среднее	2990	2973	2953	2969	0.036	0.035	0.036	0.035
СтанОткл	±41	±27	±59	±30	±0.003	±0.004	±0.003	±0.005

Из табл. 3 видно, что средние данные определяемых температур термопарой концентрации углерода и системой Accusteel, разнятся не значительно. Стандартные отклонения – СтанОткл, характеризующие погрешность температур расплава, определяемых компьютерной системой термопара, вдвое превосходят погрешности температур, определяемых системой Accusteel. Произведем оценку корректности получаемой информации.

Результат корреляционного анализа данных таблицы 3, определяемых температур и концентраций углерода расплава, представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Результат корреляционного анализа

Корреляционные функции	T1°F (T2°F)	Ta1°F (Ta2°F)	%C1%(C2)	%Ca1%(Ca2)
Корреляционный коэффициент	0.72	0.98	0.22	0.99

Из табл. 4 видна некорректность температур определяемых термопарой и концентрации углерода, определяемых роботизированным комплексом, по сравнению с корректной информацией определяемых данных системой Accusteel.

Произведем проверку получаемой информации графическим построением исследуемых функций.

Из рис. 7 видно, что данные температур, определяемые локальным методом, системой термопара, имеют высокий коэффициент корреляции 0.72. Графическое построение корреляционных функций указывает на разброс данных определяемых квадратичными отклонениями R^2 . Свидетельствуя о случайном характере получаемой информации, определяемой компьютерной системой контроля температуры – термопара.

Результаты графического построения данных функций корреляционного анализа данных среднemasсовых температур определяемых системой Accusteel рис. 8.

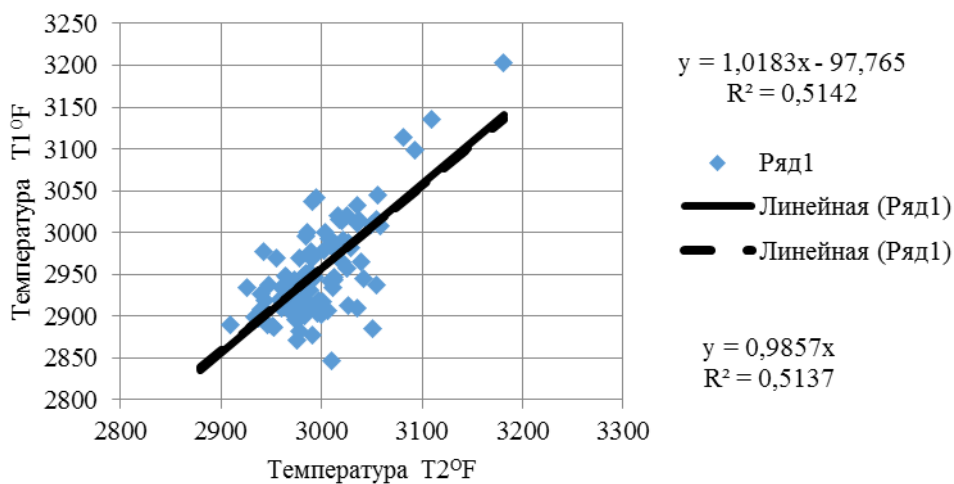


Рисунок 7 – Корреляция функции T1°F (T2°F), температур определяемых локальным методом компьютерной системой термопара

Из рис. 8 видно, что данные среднemasсовых температур определяемые системой Accusteel корректны, о чем свидетельствуют коэффициент корреляции 0.98 с квадратичными отклонениями $R^2 = 0.96$.

Одним из основных технологических параметров, является содержание концентрации %C – углерода в расплаве. Контроль концентрации углерода в

расплаве на печи, ведется компьютерной системой, на базе определяемых локальных случайных температур, системой термопара.

Результаты графического построения расчетных данных по локальным некорректным данным определяемых температур определяемых роботизированным комплексом, представлены на рисунке 9. Из рис.9 видно, что данные концентрации углерода, полученные расчетным путем с использованием некорректных данных температур имеют большой разброс, о чем свидетельствует R^2 квадратичные отклонения.

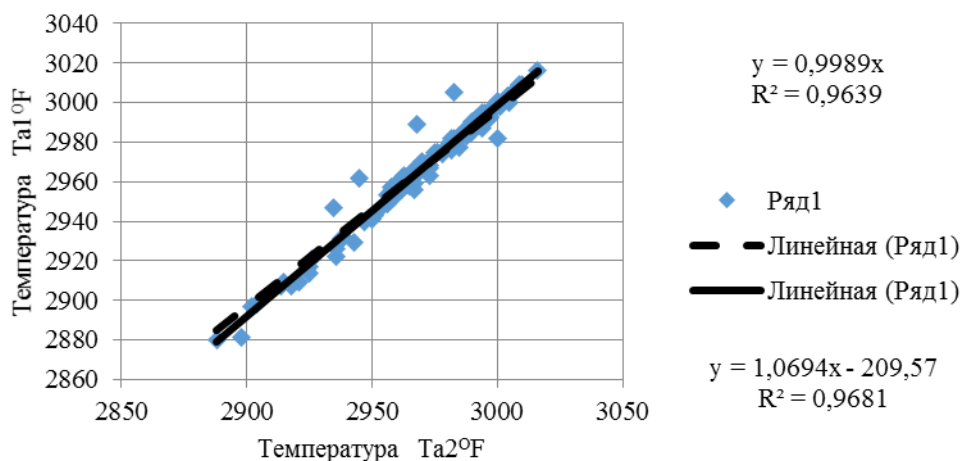


Рисунок 8 – Корреляционная функция $Ta1^{\circ}F (Ta2^{\circ}F)$ среднемассовых температур системы Accusteel

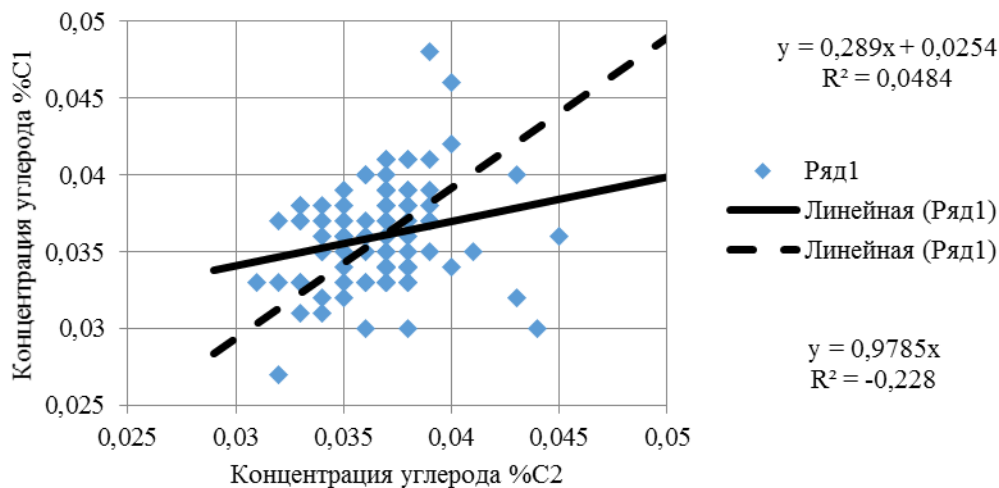


Рисунок 9 – Корреляция функции $\%C1(\%C2)$, концентрации углерода определяемая компьютерной системой на базе температур системы термопара

Результаты построения корреляционных функций, расчетных данных среднемассовой концентрации углерода $\%C$ по корректным данным определяемых температур рисунок 10.

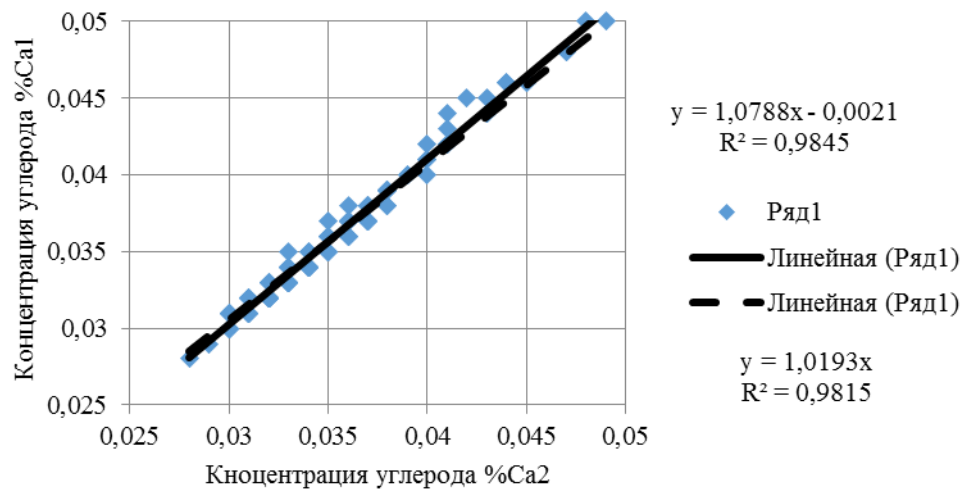


Рисунок 10 – Корреляция функции %Ca1(%Ca2), среднемассовой концентрации углерода, определяемая компьютерной системой Accusteel, на баз температур системы Accusteel

Из рис. 10, видна корректность определения концентрации углерода в расплаве, на базе данных температур определяемых системой Accusteel. Корректность, определяемых среднемассовых температур системой Accusteel, позволяет расчетным путем корректно, определять концентрации химических элементов в расплаве. О чем свидетельствует коэффициент корреляции определяемой среднемассовой концентрации углерода %C 0.99 и данные квадратичных отклонений R²- 0.98.

Рассмотрим технологические особенности процесса выплавки стали по диаграммам хода технологического процесса в начале оптимизации процесса и результат оптимизации. Диаграмма, визуализации основных технологических показателей, процесса плавки в электродуговой печи постоянного тока садкой 150 т представлены на диаграмме хода технологического процесса рис. 11.

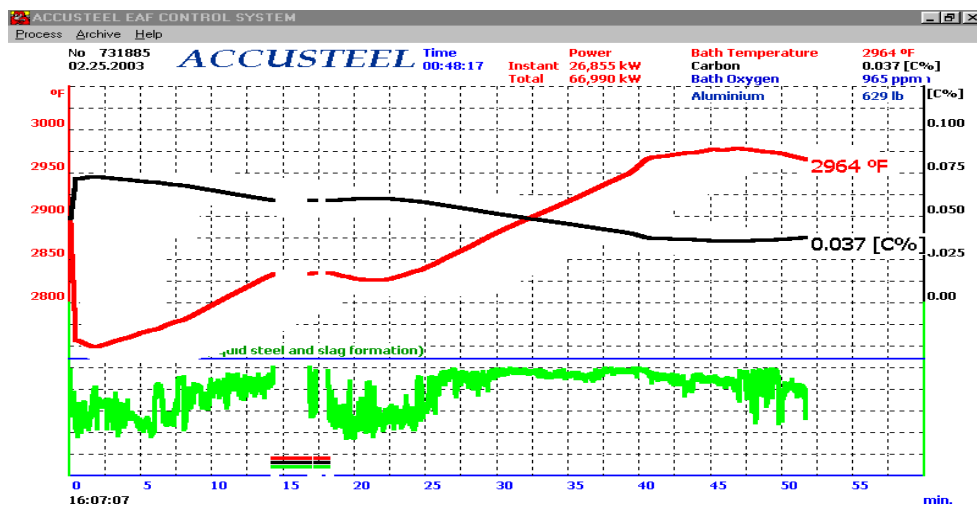


Рисунок 11 – Диаграмма хода технологического №731885 от 02.25.2003 г

Диаграмма хода технологического процесса, зафиксированная в начале испытаний системы Accusteel, на электродуговой печи постоянного тока, представлена на рис.11. Из рисунка видно, что с 27 минуты процесса, сформировалась ванна расплава, наступает период рафинирования расплава, в закрытом режиме дуги. Начиная с 40 минуты, в течении 12 минут процесса, процесс ведут открытой дугой, причиной тому интенсивное скачивание шлаковой фазы закрывающей дугу.

После 9 месяцев эксплуатации системы Accusteel рис.13, технологический процесс плавки оптимизирован. Оптимизация процесса заключалась в изменении шлакового и энергетических режимов плавки. Цикл плавки с 72 минут, сократился до 48 минут, с экономией 6 мегаватт энергии как электрической, так и энергии от химической реакции кислородного дутья на плавку.

В результате использования информации с системы Accusteel, в течении девяти месяцев рис.14 производительность 150 т электродуговой печи постоянного тока в среднем возросла с 21-22 плавков в сутки до 30.

Если в электродуговом переделе контроль процесса, замер температуры и взятием пробы металла, осуществляю через технологическое окно печи, без остановки процесса, то для конвертерного передела, контроль возможен после остановки процесса или с использование роботизированных систем по ходу.

Рассмотрим возможности использования системы Accusteel на конвертере, где используется компьютерная система контроля температуры расплава термопара «бомба». Исследования проводились, с использованием системы Accusteel на конвертере садкой 80 т, фирма Mannesmann Бразилия. Известно, что конвертерный передел, контролируется визуально по факелу на горловине конвертера, с использованием опыта оператора. Контроль температуры по ходу плавки, за 3-4 минуты или за 15-20 % дуть, до конца процесса, без остановки процесса, осуществляют компьютерной системой термопара, путем погружения в расплав термопары «бомба». Химический состав расплава, определяется локальным методом, взятием пробы расплава, на экспресс анализ, в конце плавки после остановки технологического процесса.

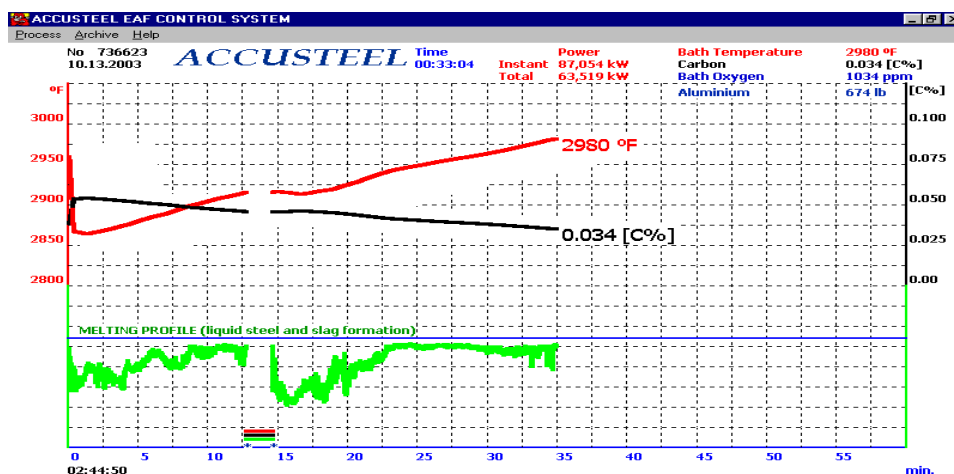


Рисунок 13 – Диаграмма хода технологического №736623 от 10.13.2003 г.



Рисунок 14 – Диаграмма среднемесячной производительности на электродуговой печи постоянного тока садко 150т., в результате оптимизации технологического процесса, использованием информации с системы Accusteel

Результаты статистических данных температур определяемых погруженной термопарой «бомба» за 3 – 4 минуты до конца технологического процесса и химического состава расплава в конце плавки, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты статистических данных температур и химического состава расплава в конце плавки

	T1 ^{°C}	Ta1 ^{°C}	T2 ^{°C}	Ta2 ^{°C}	%C1	%Ca1	%C2	%Ca2
Количество	100	100	100	100	100	100	100	100
Среднее	1617	1616	1560	1618	0.038	0.042	0.19	0.041
СтанОткл	±27	±16	±24	±17	±0.0111	±0.004	±0.21	±0.004

Продолжение таблицы 5

%P1	%Pa1	%P2	%Pa2
100	100	100	100
0.01	0.01	0.012	0.013
±0.0037	±0.0035	±0.0035	±0.0036

где: T1^{°C} – температура определяемая термопарой «бомба», вторая температура, для проведения статистического и корреляционного анализа взята температура T2^{°C} определяемая термопарой в ковше. Для статистического и корреляционного анализа химического состава расплава, использовались данные определения концентрации %C – углерода в конверторе %C1 и %C2 для фосфора %P – концентрации фосфора в конверторе %P1 и фосфор %P2 в ковше. Данные по температуре и химическому составу, определяемые системой Accusteel, Ta1^{°C} – температура, концентраций химических углерода %Ca1 и фосфора %Pa1, определялись во время технологического процесса, измерений производимых «бомба», конце плавки 100 % дутья, температур Ta2^{°C}, концентраций углерода %Ca2, фосфора %Pa2.

Из табл. 5 видно, что средние температуры $T1^{\circ}\text{C}$ и $Ta1^{\circ}\text{C}$ совпадает. Имеется разница в СтанОткл – стандартных отклонениях, погрешностях определения температур и химическому составу расплава, разницу можно объяснить локальностью определения данных для термопары, неоднородностью среды расплава, в котором имеет место интенсивные теплообменные процессы, сопровождаемые конвективными течениями, обусловленные наличием градиента температур. Для данных определяемых системой Accusteel, среднемассовых температур, характеризующих теплофизические свойства расплава. Для оценки достоверности получаемой информации, проведен корреляционный анализ, данных определяемых компьютерными системами.

Результаты корреляционного анализа данных таблицы 5 температуры химического состава расплава, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты корреляционного анализа

Корреляционные функции	T1(T2)	Ta1(Ta2)	C1(C2)	Ca1(Ca2)	P1(P2)	Pa1(Pa2)
Коэффициент корреляции	0.03	0.97	-0.022	0.97	0.6	0.97

Результаты корреляционного анализа табл.6, подтверждают некорректность получаемой информации, температур определяемых системами термопара и химического состава расплава. Корреляция данных определяемых температур и концентрации химического состава 0.97, свидетельствует о корректности определяемых данных, системой Accusteel.

Оценка работы компьютерных систем, контроля основных технологических показателей, на конверторе садкой 300т. Россия НЛМК. Получение информации о работе компьютерных систем контроля, установленных на конвертере, требовало проведения плавов с промежуточной остановкой технологического процесса. Промежуточная остановка технологического процесса, проводилась после 80% дутья, на остановке производились замеры температуры термопарой с отбором пробы металла на химический анализ и замером температуры с отбором металла на химический анализ, в конце дутья 100% дутья. Данные заносились в таблицы, и сопоставлялись с данными определяемыми системой Accusteel. Плавки, записанные в архиве системы Accusteel, анализировались путем получения диаграмм рис.15, получаемые данные температур и химического состава заносились в таблицы данных плавов для сравнения с данными работающих на агрегате компьютерных систем, определения температуры термопарой, с данными компьютерной системы экспресс анализ химического состава.

Сравнительные результаты, статистической обработки данных, температур и химического состава расплава плавов, с промежуточной остановкой 80% - 100% дутья, с данными температур и химического состава расплава, с данными полученными системой Accusteel, представлен в таблице 7.

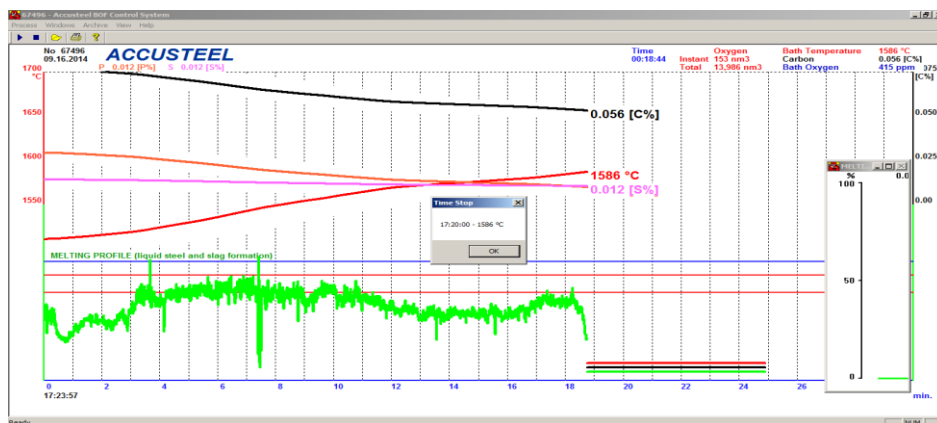


Рисунок 15 – Диаграмма плавки № 67496 от 09.16.2014г. 80% дутья

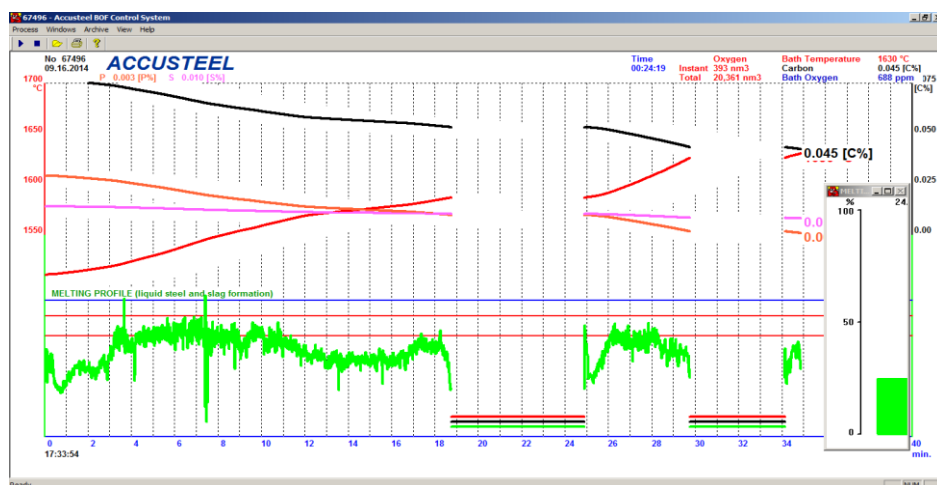


Рисунок 16 – Диаграмма плавки № 67496 от 09.16.2014г. 100% дутья

Таблица 7 – Сравнительные результаты статистической обработки данных температур и химического состава расплава плавков

Конвертор - 80% продувки								
	T1C ⁰	Ta1 C ⁰	%C1	%Ca1	%S1	%Sa1	%P1	%Pa1
Количество	49	65	57	65	59	65	59	65
Среднее	1572	1595	0.61	0.054	0.018	0.012	0.024	0.011
СтанОткл	±25	±23	±0.27	±0.006	±0.006	±0.001	±0.010	±0.004

Продолжение таблицы 7

Конвертор - 100% продувки							
T2 ⁰ C	Ta2 °C	%C2	%Ca2	%S2	%Sa2	%P2	%Pa
64	65	53	65	53	65	52	65
1680	1621	0.049	0.047	0.012	0.010	0.005	0.005
±23	±22	±0.017	±0.005	±0.004	±0.001	±0.002	±0.003

Из таблицы 7 можно видеть парадоксальные результаты при сравнении результатов представленных в литературе[5] таблица 8.

Изменение концентрации углерода от температуры расплава представлены в таблице 8[5].

Таблица 8 – Изменение концентрации углерода от температуры расплава

%C-Углерод	4	2	1.5	1	0.5	0.2	0.1	0
T-металла ^{°C}	1180	1388	1428	1464	1495	1522	1530	1539

Данные таблицы 8 свидетельствует, что в расплаве T1^{°C} – температура 1572^{°C}, не может сопровождаться концентрацией углерода %C - 0.61, которая может соответствовать 1500^{°C}. Аналогичная ситуация с конечной температуре T2^{°C} - 1680^{°C} концентрация углерода %C2 0.049. В результате дальнейших исследований, конечных температур плавки, определяемых компьютерной системой термопара, была установлена фальсификация результатов определения данных температуры [8]. Температуры, химический состав расплава определяемые системой Accusteel, согласуются с результатами, опубликованными в литературе[5-6].

Корреляционный анализ данных плавки с промежуточной остановкой 80% - 100% дутья представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Корреляционный анализ данных плавки с промежуточной остановкой 80% - 100% дутья

Корреляционные функции	T1 ^{°C} (T2 ^{°C})	Ta1 ^{°C} (Ta2 ^{°C})	%C1(%C2)	%Ca1(%Ca2)
Коэффициент корреляции	0.08	0.93	0.065	0.92

Продолжение таблицы 9

%S1(%S2)	%Sa1(%Sa2)	%P1(%P2)	%Pa1(%Pa2)
0.8	0.9	0.6	0.9

Данные корреляционного анализа компьютерных систем установленных на агрегате представленные таблицы 9, свидетельствуют, что данные температур и концентраций химического состава расплава, определяемые компьютерными системами локального определения системой термопара и системой экспресс анализом интерферометрией, некорректны, соответственно низкой достоверностью. Причиной некорректности, определяемых сертифицированными приборами, локальность и быстрое действие определения данных в высокотемпературной неоднородной среде, расплава. Данные определяемые системой Accusteel, среднемассовых температур и химического состава расплава, корректны, о чем свидетельствует коэффициентом корреляции 0.9 – 0.93.

Анализ технологического процесса позволил определить недостатки и сформулировать рекомендации по изменению технологического процесса.

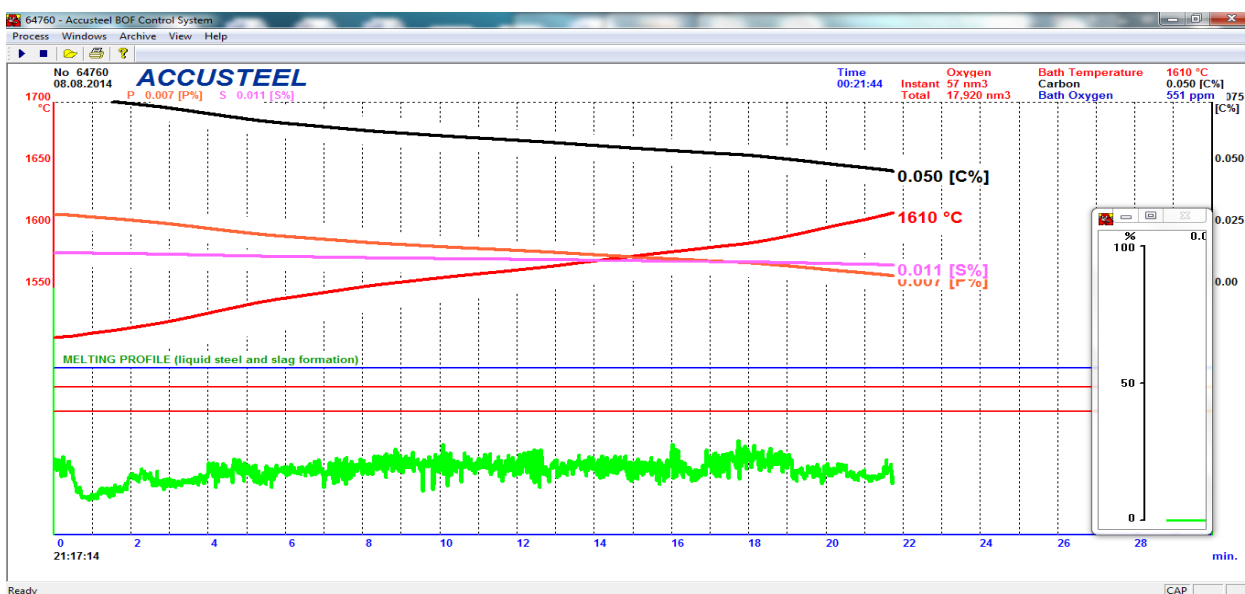


Рисунок 17 – Диаграмма ведения технологического процесса плавки № 64760 от 08.08.2014 г.

Анализ существующей технологии принятой на заводе, по диаграммам системы Accusteel, установил, что имеет место работа технологического процесса, с низкой шлаковой фазой, не закрывающим сверхзвуковую струю окислителя, истекающего из сопел фурмы, рис.17. Такое ведение технологического процесса, приводит к образованию открытого, высокотемпературного факела, горения расплава в окислителе с температурой до 4000°C в стехиометрии. Открытый факел, препятствует усвоению выделяющегося тепла расплавом, перегревает футеровку в шлаковом поясе, что приводит к ее разрушению. Для устранения этого недостатка, выданы рекомендации по ведению шлаковой кривой, в области, отмеченной двумя красными линиями на диаграмме плавки.

Прошло десять дней работы с системой Accusteel, попытка усовершенствования шлакового режима плавки увенчалась успехом рис. 18.

Из рис.18, диаграммы технологического процесса плавки, отражено совершенствование шлакового режима плавки, поведение шлаковой кривой приближается к требованию рекомендации.

На рис.19, показан результат воздействия на шлаковую фазу тем, или иным, технологическим приемом, таким как изменение положения фурмы, подаваемым расходом кислорода, присадок извести и других материалов. Операторы убедились в возможности управления, формированием шлак металлической фазы, в реальном времени, необходимой для ведения технологического процесса.

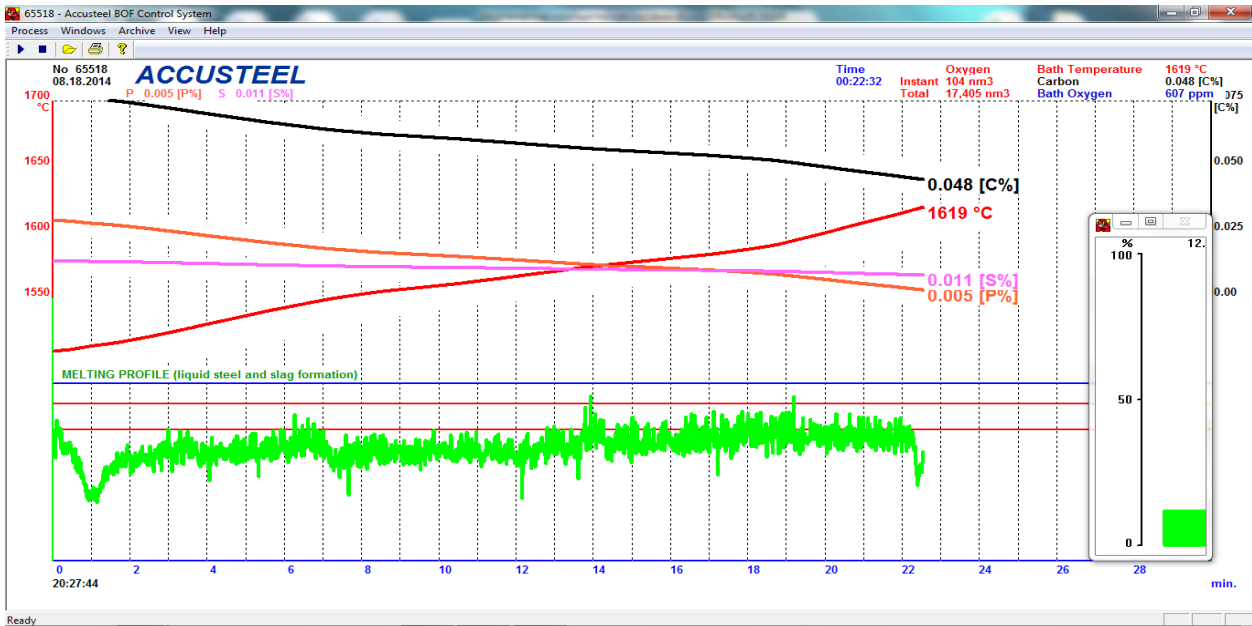


Рисунок 18 – Диаграмма ведения технологического процесса плавки № 65518 от 08.18.2014 г.

Прошло больше, двух месяцев, использования системы Accusteel. Оператору научились управлять шлаковым процессом, путем присаживаемых материалов. При этом повысилась температура с 1610°C рис.17 до 1635°C рис.20 выпуска полупродукта, расплава. Изменение технологического процесса, позволило увеличить температуру выпуска расплава в среднем на 15°C, что может существенно изменить энергетические затраты.

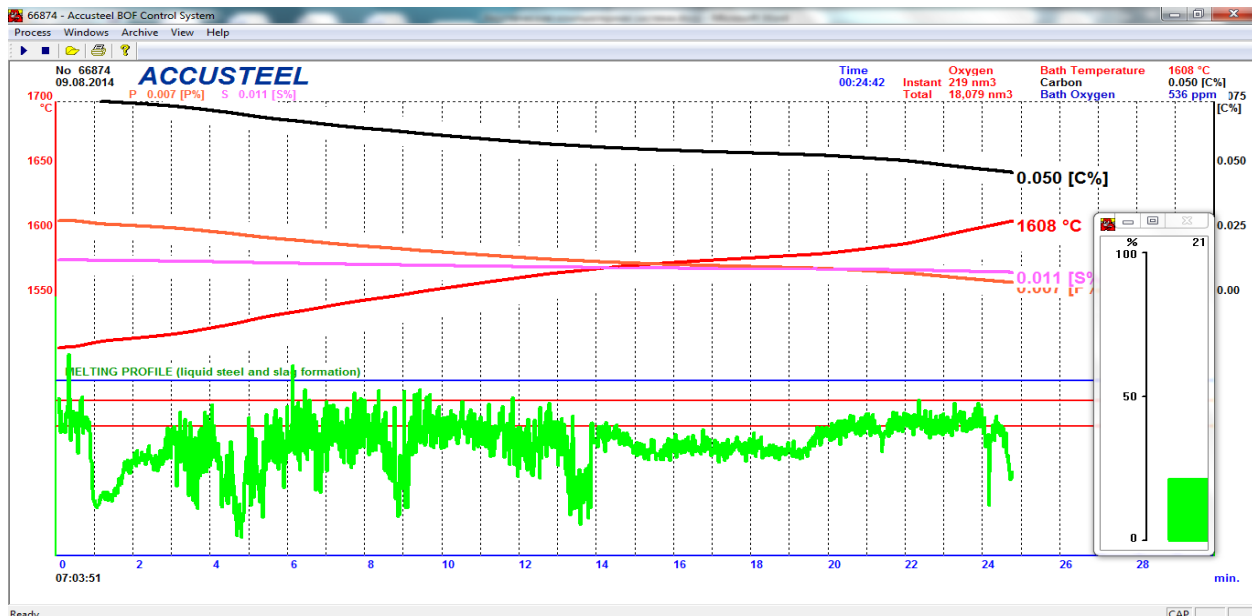


Рисунок 19 – Диаграмма ведения технологического процесса плавки № 66874 от 09.08.2014 г.

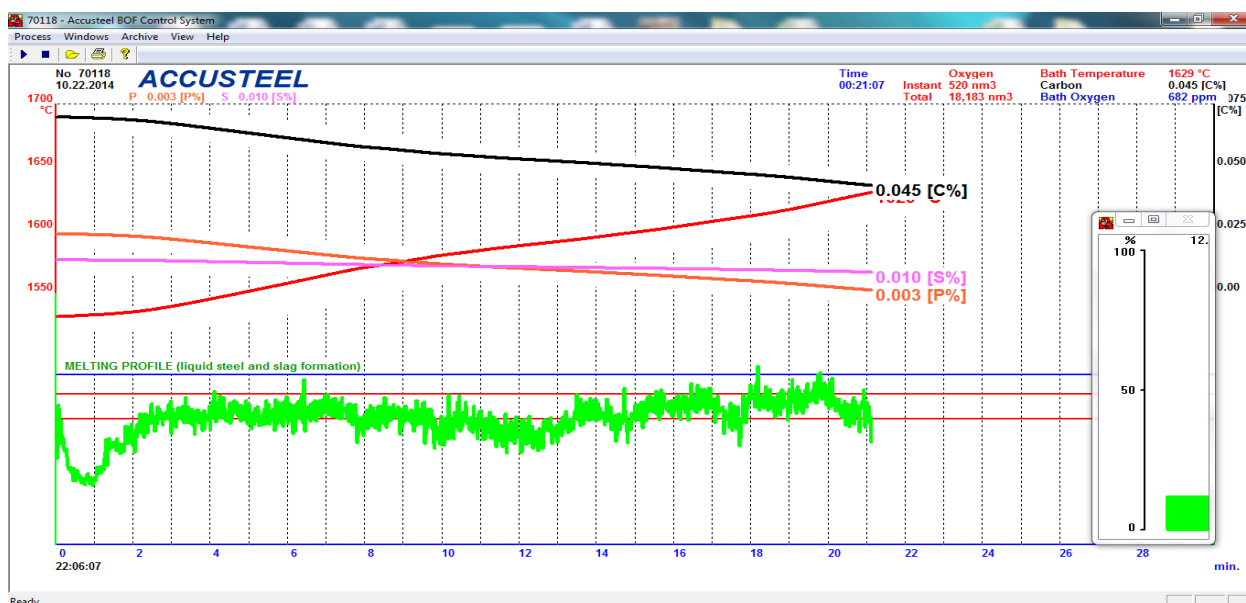


Рисунок 20 – Диаграмма ведения технологического процесса плавки № 70118 от 10.22.2014 г.

Выводы:

– Представлены результаты статистического и корреляционного анализа, технологических данных температур и химического состава расплава в электродуговых печах и конвертерах. Установлено, что сертифицированные компьютерные системы контроля технологического процесса, определяемые данные температур и химического состава расплава, обладают коэффициентом корреляции 0.02 – 0.72, свидетельствуя о некорректности получаемой информации. Отсутствие корректной информации вынуждает металлургов производить выпуск стали с перегревом на 80 - 120°C;

– Альтернативой, сертифицированным компьютерным системам определения температуры и химического состава расплава, предлагается акустическая компьютерная система Accusteel. Доказано, что система Accusteel метод определения температуры и химического состава расплава в режиме реального времени, корректна, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции 0.93 – 0.99;

– Система Accusteel, позволяет получать информацию в реальном времени по ходу плавки о поведении шлак металлической эмульсии, что позволяет контролировать и управлять шлаковым и энергетическим режимом плавки. Управление энергетическим (дутьевым, электрическим) и шлаковым режимом плавки, позволяет оптимизировать процесс с повышением до 30% производительности агрегата с экономией 20% затрачиваемой энергии, 10% повышение выхода годной продукции, снижению раскислителей и ферросплавов, ликвидацией выносов, выбросов, сокращением образования вредных газов, улучшением труда сталеваров;

– Получаемая, системой Accusteel информация, передается в компьютерные сети, обеспечив полное управление технологическим процессом. Ба-

зис для создания компьютерной автоматизированной системы, управления технологическим процессом АСУТП - технологии XXI века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт Metallургия стали. <http://metall-splav.ru/>
2. Х. Кухлинг Справочник по Физике . – М. : Мир. 1982г. – 519с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа . – М. : Наука. 1978г. – 736с.
4. Бигеев А.М. Metallургия стали // Челябинск «Metallургия» Челябинское отделение 1988. – 480 с.
5. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов // Издательство «Вища школа», 1986. 280 с.
6. Prof. Dr. P. Profos Herausgeber Handbuch : ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИМЕРЕНИЯ Том 3. AUFLAGE VULKAN-VERLAG-ESSEN 1984. 490 p.
7. Румшинский Л.З. – «Некоторые элементы теории вероятности». Наука Издательский дом, Москва, 1976. – P.239
8. Шлик О. Исследование технологического процесса выплавки стали в конвертере 300т. ОАО «НЛМК» акустической компьютерной системой Accusteel. II Международная научно - техническая конференция 7 – 9 октября 2015 года Научно технический прогресс в черной металлургии г. Череповец Сборник трудов с.99.

УДК 539.4.015+539.26+620.183.256+620.187.3+621.375.826+
621.791.052+535.231.11

А.М. Апасов

г. Юрга

ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Проведен комплексный анализ разрушения изделий, конструкций и объектов, работающих в экстремальных режимах. Предложены меры по предотвращению техногенных катастроф.

The integrated analysis of destruction productions, constructions and objects is carried out, which runs at the extreme mode. The measures on prevention the technogenic catastrophes is offered.

Введение

Реальная эффективность процессов производства специальных сталей и сплавов особо высокого качества позволяет решать задачу изготовления деталей и узлов из металла с высокой степенью физической, химической и структурной однородности, что обеспечивает в дальнейшем эксплуатационную надежность и долговечность изделий ответственного назначения, работающих в экстремальных условиях [1].

Тем не менее, несмотря на достигнутый качественный уровень развития промышленных технологий, в частности, в области специального машиностроения, техногенные катастрофы еще имеют место, а опасность аварий изделий и конструкций существует всегда. Аварии таких конструкций или определенные отклонения в режимах их работы могут приводить к весьма серьезным последствиям [2,3]. Отказ в работе или разрушение практически неизбежно завершают функционирование любого изделия или объекта и могут привести к необратимым гуманитарным и экологическим последствиям не только в пределах одного региона, государства, но и более того, в планетарном масштабе [4-10].

Анализ разрушения нефтегазовых скважин позволил выделить следующие основные виды возможных аварийных ситуаций: открытые фонтаны и выбросы; взрывы и пожары; падение буровых (эксплуатационных) вышек, разрушение их частей [11].

При исследовании причин аварий, имевших место на *нефтегазовых скважинах*, выявлено, что 47 % аварий происходит в результате сочетания технических и организационных причин, 36 % аварий – по техническим и 17 % – по организационным причинам. При этом среди технических причин, которые привели к авариям, преобладали нарушения технологии (41 %).

Анализ аварийности на *объектах промысловой подготовки и переработки углеводородов* позволяет сделать следующие выводы о причинах аварий. Значительную роль играют организационные причины (58 % всех причин). В структуре технических причин нарушение технологии составляет 30 %.

Аварийность на магистральных нефтепродуктопроводах – один из главных критериев опасности, представляющей прямую угрозу населению и окружающей среде. При этом в качестве определяющего фактора следует выделить реальные утечки перекачиваемого продукта, которые классифицируются по масштабам на два вида.

1. Аварии, связанные с полным или частичным разрушением участка трубопровода. Утечки опасных жидкостей, возникающие в результате аварий, сопровождаются значительным локальным выбросом продукта, остановкой перекачки и необходимостью оперативной ликвидации тяжелых последствий загрязнения почвы, растительности, водоемов и т.п.

2. Утечки небольшого объема обусловлены сквозными дефектами стенки трубы, сварных швов, трубопроводной арматуры, которые приводят к разрушению трубы. Такие утечки нефти и нефтепродуктов в случае их несвоевременного обнаружения и устранения могут повлечь последствия, сопоставимые с серьезными авариями.

Среди технических причин аварий на нефтепродуктопроводах преобладали несанкционированные врезки (32 %) и дефекты в теле трубы (24 %), которые сформировались в процессе ее технологического изготовления и в дальнейшем при эксплуатации.

Перечень *технологических* поражений России за последние двадцать лет не оставил равнодушным практически никого. Но, пожалуй, самое главное: мы просто в упор не заметили новых трендов в энергетике, оставшись одной из самых энергоемких экономик в мире. Катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС стала лишним свидетельством этому [12]. Точные данные о том, почему она произошла, появятся позже, но ключевые моменты можно разобрать уже сегодня. Что очевидно уже сейчас – это снижающийся год от года профессионализм персонала. Это последствия культурного сдвига: во главе сложных и опасных объектов и систем, построенных предыдущими поколениями, мы пытаемся ставить менеджеров, окончивших бизнес-школу и не знающих ничего, например, о законах сохранения энергии (в нынешних средних школах этому учат плохо), но прекрасно понимающих, что такое рост капитализации компании и хорошее настроение акционеров. Как только происходит катастрофа, хорошее настроение акционеров улетучивается, а сложность, опасность и необратимые последствия свершившейся глобальной катастрофы остаются. Как признаются сами энергетики, такие вещи происходят прежде всего из-за того, что профессионализм за последние годы на всех уровнях управления в их отрасли сильно упал – у строителей-энергетиков, эксплуатационников, проектировщиков, ученых в исследовательских институтах. В результате ресурс по сути советской энергетической инфраструктуры подошел к критическому порогу, ее необходимо просто обновлять.

17 августа 2009 года навсегда войдет в историю мировой энергетики. Катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС со всей очевидностью показала, что когда-то лучшая в мире советская энергетическая система себя исчерпала, соблюдение *технологической* дисциплины оказалось невозможным, а техническая политика постсоветского руководства отрасли оказалась несостоятельной. До последнего времени считалось, что советские ГЭС входят в число самых надежных в мире. Но даже самые сверхнадежные объекты, способные выдержать ядерный взрыв, *могут разрушаться* – и не потому, что их проектировщики тридцать лет назад допустили ошибку, а потому, что *система управления и технической диагностики* ответственных узлов станции *существенно упростилась и деградировала*. Технологическая надежность уникальных турбин и их реальные эксплуатационные характеристики за тридцатилетний срок интенсивной работы перестали соответствовать паспортным данным.

Постановка задачи

Проблема разрушения, освещенная для различных условий нагружения и эксплуатации во многих монографиях и обзорах, представляет сложный комплекс научных и технических вопросов. Одним из наиболее важных направлений, способствующих развитию представления о природе разрушения, является изучение завершающего этапа нагружения – распространения разрушающей трещины. Это направление, начало которому положил Гриффитс, продолжил затем ряд исследователей, в частности Орован и Ирвин. В Советском Союзе на математическом фундаменте, построенном Г.В. Колосовым и Н.И. Мухелишвили, оно развивалось С.А. Христиановичем, Г.И. Баренблаттом, М.Я. Леоновым, Г.П. Черепановым, В.В. Панасюком, Л.Б. Зуевым и многими другими. Определенный прогресс в экспериментальной области достигнут благодаря работам Я.Б. Фридмана с сотрудниками, которые изучали взаимосвязь кинетики разрушения с условиями нагружения и запасом упругой энергии, а также трудам В.М. Финкеля [13,14].

Совершенно недостаточно освещены в литературе источники зарождения, формирования и развития трещин, их ветвление, зависимость морфологии поверхности разрушения от режима роста трещин. Заслуживают внимания и такие вопросы, как торможение трещины, и в докритическом состоянии, когда это просто, и в закритическом, когда лавинное распространение хрупкой трещины превращает вопрос если не в проблемный, то безусловно в чрезвычайно сложный технически. Практически в настоящее время отсутствуют работы по исследованию и разработке методов предотвращения разрушения и, соответственно, катастроф.

Очевидная научная значимость приведенных выше направлений сочетается с тем, что понимание кинетики разрушения и знание основных параметров роста трещины является уже сегодня крайне необходимым для задач конструирования и обеспечения безопасности функционирования изделий и объектов ответственного назначения.

Следует отметить, что по статистическим данным США стоимость контрольных операций при производстве изделий военно-промышленного комплекса (ВПК) достигает 25...35 % от общей стоимости изделия. В строительной индустрии эти затраты составляют 10...12 %. В России расходы на контроль и диагностику, как правило, ниже в 15...20 раз.

Объемы затрат на контроль прямо связаны с количеством отказов. Например, на 1000 российских газопроводов число отказов составляет 5, тогда как в США этот показатель не превышает 0,67, на нефтепромысловых трубопроводах количество отказов 190 и 18 соответственно [15].

В связи с этим очень важно уже на этапе процесса *технологического изготовления* деталей, узлов, изделий и конструкций из специальных сталей, в частности, коррозионно-стойких, жаропрочных, криогенных, мартенситных и т.д., обеспечить их особое качество в дальнейшем. При этом следует отметить, что сварные соединения всегда были и остаются наиболее слабым звеном в общей схеме изделия и конструкции [16]. Это объясняется (в большинстве случаев) физической неоднородностью металла (наличием дефектов различного структурного уровня: точечных, линейных, поверхностных, объемных) в области формирования сварного соединения, что приводит к значительному снижению его физических и механических свойств [17].

Поэтому особое качество металла сварного шва закладывается уже на атомном, нано – и мезоуровне формирования его структуры.

Следовательно, в настоящее время проблема значительного повышения качества, надежности, и долговечности материалов, изделий и конструкций продолжает оставаться одной из актуальных проблем современного научно-технического развития [18]. Особенно эти проблемы важны для изделий, конструкций и объектов, эксплуатирующихся в экстремальных условиях.

Каковы же основные причины, приводящие к отказу или разрушению изделий в работе?

Согласно Р. Коллакоту, обычно к авариям приводят ошибки следующих трех типов [19]:

1. Технические ошибки, обусловленные:

- неправильным проектированием;
- неправильным изготовлением, когда элементы конструкции не соответствуют проекту;
- неправильной эксплуатацией.

2. Организационные ошибки.

3. Недостаток квалификации.

Изю всех этих ошибок следует особо выделить те, которые возникают из-за неправильного изготовления изделий. В качестве подобных ошибок, как правило, выступают трещины и непровары у самого обширного класса изделий с неразъемными соединениями, получаемыми способом сварки, и за возникновением которых в процессе сварки до сих пор очень сложно осуществить контроль.

Методы неразрушающего контроля

С учетом предыдущего анализа следует отметить, что наличие высококачественных материалов и технологий изготовления конструкций при отсутствии эффективных методов диагностики не гарантирует безаварийной эксплуатации.

В связи с этим важнейшими задачами неразрушающего контроля (НК) являются: распознавание дефектов, определение их координат, формы, размеров, оценка степени опасности [20]. Различные методы НК ориентированы на применение в определенных условиях и взаимно дополняют друг друга, что позволяет получать достоверную информацию о состоянии объекта контроля (ОК). В наиболее распространенных и простых методах конструкция, технология изготовления, материал изделия влияют на выбор метода НК.

Капиллярная дефектоскопия – очень простой способ [21], имеющий широкое применение и высокую чувствительность к *поверхностным дефектам*.

Достоинства метода следующие:

- высокая чувствительность;
- высокая разрешающая способность;
- относительно высокая достоверность контроля;
- наглядность результатов контроля;
- возможность контроля деталей разной степени сложности;
- большая номенклатура материалов проверяемых деталей (аустенитные стали, никелевые, титановые, магниевые, алюминиевые сплавы, керамика, стекло, бетон и т. д.);
- возможность точно устанавливать место дефекта, направление, протяженность и иногда его характер;
- простота технологических операций контроля;
- возможность быстрой подготовки контролеров;
- низкая стоимость используемых материалов.

Недостатки метода следующие:

- высокая трудоемкость контроля при отсутствии механизации;
- возможность обнаружения *только поверхностных дефектов*;
- большая длительность процесса (от 0,5 до 1,5 часов);
- необходимость удаления лакокрасочных покрытий и тщательной предварительной очистки контролируемых деталей;
- низкая вероятность обнаружения дефектов под окисной пленкой, тонким слоем деформированного металла.
- сложность механизации и автоматизации контроля;
- громоздкость стационарного оборудования;
- вредность некоторых дефектоскопических материалов для персонала и необходимость защиты организма от них;
- *субъективность контроля*, зависимость достоверности результатов от состояния и уровня подготовки контролера.

Магнитопорошковый контроль применим только для деталей из *ферромагнитных материалов* [Там же. с. 134]

В рамках радиографического метода контроля, в основном используемого для неразрушающего контроля металла изделий, невозможно дать 100% –ную гарантию качества сварных швов из-за его объективных недостатков согласно ГОСТ 7512-82 (п. 1.3), потому что при этом не выявляются:

- любые несплошности и включения с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля;
- непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания.

Кроме того, трудоемкость последующего устранения выявленных опасных дефектов, как правило, значительно выше трудоёмкости собственно процесса сварки.

Существенным ограничением радиографического метода является то, что контроль следует проводить после устранения обнаруженных при внешнем осмотре сварного соединения наружных дефектов, которые могут помешать расшифровке снимка.

Следует отметить также, что основными видами опасности для персонала при радиографическом контроле являются воздействие на организм ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под воздействием ионизирующего излучения, и поражение электрическим током.

С другой стороны, широкое распространение получил ультразвуковой контроль элементов машин и конструкций ответственного назначения в условиях эксплуатации без их демонтажа.

К преимуществам ультразвукового контроля (УЗК) относятся [21]:

1. Высокая чувствительность, позволяющая выявлять мелкие дефекты.
2. Большая проникающая способность.
3. Простота и высокая производительность контроля.
4. Полная безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Основными недостатками УЗК являются:

1. Наличие временной мертвой зоны, представляющей собой неконтролируемый поверхностный слой, в котором эхо-сигнал от дефекта не отделяется от зондирующего [21].

2. При ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, так как размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля вводится понятие *эквивалентная площадь дефекта* и указывается *условный размер дефектов* [22].

3. Кроме того, невозможно однозначно охарактеризовать тип выявленного дефекта (трещина, непровар, пора и т.п.).

4. Наиболее трудно расшифровать осциллограммы, возникающие при контроле изделий сложной формы (детали переменной толщины, кривизны и т.п.) [21].

Все вышеуказанные методы НК, имеющие широкое промышленное применение, относятся к категории *активных методов диагностики*. В частности, по степени изменения информативных параметров, характеризующих контрольные среды и физические поля, генерируемые устройствами технической диагностики в контролируемых материалах, изделиях и объектах, судят о наличии в них уже готовых сформировавшихся дефектах.

Следовательно, регистрируемые параметры в вышеизложенных методах не могут дать ответ на вопросы:

1. Могут ли в последствие при эксплуатации изделий и объектов выявленные и допущенные дефекты получить свое дальнейшее развитие?

2. Как поведут себя дефекты в изделиях, оставшиеся за пределами чувствительности и разрешающей способности рассмотренных выше методов?

Поэтому при разработке новых методов и технических средств НК следует иметь в виду следующее:

1. Перед разработчиками ставится задача не только по получению достоверной информации о месте расположения и типе дефекта.

2. Следует исходить из того, что в сварных швах отдельных уникальных узлов исправление вообще недопустимо, а в некоторых видах изделий и объектов присутствие дефектов должно быть полностью исключено.

Отсюда возникает потребность в создании совместно с достигнутым качественным уровнем развития промышленных технологий такого метода технической диагностики изделий в реальном масштабе времени, при котором бы полностью исключалось зарождение опасных и недопустимых дефектов на всех стадиях технологического процесса изготовления изделий.

Поэтому особое качество может быть достигнуто только при обязательном условии соблюдения высокой степени физической однородности (полное отсутствие дефектов различного структурного уровня), химической однородности (максимальный уровень диспергирования химических элементов и их соединений по всему объему металла) и структурной однородности металлов и сплавов. Это, в свою очередь, будет гарантировать реальным изделиям и конструкциям из данных сплавов такие механические, физические, химические и другие свойства, информативные параметры которых будут максимально приближены к их теоретическим значениям.

Акустико-эмиссионная диагностика изделий и предупреждение техногенных катастроф

Один из таких методов основан на анализе параметров упругих механических волн акустической эмиссии (АЭ), возникающей в результате локальной динамической перестройки структуры материала контролируемого изделия, то есть акустико-эмиссионный метод [23-25].

Метод АЭ, использующий измерение параметров упругих волн, характеризующих дефектообразование, обладает принципиальной возможностью обнаружения дефектов в момент их возникновения, слежения за кинетикой их развития, определения степени опасности развивающихся дефектов. Высокая

чувствительность метода, возможность контроля относительно несложной аппаратурой всего объема изделия в процессе его изготовления делает метод АЭ весьма перспективным для решения задач технической диагностики. Метод позволяет накапливать информацию в процессе изготовления, нагружения и деформирования исследуемых объектов, осуществлять обнаружение и регистрацию развивающихся дефектов. Это означает, что данным методом выявляются наиболее опасные дефекты, склонные к развитию. Он позволяет по параметрам сигналов АЭ оценивать степень опасности дефекта. Тем самым повышается надежность эксплуатации изделий и объектов. Данный метод является интегральным, т.е. используя несколько преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), установленных на поверхности объекта, можно контролировать весь объект. Особым достоинством метода может служить его способность обнаруживать зарождение, формирование и развитие трещины в реальном масштабе времени, не прерывая процесса изготовления или ресурсных испытаний. Используя данный метод, можно следить за состоянием конструкции без ее демонтажа. Анализ сигналов с нескольких датчиков дает информацию, достаточную для определения местоположения дефекта. В настоящее время является единственным методом, позволяющим по анализу статистических характеристик сигналов оценивать остаточный ресурс конструкций.

Основными информативными параметрами сигнала являются энергия, число превышений сигналом определенного порогового уровня, крутизна фронта, длительность первой полуволны и т.д. Известно, что каждый параметр сигнала АЭ связан с каким-либо параметром процесса разрушения и является его акустическим отображением. Наиболее общей характеристикой этих процессов является амплитудное распределение сигналов АЭ, характеризующее выделение энергии в результате релаксации внутренних напряжений при зарождении трещины в реальном масштабе времени. Поскольку параметры сигналов АЭ связаны с кинетикой разрушения материалов, то применение данного метода может дать наиболее объективную информацию о динамическом состоянии дефектов и соответственно о прочности и надежности конструкций. Чем раньше удастся обнаружить дефект, тем более вероятно своевременное предотвращение аварийной ситуации. Поэтому так много внимания уделяется *диагностике зарождающихся дефектов*. В результате обработки сигналов АЭ в системах диагностики требуется сформировать диагностические признаки, чувствительные к малым отклонениям параметров ОК от нормы. В связи с этим возникает необходимость анализа структуры сигнала, содержащей информацию о техническом состоянии конструкции.

По технической и экономической эффективности АЭ не уступает, а превосходит современные высокие технологии. Принципиально важно, что по информативным параметрам, характеризующим сигналы АЭ, можно судить о характере протекающих физических процессов при технологических операциях изготовления деталей, узлов и изделий ответственного назначения.

Подход к АЭ как к *новой технологии* с широкими возможностями раскрывает «потенциал» данного метода, объясняет эффект действия ее на различные производства и имеет преимущества, будучи комплексным, системным подходом, *связывающим в единую цепь все проблемы, возникающие от момента изготовления до процесса эксплуатации* объекта ответственного назначения. Переход от ограниченных по масштабам применений АЭ к разработке и реализации акустико-эмиссионных технологий является одной из глобальных проблем развития данного метода [20].

Перспективы и преимущества метода АЭ несомненны. Как показал анализ публикаций по неразрушающим методам контроля, основными областями, в которых ведущие зарубежные фирмы проводят работы по практическому использованию метода АЭ, являются: испытания сосудов, работающих под давлением, диагностика газопроводов, нефтеналивных цистерн, контейнеров для перевозки особо опасных грузов, режущего инструмента и дорогостоящего оборудования. Данным методом проводятся исследования усталостной прочности разнообразных материалов, определяются координаты зарождающихся дефектов и т.д. По данным Национального бюро стандартов США метод АЭ все большее применение находит при контроле резервуаров, трубопроводов и котлов. Отмечается, что не было ни одного случая, чтобы существенный дефект не был бы обнаружен данным методом НК.

Следует отметить, что «сварка в мире будущего представляется нам технологическим процессом, дающим продукцию безупречного качества, лишенную каких бы то ни было дефектов. Контроль качества сварки из операции пассивной (констатация фактов) станет звеном собственно сварочного процесса. Своевременное выявление отклонения параметров режима сварки, надлежащее воздействие на него на основе обратных связей должны предотвратить самую возможность появления дефектов» [26].

Более того, становится весьма очевидной потребность в создании не только метода определения качества изделия и оценки его надежности, основанного на использовании физических явлений, сопровождающих процесс развития дефектов. Необходимо также в разработке и изучение основных принципов метода прогнозирования, управления процессами зарождения источников опасных дефектов (трещин и непроваров) и их предотвращения на самой ранней стадии формирования. Это позволит уже на этапе технологического процесса изготовления изделий и конструкций устранить главную причину возникновения в дальнейшем на этапе эксплуатации техногенной аварии или катастрофы.

В связи с этим для реализации данного метода дополнительно потребуется:

1. Разработать требуемую акустико-эмиссионную аппаратуру для диагностики конкретного технологического процесса, осуществить ее опытное производство и обеспечить метрологическую поверку.
2. Организовать целевую подготовку высококвалифицированных специалистов и обслуживающего персонала в области акустико-эмиссионной ди-

агностики и специального материаловедения (наноструктуры, наносистемы, нанотехнологии) с учетом специфики промышленного производства изделий или эксплуатации стратегических объектов.

3. Провести аттестацию (сертификацию) всего технического персонала.

Исследования в области анализа аварий и возможностей их предотвращения в сложных техногенных системах уже ведутся [27]. В рамках решения данной проблемы в статье [28] приведены основные положения для оценки и регулирования рисков техногенных аварий и катастроф применительно к различным сферам функционирования железнодорожного транспорта, дана количественная оценка параметров риска наиболее тяжелых аварий и катастроф на железнодорожном транспорте в нашей стране за последние 30 лет и изложен опыт реализации соответствующих разработок Института машиноведения РАН, ВНИКТИ, а также Экспертного союза по независимой оценке рисков чрезвычайных ситуаций и Российского научного общества анализа риска с использованием материалов 33-х томной серии «Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты».

Выводы:

1. Из результатов анализа техногенных катастроф следует необходимость проведения постоянной технической диагностики ответственных изделий и объектов, работающих в экстремальных режимах.

2. Классические методы неразрушающего контроля относятся к категории активных. Поэтому они не могут дать ответа на вопросы:

- Будут или нет в дальнейшем при эксплуатации изделий и объектов выявленные и допущенные дефекты получить свое дальнейшее развитие?

- Как поведут себя дефекты в изделиях, оставшиеся за пределами чувствительности и разрешающей способности рассмотренных выше методов?

3. Для предупреждения техногенных катастроф необходимо использовать высококачественные промышленные технологии изготовления изделий совместно с такими методами технической диагностики в реальном масштабе времени, при которых бы полностью исключалось зарождение опасных и недопустимых дефектов на всех стадиях технологического процесса изготовления изделий.

4. Требуется фундаментальная подготовка и аттестация высококвалифицированных технических специалистов в области технической диагностики разрушения и предотвращения техногенных катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные способы производства слитков особо высокого качества // Латаш Ю.В., Матях В.Н.; Под ред. Патона Б.Е., Медовара Б.И. – Киев: Наукова думка, 1987. – 336 с.

2. Патон Б.Е. Об основных направлениях работ в области акустической эмиссии // Акустическая эмиссия материалов и конструкций. Тр. 1-ой Всесоюзной конференции. – Ростовский университет, 1989. – С.5-10.
3. Акимова Т.А. Техногенные аварии и катастрофы // Энергия: экономика, техника, экология. – 2009. – №5. – С.22-26.
4. Абагян А.А. и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. — 1986. — Т. 61, вып. 5. — С. 301-320.
5. Бабосов Е.М. Философско-социологические аспекты осмысления сущности Чернобыльской катастрофы и преодоление её последствий // Актуальные проблемы развития потребительской кооперации на современном этапе. Гомель-Минск. — 1990. — С. 51-59.
6. Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Ровинский Ф.Я. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 298 с. — 1500 экз. — ISBN 5-286-00799-6.
7. Несветайлов Г.А. Общество после катастрофы // Чернобыль-индекс. — 1991. — № 1. — С. 108-115.
8. Крышев И.И., Алексахин Р.М., Рябов И.Н, Смирнов В.В., Пристер Б.С., Санжарова Н.И., Перепелятникова Л.В., Асташева Н.П. Радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии. — М.: Наука, 1991. — 190 с.
9. Чернобыльская катастрофа (1986 г.) // Катастрофы конца XX века / Под общ. ред. д-ра техн. наук В.А. Владимирова. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. — М.: УРСС, 1998. — 400 с. — ISBN 5-88417-167-6. (обл.)
10. Атлас загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии / Научный руководитель Ю.А. Израэль. — Люксембург: Офис официальных публикаций Европейской комиссии, 1998.
11. Смирнова В.В., Мартынюк В.Ф., Прусенко Б.Е., Лопатина Т.Г., Волохина А.Т., Карпова В.В. Анализ причин аварийности, мероприятий по предупреждению опасностей и ликвидации последствий аварий на объектах нефтедобычи, на нефтепродуктопроводах // Безопасность жизнедеятельности. –2007 – №7. – С.33-39.
12. Виньков А., Имамутдинов И., Рубанов И., Сиваков Д. Сложно и опасно. Технократическое самоубийство (катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС) // Эксперт. – 24-30 августа 2009. – №32. – С.17-25.
13. Финкель В.М. Физика разрушения. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
14. Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения. – М.: Металлургия, 1977. – 360 с.
15. Клюев В.В., Фурсов А.С., Филинов М.В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов // Контроль. Диагностика. – 2007. – №3. – С.18-23.

16. Апасов А.М., Козлов Э.В. Исследование структуры металла сварного соединения из коррозионно - стойкой стали // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т.315, №2. – С.155-161.
17. Алешин Н.П. Работы МГТУ им. Н.Э. Баумана в области неразрушающего контроля материалов и изделий // Сварочное производство. – 2003. – №1. – С.35-38.
18. Алешин Н.П., Бигус Г.А., Лютов М.А. Диагностирование объектов стартовых комплексов изделий ракетно - космической техники с использованием акустических методов контроля // Дефектоскопия. – 2002. – №3. – С.3-13.
19. Коллакот, Р. Диагностика повреждений: пер. с англ. / Р. Коллакот, – М.: Мир, 1989. – 512 с.
20. А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев и др. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций. – М.: Радио и связь, 2000. – 280 с.
21. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. Под ред. Г.С. Самойловича. М., «Машиностроение», 1976. – 456 с.
22. ГОСТ 14782 – 86. Контроль неразрушающий // Сварные соединения. Методы ультразвуковые. – М.: Стандартиформ, 2005. – 26 с.
23. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. – М.: Изд. стандартов, 1976. – 272 с.
24. Иванов В.И., Белов В.М. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
25. ГОСТ 27655 – 88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. – М.: Изд. стандартов, 1988. – 12 с.
26. Патон Б.Е. Новые рубежи сварочной техники // Сварочное производство. – 1970. – № 4. – С.3-6.
27. Ключев В.В., Резчиков А.Ф., Иванов А.С., Домнич В.С. Анализ аварий и возможностей их предотвращения в сложных техногенных системах с использованием моделей причинно-следственных связей // Контроль. Диагностика. – 2009. – №12. – С.29-36.
28. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Земцов С.П., Косов В.С., Красюков Н.Ф., Оганьян Э.С., Малышев Н.И., Мельников В.И. Предупреждение техногенных катастроф // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. – №11. – С.31-34.

С.В. Кривошеев, О.И. Гордиевский, И.В. Ноздрин

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАМОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В работе рассмотрены характеристики отвальных цинксодержащих шламов химических предприятий по производству искусственных волокон Сибирского федерального округа. Систематизированы данные по количеству, химическому и фазовому составу шламов. Показана возможность пиро- и гидрометаллургической переработки данных материалов. Показана необходимость предварительной подготовки шламов к переработке. Сформулированы технологические рекомендации для разработки экономически рентабельных процессов получения товарных сульфата и оксида цинка.

In work characteristics dump the containing zinc slimes of the chemical companies for production of artificial fibers of Siberian Federal District are considered. Data on quantity, the chemical and phase composition of slimes are systematized. An opportunity pyro- and hydrometallurgical processing of these materials is shown. Need of preliminary preparation of slimes for processing is shown. Technological recommendations for development of economically profitable processes of receiving commodity sulfate and oxide of zinc are formulated.

Цинк относится к группе основных по объемам производства и потребления цветных металлов. В 2018 г его производство составило около 14 млн. тонн уступая лишь алюминию и меди. При этом потребление цинка неуклонно растет год от года. В связи с этим пропорционально увеличивается количество цинксодержащих отходов и неизбежно встают вопросы по их утилизации. Отечественной цинковой отраслью в настоящее время освоены процессы переработки богатых отходов с содержанием цинка более 30 %, а более бедные материалы практически не используются в связи с высокими затратами на их доставку [1]. Однако рост количества накопленных отходов, обострение экологических вопросов, связанных со складированием и хранением и ужесточение природоохранного законодательства выводит задачу их переработки на первый план. Достаточно высокие цены на основные цветные металлы на мировом рынке делает решение данной задачи экономически привлекательной.

Инициатором активных работ в этом направлении стал флагман российской цинковой отрасли – Челябинский цинковый завод. Вопросы исполь-

зования вторичного сырья встали на повестку дня из-за острого дефицита цинковых концентратов, обусловленного недоступностью отечественного сырья, связанного с переделом собственности в добывающих отраслях, возросшей стоимостью цинка на мировом рынке и затрат на логистику вследствие роста тарифов на перевозки. В рамках заводской программы «Сырье» были предприняты усилия по расширению рудной базы цинковых концентратов, аттестованы характеристики и запасы вторичного цинка, представленные отходами предприятий черной и цветной металлургии, а также ряда химических производств, проведены исследовательские и проектные работы по внедрению новых и модернизации действующих технологических процессов для переработки вторичного сырья. К данным работам привлекались сотрудники и студенты Сибирского государственного индустриального университета. Исследования проводились совместно с инженерно-техническим центром Челябинского цинкового завода.

Для разработки эффективной технологии извлечения цинка из отходов, в первую очередь, необходимо аттестовать данные материалы по количеству и составу. В работе обобщены сведения о видах, количестве и химическом составе цинксодержащих шламов от очистки сточных вод и отработанных технологических растворов отечественных предприятий по производству искусственных волокон и проведена комплексная аттестация запасов, химического и минералогического состава шламов предприятий по производству искусственных волокон Западно-Сибирского региона (ООО «Сибволокно», ООО «Красноярские волокна»). Общее количество накопленных цинксодержащих материалов оценивается около 1,5 млн. тонн (до 200 тыс. тонн по цинку). В таблице 1 обобщены сведения из доступных литературных источников по количеству цинксодержащих шламов различных химических производств, имеющих схожий химический и вещественный состав [2]. Количество цинка в шламах сопоставимо с годовыми программами крупных цинковых заводов.

Таблица 1 – Характеристики шламов химических предприятий

Предприятие	Кол-во цинка в шламах, тыс. т	Содержание цинка с шламах, %
ООО «Сибволокно» г. Зеленогорск, Красноярский край	25,0	18,0-42,0
ООО «Красноярские волокна», г. Красноярск	20,0	10,0-22,0
Балаковский завод волокнистых мат-лов, г. Балаково, Саратовская область	103,0	13,0-24,0
РУП ПО «Химволокно», г. Светлогорск, Белоруссия	24,0	34,0-42,0
ПО «Химволокно», г. Калинин	15,0	9,0-12,0
НПО «Химволокно», г. Барнаул	2,0	24,0-26,0
ОАО «Азот», г. Кемерово	0,8	24,0-34,0

На примере разработок способов утилизации цинксодержащих отходов и опыта их применения на предприятиях Сибирского федерального округа (ООО «Сибволокно», ООО «Красноярские волокна» и др.) разработаны технологические рекомендации, обеспечивающие максимальную эффективность процессов переработки подобных материалов.

Цинксодержащие шламы образуются при производстве искусственных волокон по технологии, где используется сульфат цинка для формирования волокон через фильеры. Осадительная ванна - водный раствор, содержащий серную кислоту, сульфат цинка и сульфат натрия. Струи, выходящие из фильеры, осаждаются (коагулируют) вследствие образования цинк - ксантогенатных связей и десольватирующего действия электролитов. Нейтрализуют отработанный раствор кальцинированной содой или известковым молоком. В итоге образуется суспензия карбоната цинка, которая направляется в отстойник. Осадок представляет собой пастообразный, немного липкий порошок грязно-серого цвета, не растворимый в воде [3].

По данным технических отчетов предприятий установлено, что общее количество цинка в шламоотстойниках «Красноярских волокон» и «Сибволокна» и составляет около 20 000 и 25 000 тн по цинку соответственно при среднем содержании цинка от 14 до 32 %. Для аттестации химического, гранулометрического и фазового состава шламов производился отбор проб из различных мест отстойников с помощью стальных штанг: по периметру отстойников в теплое время года, с поверхности - зимой. Глубина отбора проб варьировалась от 0,3 до 4 м. Установлено, что цвет образцов зависит от содержания основных примесей и изменяется от светло-серого до светло-коричневого или бурого. Во всех образцах присутствуют остатки целлюлозного волокна существенно повышающие влагоудерживающую способность шлама. Материал представляет собой глиноподобную массу влажностью от 40 до 80%. Крупность частиц материала находится в пределах 0,1 – 2,5 мм. Насыпной вес отобранных проб находится в диапазоне 0,87 – 1,25 г/см³, а плотность (истинная) 1,60 – 1,68 г/см³ [4].

Результаты химического анализа отобранных проб приведены в таблице 2. Для сравнения приведены составы цинксодержащих шламов производства искусственных волокон на Балаковском заводе волокнистых материалов и Светлогорского РУП «Химволокно» (республика Беларусь), аттестованных в химической лаборатории Челябинского цинкового завода.

Анализ химического и фазового состава шламов показывает, что цинк в них представлен карбонатами, сульфатами и сульфидами. Основными балластными примесями являются оксиды кальция и кремния. Наблюдается большой разброс данных по химическому составу шламов даже в пределах одного предприятия, что определено как изменениями параметров технологических режимов предприятий, так и условиями складирования и хранения отходов. Общее содержание цинка в рассматриваемых материалах варьируется в пределах 11 – 47 %, окиси кальция – 2-10 %, окиси кремния – 1-11%. Подтверждено наличие сульфидной серы в образцах шламов, достигающих, в

некоторых случаях, 2 %. Следует отметить наличие в шламах остатков целлюлозного волокна и, в ряде случаев, следов органических примесей, которые негативно влияют на процессы прямого выщелачивания шламов и фильтрования продуктов. Влажность шламов в шламонакопителях составляет 70-90 %, после естественной сушки на воздухе снижается до 30-40 %.

Таблица 2 – Химический состав цинксодержащих шламов предприятий искусственных волокон

Компонент	Химический состав образцов шлама, % масс.			
	Красноярск	Зеленогорск	Балаково	Светлогорск
Цинк общий	10,8 - 22,3	14,2 - 29,6	21,2	46,7
Цинк растворим.	н/о	18,6	13,6	45,7
Цинк водораств.	н/о	0,33	0,12	0,36
Железо	0,80 - 1,65	1,92 - 2,70	1,5	1,55
Свинец	0,029	0,21	0,041	0,13
Кадмий	н/о	0,0004	0,005	0,0033
Медь	0,022	0,009	0,011	0,011
Никель	н/о	0,012	0,009	0,011
Кобальт	н/о	0,004	0,0031	0,0023
Олово	н/о	0,023	0,041	Н/о
Хлор	н/о	0,071	н/о	0,028
Фтор	н/о	0,044	н/о	0,005
Алюминий	0,95	3,05	н/о	н/о
Мышьяк	н/о	0,007	0,0026	0,001
Сурьма	н/о	0,0025	0,0018	0,0048
Кремнезем	0,5	7,21	11,2	10,97
Оксид кальция	н/о	1,73	10,3	0,19
Сера общая	н/о	16,27	16,9	1,76
Оксид магния	н/о	Н/о	0,79	0,24

Несмотря на схожесть технологий получения синтетических волокон и переработки сточных вод на этих предприятиях содержание цинка и минералогический состав отобранных проб существенно отличается. Так в образцах шламов с ООО «Красноярские волокна» содержание цинка существенно ниже, чем в пробах, отобранных на ООО «Сибволокно». Кроме того, содержание примесей в первом случае значительно выше – по всей видимости это определяется тем, что в шламонакопители направлялись сточные воды со всех смежных производств, в том числе и хозяйственные. Высокое содержание цинка в шламах Светлогорского РУП «Химволокно» объясняется использованием для нейтрализации кислых стоков раствора каустической соды вместо известкового молока на остальных сравниваемых предприятиях.

Достаточно высокое содержание цинка, фазовый состав и незначительное содержание «критических» примесей позволяют перерабатывать данные материалы на действующих производствах по производству цинка. Опыт переработки шламов подтверждает эффективность применения для этих целей

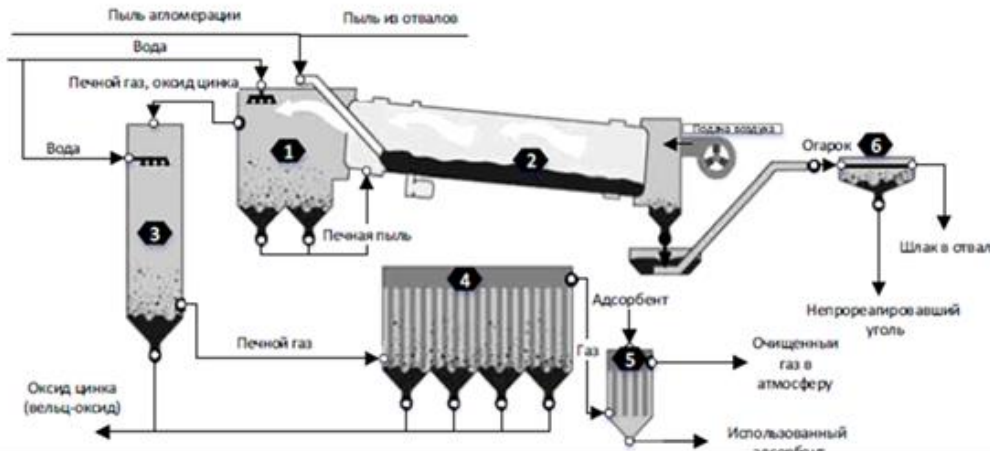
процесса вельцевания [5]. Экономически эффективное содержание цинка в шламах, при этом, должно превышать 14%. Прямое выщелачивание шламов показывает низкое извлечение цинка, сопровождаемое расстройством штатного технологического процесса. Это связано с наличием в данных материалах карбонатов и органических примесей, обусловленных присутствием остатков вискозного волокна и продуктов жизнедеятельности сложившегося биоценоза в районе размещения шламонакопителей. Таким образом, для удаления органической составляющей в исследуемых материалах рекомендуется введение технологической стадии окислительного обжига (прокалки) шламов.

В связи со сложившейся структурой географического расположения в России действующих цинковых заводов расстояние до ближайших предприятий составляет не менее 2000 км, что не позволяет обеспечить текущую положительную рентабельность доставки шламов и извлечения цинка из-за высоких логистических затрат даже при сравнительно высоких ценах на цинк, превышающих в настоящее время 2000 долларов за тонну. Этот факт вызывает необходимость разработки мобильных технологий переработки шламов на месте.

К заслуживающим внимания, следует отнести предложение по переработке подобных материалов по стандартной схеме карботермического восстановления шламов коксом или углем во вращающейся трубчатой печи для обжига керамзита [6]. Принципиальная технологическая схема вельцевания приведена на рисунке 1. Существенное снижение капитальных затрат достигается за счет использования широко распространенного стандартного оборудования для получения керамзита, а высокая концентрация цинка в получаемой вельцокиси (более 50 %) делает процесс переработки высокорентабельным. К недостаткам рассматриваемой технологии следует отнести необходимость использования дорогостоящего специфического оборудования, применения громоздкой системы охлаждения отходящих газов и улавливания вельцокиси, а также высокие профессиональные требования к обслуживающему процесс персоналу.

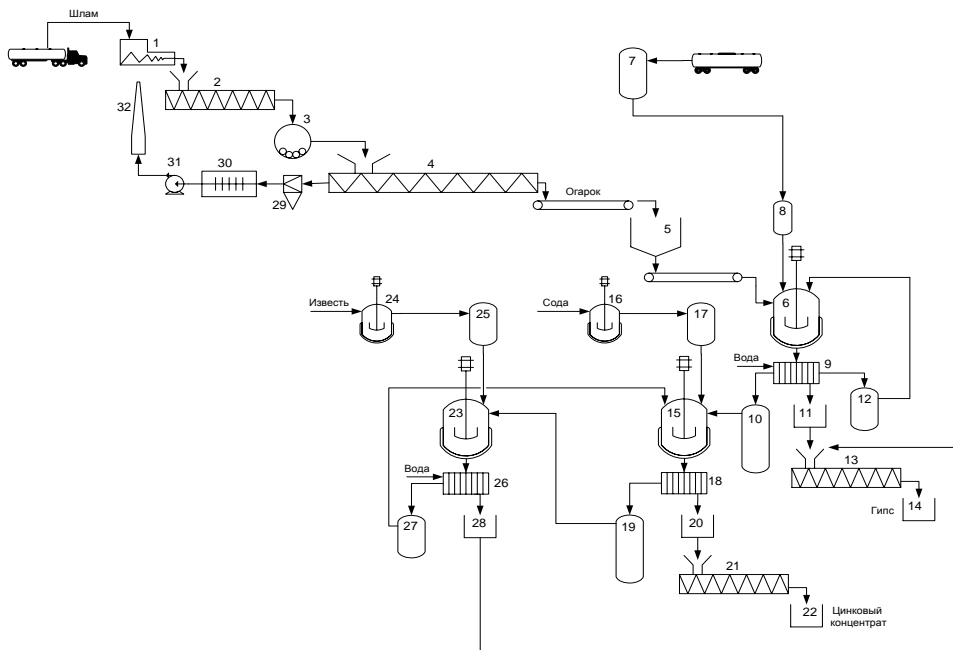
Учитывая особенности расположения рассматриваемых химических предприятий, сложившуюся приобъектную инфраструктуру, обеспеченность кадровыми ресурсами и конъюнктуру потребления возможных продуктов в качестве базовой технологии по переработке цинксодержащих шламов, по нашему мнению, в настоящее время наиболее целесообразно рассматривать гидрометаллургическую схему извлечения цинка в виде сульфата или оксида цинка. Применение таких процессов обеспечивает возможность использования высокопроизводительного стандартного оборудования, обеспечивающего высокие технологические показатели и дешевых недефицитных реагентов для выщелачивания, например, серную кислоту. Высокая мобильность, переносимость и корректировка технологического процесса выщелачивания, очистки растворов и выделения готовых продуктов обеспечивает получение материалов высокого качества при низкой себестоимости. В качестве примера на рисунке 2 приведена одна из возможных аппаратурно-технологических схема гидрометаллургической переработки шламов вискозного производства

[7]. Особенностью предлагаемых технологий является необходимость включения обязательной сушки и прокалики шламов, что обусловлено их высокой влагоудерживающей способностью и наличия органических примесей.



1 – камера осаждения печной пыли; 2 – трубчатая печь; 3 – холодильник; 4 – рукавный фильтр; 5 - камера доочистки газа; 6 – сепаратор.

Рисунок 1 – Схема вельцевания цинксодержащих шламов



1 – шнековый питатель влажного шлама; 2 – сушильный барабан; 3 – шаровая мельница; 4 – вращающаяся обжиговая печь; 5 – бункер охлажденного огарка; 6 – реактор выщелачивания; 7 – бак для хранения серной кислоты; 8 – бак-дозатор серной кислоты; 9, 18, 26 – фильтр-прессы; 10, 19 – накопительный бак для раствора; 11, 14, 22, 28 – емкости для твердых продуктов (кеков); 12, 27 – накопительный бак для промвод; 13 – сушильный (прокалочный) барабан для гипса; 15 – реактор осаждения цинкового концентрата; 16 – реактор приготовления содового раствора; 17 – бак-дозатор содового раствора; 21 – сушильный барабан для цинкового концентрата; 23 – реактор для регенерации щелочи; 24 – реактор для приготовления известкового молока; 25 – бак-дозатор известкового молока; 29 – циклон; 30 – электрофильтр; 31 – дымосос; 32 – санитарная труба.

Рисунок 2 – Аппаратурная схема переработки шламов вискозного производства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья / А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев. – М.: Гинцветмет, 2004, 219 с.
2. Павловская Е.Д. Комплексная аттестация цинксодержащих шламов предприятий по производству искусственных волокон Язупадно-Сибирского региона / Е.Д. Павловская, Е.А. Чистюхин, Х.О. Джалолов, И.В. Ноздрин. - Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : сб. тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т ; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 21. – Ч. II. Естественные и технические науки. – С. 275 – 277.
3. Серков А. Т. Вискозные волокна / А. Т. Серков - М.: «Химия», 1981. – 296 с.
4. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008., С. 199 – 206.
5. Козлов П.А. Вельц-процесс / П.А. Козлов. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. - 197 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности утилизации цинксодержащих шламов ОАО «Сивинит». - ООО «Аэрационные системы», г. Красноярск, 2011.- 48 с.
7. Технологический регламент производства по получению цинкового купороса. – ТОО Проектно-инжиниринговый центр «Литера 3» г. Усть-Каменогорск, 2010. - 57с.

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.124

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

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

КАФЕДРЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБИРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
85 ЛЕТ. ДЕЛА. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

Приведены сведения из истории становления и развития кафедры теплоэнергетики и экологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Рассмотрены основные вехи развития кафедры, сведения об учебно-методической и научной работе, достижениях её сотрудников, студентов и выпускников.

Information is given from the history of the formation and development of the Department of Heat Power Engineering and Ecology of the Siberian State Industrial University. The main milestones of the development of the department, information on educational-methodical and scientific work, the achievements of its employees, students and graduates are considered.

Постановлением Совета народных комиссаров и Центрального исполнительного комитета СССР от 23 июня 1930 г. принято решение о создании Сибирского института черных металлов (СИЧМ). СИЧМ позже преобразован в Сибирский металлургический институт (СМИ), затем в Сибирскую горно-металлургическую академию (СибГГМА), а позднее в Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ).

В числе первых в 1934 г. в СибГИУ была создана кафедра теплоэнергетики и экологии (ранее: кафедра металлургических печей, кафедра металлургических печей и теплогазоснабжения, теплотехники печей и газоочистки, а затем кафедра теплофизики и промышленной экологии) [1].



М.С. Спиридонов
Зав. кафедрой в 1934-1939 годах

Первым заведующим кафедрой был доцент Михаил Семенович Спиридонов. Родился 09.11.1893 г. в Санкт-Петербурге. Легендарный человек, он получил блестящее образование в Рижском политехническом институте, служил в царской армии с 1916 по 1918 гг., с 1918 по 1923 гг. – в Красной армии, с 1941 по 1945 находился на фронтах Великой Отечественной войны. Михаил Семенович заведовал кафедрой металлургических печей в период с 1934 по 1939 г. Эти годы кафедра была общетехнической, и при ней функционировали учебно-исследовательские лаборатории по топливу и огнеупорам. Штат сотрудников составлял 7 человек: 1 доцент, 2 ассистента, 2 старших лаборанта и 1 старший препаратор [1, 2, 3].



И.С. Назаров

Зав. кафедрой в 1939-1962 годах

Иван Савельевич Назаров сменил на посту заведующего М. С. Спиридонова. Родился 11.06.1905 г. в Челябинске. В 1930 г. 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 защитил 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.

В 1940 г. ему присвоено ученое звание доцента. 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.

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

[4]. 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 И. С. Назаров награжден орденами «Знак почета» и «Трудового Красного Знамени».

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. Учебник включал в себя все последние достижения теории печей, печестроения и являлся фактически общесоюзным изданием.

Под руководством И. С. Назарова на кафедре 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.

Благодаря таланту учёного, педагога и администратора И. С. Назарову удалось сформировать на кафедре мощный научный потенциал, педагогические традиции, определившие её высокий авторитет не только в СМИ, но и на всей территории Советского Союза.



Е.И. Корочкин
Зав. кафедрой в 1962-1974 годах

Евгений Иванович Корочкин родился 29.05.1923 в городе Новосибирске. В 1947 г. окончил Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе по специальности «Металлургия чёрных металлов (металлургия стали)».

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 за-

ведущего 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. ему присуждена ученая степень кандидата технических наук, а в 1970 г. он утвержден в ученом 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. Были организованы новые лаборатории гидравлики и теплоэнергетики.

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. По его инициативе началось внедрение ЭВМ, широкое использование технических средств обучения, оборудование ими поточных аудиторий.

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 время работы Е. И. Корочкин награждался Почётными грамотами, знаком МВиССО СССР. За отличные успехи в работе; медалью «За доблестный труд», орденом «Знак почёта».



Г.И. Черныш
Зав. кафедрой в 1975-2002 годах

Геннадий Иосифович Черныш родился 14.07.1931 г. в городе Купино, Новосибирской обл.

В 1954 г. с отличием закончил Томский политехнический институт имени С. М. Кирова (ТПИ) на специальности «Инженер-механик по двигате-

лям внутреннего сгорания». В 1954 г. направлен на кафедру металлургических печей Сибирского металлургического института на преподавательскую работу.

С 1954 по 1957 гг. – ассистент, 1957 – 1960 гг. – аспирант. В 1964 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и исследование нового топливокислородного сжигающего устройства для металлургических печей». С 1965 г. утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Металлургические печи». С 1964 по 1970 гг. – декан вечернего механико-строительного факультета.

В 1972-1975 г. командирован в качестве преподавателя в Эль-Таббинский металлургический институт (ЭТМИ) (Египет, АРЕ) для подготовки магистров наук.

После возвращения из заграничной командировки Геннадий Иосифович назначен заведующим кафедрой металлургических печей и теплогазоснабжения.

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).

Г.И. Черныш принимал участие и руководил большим числом НИР, направленных в основном на интенсификацию теплообмена в различных тепловых агрегатах, экономию энергетических ресурсов и охрану окружающей среды. По результатам научных исследований опубликованы монография «Топливо-кислородные 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 награжден орденом «Знак почета», медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» и «Ветеран труда», знаками «Отличник социалистического соревнования ЧМ СССР», «Изобретатель СССР», «За отличные успехи в работе», «Почетный работник высшего образования РФ», «Победитель социалистического соревнования». Ему присвоено звание «Заслуженный преподаватель СибГИУ».



С.Г. Коротков
Зав. кафедрой с 2002 года

Сергей Георгиевич Коротков родился 18.11.1953 г. в г. Новокузнецке Кемеровской области.

В 1976 г. окончил Сибирский металлургический институт по специальности: «Теплотехника и автоматизация металлургических печей» и оставлен на кафедре металлургических печей в качестве инженера-исследователя. С 1987 по 1984 гг. ассистент кафедры.

В 1984 г. С. Г. Коротков поступил в очную целевую аспирантуру Московского института стали и сплавов на кафедру теплофизики и теплоэнергетики металлургического производства. В 1987 г. успешно защищена кандидатская диссертация на тему: «Разработка и исследование вихревой инжекционной горелки для отопления металлургических печей низкокалорийным газообразным топливом» с присуждением ученой степени кандидат технических наук.

С февраля 1987 г. С. Г. Коротков вновь сотрудник Сибирского металлургического института, в ноябре 1987 г. он избран доцентом по кафедре теплотехники печей и газоочистки, а в 1990 г. решением ВАК присвоено учёное звание доцента. В 1996 г. избран академическим советником Кузбасского филиала РАН.

Сфера научных интересов: процессы горения, аэромеханики, тепломассообмена в тепловых агрегатах, вопросы энерго- и ресурсосбережения, снижение вредных выбросов в атмосферу [5]. В качестве исполнителя и научного руководителя принял участие в выполнении 28 хозяйственных и госбюджетных НИР. По результатам исследований опубликовано 1 монография, 6 учебных пособий, более 200 статей и тезисов докладов, получено 13 авторских свидетельств на изобретения.

За время работы С. Г. Коротков награждался Почётными грамотами университета, администрации г. Новокузнецка и Кемеровской области, знаками «Изобретатель СССР» и «Почётный работник высшего образования РФ», медалями «70 лет Кузбассу» и «За служение Кузбассу».

Время. События. Люди 1930-1940-е годы

Образование общетехнической кафедры металлургических печей с учебно-исследовательскими лабораториями по топливу и огнеупорам, общей теплотехники, гидравлики, КИП и автоматики; разработка и чтение лекций по дисциплинам «Металлургические печи», «Топливо и огнеупоры», «Общая теплотехника», «Гидравлика». Впоследствии к ним добавили курс «Контрольно-измерительные приборы (КИП) и автоматика».

В военные годы усилия сотрудников кафедры сосредоточены на потребности производства военной продукции, выплавки и термообработки броневой стали [6].

В 1938 г. учёное звание доцента присвоено заведующему кафедрой М. С. Спиридонову.

В 1940 г. учёное звание доцента присвоено заведующему кафедрой И. С. Назарову.

1950-1960-е годы

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

1954 г. на должность профессора кафедры металлургических печей избран П. М. Масловский.

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

1958 г. внедрение на кафедре элементов НИР студентов в учебный процесс.

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.

1961 г. первый выпуск инженеров по специальности «Металлургические печи».

1961 г. защита кандидатской диссертации Г. В. Самохваловым.

1964 г. защита кандидатской диссертации Г. И. Чернышом.

1967 г. защита кандидатской диссертации В. С. Стариковым.

1967 г. защита кандидатской диссертации К. А. Черепановым.

1968 г. защита кандидатской диссертации Е. Л. Медиокритским.

1970-1980-е годы

1971 г. защита кандидатской диссертации Я. П. Калугиным.

1972 г. защита кандидатской диссертации В. В. Стерлиговым.

В 1974 г. на кафедре организована подготовка инженеров по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция», а в 1980 г. осуществлён первый выпуск инженеров.

1972-1975 г. работа Г. И. Черныша в Египте.

1974 г. началась подготовка инженеров по специализации «Улавливание и физические методы очистки газов в металлургии».

1974 г. переезд кафедры из старого корпуса СМИ в металлургический.

1974 г. преобразование кафедры металлургических печей в кафедру металлургических печей и теплогазоснабжения.

1975 г. закончено строительство и оборудование лаборатории металлургических печей, организованы новые лаборатории гидравлики и теплоэнергетики.

В 1975-1978 гг. В. В. Стерлигов находился в служебной командировке в АРЕ (Египет), работая профессором Эль-Таббинского металлургического института.

1980 г. защита кандидатской диссертации Т. А. Михайличенко.

1980 г. защита кандидатской диссертации В. И. Ливенцом.

1981 г. защита кандидатской диссертации Ю. Е. Михайленко.

1982 г. открыта специальность «Улавливание и утилизация пылей и газов».

1982 г. защита кандидатской диссертации Н. И. Трофимовым.

В 1983 г. выделение из состава кафедры специальности «Теплогазо-снабжение и вентиляция».

1983 г. переименование кафедры металлургических печей и теплогазо-снабжения в кафедру теплотехники печей и газоочистки.

1983 г. работа Г. И. Черныша в качестве эксперта Организации Объединенных Наций по промышленному развитию в мексиканский научно-исследовательский институт черной металлургии (г. Салтилло, Мексика).

1983 г. защита кандидатской диссертации В. М. Павловцом.

1984 г. защита кандидатской диссертации Н. А. Драничниковым.

1986 г. защита кандидатской диссертации А. Н. Митрофановым.

1987 г. защита кандидатской диссертации С. Г. Коротковым.

С 1987 г. по 1990 г. Н. А. Драничников находился в заграничной командировке в Алжирской Народно-демократической Республике, где преподавал в Институте промышленной химии Университетского центра г. Беджайя.

В 1988 г. защита кандидатской диссертации А. К. Соловьевым.

1990-2000-е годы

1990 г. защита кандидатской диссертации М. Н. Башковой.

1994 г. защита кандидатской диссертации Н. В. Журавлевой.

1995 г. защита докторской диссертации В. С. Стариковым.

1998 г. переименование кафедры теплотехники печей и газоочистки в кафедру теплотехники печей и газоочистки.

2000 г. защита докторской диссертации К. А. Черепановым.

2001 г. защита кандидатской диссертации М. В. Темлянцевым.

В 2003 г. произведен первый набор, а в 2008 г. первый выпуск инженеров по новой специальности «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

2004 г. защита кандидатской диссертации Е. Н. Темлянцевой.

В 2005 г. на кафедре организован впервые в России студенческий экологический отряд «ЭКОС».

2007 г. защита кандидатской диссертации Е. П. Волынкиной.

2007 г. защита докторской диссертации М. В. Темлянцевым.

2007 г. защита кандидатской диссертации Н. В. Темлянцевым.

2007 г. защита кандидатской диссертации А. Ю. Сюсюкиным.

2009 г. на кафедре функционирует аспирантура по специальностям 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов и 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

2009 г. организован центр консалтинговых услуг «Энергосбережение».

В 2009 г. выделена часть преподавателей кафедр теплофизики и промышленной экологии для создания кафедры экстракции и рециклинга черных металлов (в 2009 г. переименована в кафедру техногенных и вторичных ресурсов).

2010 г. защита кандидатской диссертации О. Д. Прохоренко.

2010-2020-е годы

2010 г. организован центр «Экологическая безопасность» для проведения обучения по программам повышения квалификации и профессиональной переподготовки.

2010 г. создан студенческий клуб «Энергосбережение».

2011 г. начата подготовка бакалавров по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2011 г. начата подготовка бакалавров по направлению 150400 Metallургия, направленность «Metallургия техногенных и вторичных ресурсов».

2012 г. начата подготовка бакалавров по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика».

2012 г. начата подготовка бакалавров по направлению 22.03.02 Metallургия, направленность «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей».

2012 г. защита кандидатской диссертации И. В. Гладких.

2013 г. начата подготовка бакалавров по направлению 05.03.06 Экология и природопользование, направленность «Экология».

2013 г. защита кандидатской диссертации Л. П. Башенко.

2013 г. защита кандидатской диссертации М. В. Матвеевым.

2015 г. защита кандидатской диссертации А. Е. Аникиным.

2015 г. на кафедре открыта Лаборатория исследование теплофизических процессов.

2015 г. первый выпуск бакалавров по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2015 г. первый выпуск бакалавров по направлению 150400 Metallургия, направленность «Metallургия техногенных и вторичных ресурсов».

2015 г. начата подготовка магистров по направлению 05.04.06 Экология и природопользование, направленность «Ресурсосбережение и утилизация отходов».

2016 г. защита докторской диссертации А. В. Феоктистовым.

2016 г. начата подготовка магистров по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2016 г. открыта аспирантура по направлению 20.06.01 Техносферная безопасность, направленность «Охрана труда».

2016 г. первый выпуск бакалавров по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика».

2016 г. первый выпуск бакалавров по направлению 22.03.02 Metallургия, направленность «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей».

2017 г. защита докторской диссертации Н. В. Журавлевой.

2017 г. начата подготовка магистров по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика»

2017 г. первый выпуск бакалавров по направлению 05.03.06 Экология и природопользование, направленность «Экология».

2018 г. защита кандидатской диссертации Е. В. Полевым.

2018 г. первый выпуск магистров по направлению 05.04.06 Экология и природопользование, направленность «Ресурсосбережение и утилизация отходов».

2019 г. первый выпуск магистров по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2019 г. первый выпуск магистров по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика»

В настоящее время кафедра имеет следующий состав: Коротков Сергей Георгиевич, зав. кафедрой, к.т.н., доцент; Темлянцев Михаил Викторович, д.т.н., профессор; Водолеев Анатолий Сергеевич, д.с.-х.н., профессор; Журавлева Наталья Викторовна, д.т.н., профессор; Стерлигов Владислав Викторович, к.т.н., профессор; Михайличенко Татьяна Алексеевна, к.т.н., доцент; Павловец Виктор Михайлович, к.т.н., доцент; Соловьев Александр Кронидович, к.т.н., доцент; Темлянцева Елена Николаевна, к.т.н., доцент; Титова Ольга Олеговна, к.т.н., доцент; Савина Ирина Николаевна, доцент; Медведская Елена Васильевна, старший преподаватель; Башенко Людмила Петровна, к.т.н., старший преподаватель; Прохоренко Ольга Дмитриевна, к.т.н., старший преподаватель, зав. лабораториями Стерлигов Марк Владиславович, вед. инженер Домнин Константин Игоревич, инженер Старикова Дарья Андреевна, инженер Григорьева Светлана Александровна.

Последние годы на кафедре плодотворно работали: проф. Волынкина Е. П., проф. Павлович Л. Б., проф. Черепанов К. А., доц. Аникин А. Е., доц. Ливенец В. И., доц. Семенов С.Л., доц. Андреева О. С., зав. лабораториями Хузеев В. В., уч. мастер Шляров В. В., уч. мастер Курганова Н. В., лаборант Водолеева Л. Н., вед. инженер Михайленко А. С., вед. инженер Брюхов А. Г., лаборант Мизгирева Е. М.

2010-е годы ознаменовались переходом кафедры на новые образовательные стандарты и двухуровневую систему подготовки кадров. Для реализации учебного процесса по направлениям бакалавриата и магистратуры (Техносферная безопасность, Теплоэнергетика и теплотехника, Экология и природопользование) кафедрой разработаны основные образовательные программы, учебные планы, рабочие программы и методические комплексы учебных дисциплин. Учебный процесс реализуется по 16 учебным планам,

включающих в совокупности более 200 рабочих программ учебных дисциплин. Проведена большая работа по подготовке к лицензированию новых направлений образования (бакалавриат, магистратура).

В настоящий момент по всем образовательным программам на кафедре проходят обучение более 400 человек.

Учебными планами предусматривается прохождение всех видов практики на металлургических, энергетических и специализированных предприятиях по переработке, обезвреживанию и захоронению отходов. Среди них АО «ЕВРАЗ ЗСМК»; ПАО «Челябинский металлургический комбинат»; АО «Кузнецкие ферросплавы»; Кузнецкая ТЭЦ-Сибирская генерирующая компания; Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Администрации г. Новокузнецка; ЦОФ «Щедрухинская»; АО «СУЭК-Кузбасс»; ООО «Водоканал»; Кузбасская Ассоциация переработки отходов; ОАО «Эколэнд»; ООО «Экологический региональный центр»; АО «РУСАЛ Новокузнецк»; ООО «Недра Сибири»; ПАО «Северсталь»; ФГБУ «Шорский национальный парк»; Управления Росприроднадзора, Ростехнадзора, Роспотребнадзора и др.

Студенты активно занимаются научно-исследовательской работой, которая является составной частью учебных планов по всем направлениям подготовки. Ряд НИР в дальнейшем развитии становятся выпускными квалификационными работами. Результаты по их завершении публикуются в ежегодных сборниках «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых» и др. Обучающиеся участвуют в ежегодных Международных инженерных чемпионатах «CASE-IN» и Международных чемпионатах по технологической стратегии «Metal-Cup».

За 2015-2019 гг. выпуск бакалавров и магистров составил 216 человек, а также прошли обучение по программе аспирантуры 2 человека, получив дипломы с отличием (Осокина А. А., Коноз К. С.). Количество окончивших обучение с отличием составило 42 человека. Это: в 2015 г.: Тонкушин Я. В., Фуженкова А. А., Васькова Е. С., Васькова Н. С., Елескина Н. Ю., Царегородцева М. С., Шалаева Н. А., Шульцева О. Л.; в 2016 г.: Лойко Е. В., Андриюшина Е. А., Костина Д. Д., Сальникова Е. С., Тутынина М. С., Чекрыжова В. М., Щербакова Е. О.; в 2017: Белова Е. А., Колегова А. А., Кузьмик Н.С., Скрипкарева А. И., Чикурова И. В., Шестопапов Н. Е., Сазонова Я. Е., Обгольц Е. О., Семичева И. Р., Кононова А. С., Брызгалова А. Ю., Козлова Н. Е. (маг.); в 2018 г.: Ракуц Р. О. (маг.), Татарина Е. С. (маг.), Шабалина М. К. (маг.), Пушкарева Н. Ю. (маг.), Самбуракова Е. А. (маг.); в 2019 г.: Александрова О. А., Воробьев В. В., Карбач Ю. С., Лобков А. Е., Стертюкова О. В., Дьяченко Е. В. (маг.), Сазонова Я. Е. (маг.), Шестопапов Н. Е. (маг.), Адыбаев Д. Е. (маг.), Мигель Р. О. (маг.).

Наиболее значимые достижения студентов: 14 дипломов за участие в Международных и Российских конференциях, конкурсах, первенствах, практических турах; 11 благодарственных писем за разработки и представление проектов, докладов на конференциях различного уровня, участия в олимпиа-

дах; 8 почётных грамот. Обучающиеся удостоивались назначению: Корпоративной стипендии ЕВРАЗ ЗСМК, Стипендии Правительства РФ, Именной стипендии имени академика И.П. Бардина.

В 2015 г. прошла аккредитация бакалавриата по направлению «Техносферная безопасность», получена лицензия на право осуществления образовательной деятельности уровня магистратуры по данному направлению.

В октябре 2018 г. кафедрой успешно пройдена государственная аккредитация по всем уровням направлений подготовки (Техносферная безопасность, Теплоэнергетика и теплотехника, Экология и природопользование) сроком на 6 лет.

Для обеспечения качества профессиональной подготовки обучающихся за последние 5 лет сотрудниками выпущено 5 монографий, 3 учебных пособия с грифом УМО, 211 методических указаний. Среди них:

Учебные пособия:

1. Павловец В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд : учеб. пособие / В. М. Павловец ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

2. Павловец В. М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы : учебное пособие / В. М. Павловец ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.

3. Павлович Л. Б. Экологические проблемы металлургического производства : учебное пособие / Л. Б. Павлович, О. О. Титова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – 211 с.

Монографии:

1. Садочные печи: [монография] / В. В. Стерлигов, М. В. Темлянцев. – М.: Теплотехник, 2014. – 210 с.

2. Павлович Л. Б. Катализаторы и каталитические процессы глубокого окисления на основе металлургических шлаков : [монография] / Л. Б. Павлович, С. И. Павлович ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – 235 с.

3. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением : монография / М. В. Филиппова, В. Н. Перетяtko, М. В. Темлянцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 269.

4. Павловец В. М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке : монография / В. М. Павловец ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

5. Оценка экологического риска производственной деятельности коксохимического предприятия: монография / Л. Б. Павлович, С. Г. Коротков, Б. Г. Трясунов. 2019г.

Для осуществления образовательной деятельности кафедра располагает 3 предметными аудиториями, 2 компьютерными классами и лабораториями: «Тепломассопереноса», «Пылеулавливающих аппаратов», «Рециклинга материалов», «Топлива и огнеупоров», «Механики жидкостей и газов», «Печная

лаборатория», «Специализированная лаборатория исследования теплофизических процессов».

Научная деятельность является одним из приоритетов кафедры. За 85-летнюю историю коллективу приходилось решать весьма широкий спектр научных задач и проблем для многих промышленных предприятий г. Новокузнецка, Кузбасса, России и других государств.

Основные научные направления кафедры: горение, аэромеханика и теплоперенос в тепловых агрегатах (участие всех сотрудников); развитие теплотехнологий в производстве железорудного сырья с целью повышения его качества и производительности технологического оборудования (доц. Павловец В. М.); развитие металлургических основ теории ресурсосберегающих технологий тепловой обработки стали (проф. Темлянец М. В.); энергосбережение в промышленности, в бюджетной и жилищной сфере (проф. Стерлигов В. В.); снижение вредных выбросов в атмосферу от энергетических и промышленных объектов (доц. Коротков С. Г., доц. Соловьев А. К.); разработка энергогенерирующих технологий и комплексов (проф. Стерлигов В. В., доц. Коротков С. Г.); исследование процессов и разработка технологии получения самовосстанавливающихся брикетов на основе железосодержащих и органических отходов (проф. Волынкина Е. П., доц. Аникин А. Е.); разработка новых видов синтетических шлакообразующих материалов на основе отходов алюминиевого производства (проф. Волынкина Е. П.); разработка новых видов альтернативного топлива на основе органических отходов (доц. Аникин А. Е.); разработка технологии утилизации накопленных отходов горнометаллургического комплекса (проф. Черепанов К. А., проф. Волынкина Е. П.); биомониторинг и рекультивация техногенных территорий с использованием отходов (проф. Водолеев А. С.); решение проблемы устойчивого развития посредством замены природных ресурсов промышленными отходами в области металлургии, строительной индустрии и теплоэнергетике (проф. Черепанов К. А.).

За последние годы прикладные и фундаментальные научно-исследовательские работы, выполняемые сотрудниками кафедры, имели объём финансирования более 11 миллионов рублей. Наиболее значимые из них: «Развитие фундаментальных основ экономически эффективной утилизации углеродсодержащих отходов на основе их использования в качестве топлива для автоматизированных теплоэнергетических установок и производства строительных материалов из зольных остатков», «Разработка новой технологии и освоение производства круглого сортового проката из стали марки 54SiCr6, 60C2XA (аналог 54SiCr6) с повышенными требованиями к качеству поверхности, глубине обезуглероженного слоя для производства автомобильных пружин», «Исследование и анализ тепловых процессов экстракционного осаждения металла из жидких металлургических шлаков с изучением их химического состава», «Техническое перевооружение производственных цехов металлургического производства с развитием газоочистных комплексов защиты атмосферного воздуха», «Исследование тепловой работы футеровки

металлургических агрегатов и изучение влияния различных факторов на охлаждающую способность газожидкостных сред», «Развитие теории тепловой работы и технологических основ ресурсосбережения в твердотопливных низкошахтных печах», «Разработка научных и технологических основ применения буроугольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья».

Стратегическими партнёрами по этим работам выступали: ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод», ООО «Сибстройпроект», ООО «Технологии рециклинга».

По результатам научно-исследовательских работ за последние годы коллективом кафедры организовано и проведено 7 международных научно-практических конференции, получено 52 патента, опубликовано 276 научных работ в ведущих изданиях РФ, защищено 1 докторская и 7 кандидатских диссертаций.

Некоторые наиболее значимые достижения сотрудников отмечены следующими наградами: 11 дипломов, 6 золотых, 3 серебряных, 1 бронзовая медалей Выставочной компании «Кузбасская ярмарка»; 3 почётных грамоты, 14 дипломов, 22 благодарственных письма различных конференций и конкурсов.

Кафедра гордится своими выпускниками – видными учеными и организаторами производства, директорами, главными инженерами и ведущими специалистами крупных заводов, общественными деятелями, успешными бизнесменами, творческими личностями, профессорами, доцентами, докторами и кандидатами технических наук, всеми, кто верой и правдой посвящает свою жизнь служению выбранной профессии и просто достойными людьми. Среди них генеральный директор ЗАО «Калугин», д.т.н. Я. П. Калугин, заведующий лабораторией экологических проблем теплоэнергетики Института теплофизики СО РАН им. Кутателадзе, в.н.с., д.т.н. В. И. Попов, д.т.н., профессор В. С. Стариков, к.т.н., доцент В. В. Стерлигов, к.т.н., доцент Михайленко Ю. Е., к.т.н., доцент А. К. Соловьев, к.т.н., доцент С. Г. Коротков, д.т.н., доцент Е. П. Волынкина, к.т.н., доцент Н. И. Трофимов, к.т.н., доцент В. М. Павлевец, к.т.н. Е. Н. Темлянцева, д.т.н., профессор М. В. Темлянецв, генеральный директор ОАО «Кузбассшахтострой» Ю. А. Коробкин, генеральный директор ООО «Сибирские товары» С. Г. Сидельников, директор по персоналу ОАО «РУСАЛ Новокузнецк» А. Г. Абраменко, руководитель спасательного центра по югу Кузбасса, президент городской ассоциации туристов Р. Э. Брувер, председатель комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов Администрации г. Новокузнецка И. Н. Савина, руководитель Роспотребнадзора по Кемеровской области И. А. Климовская, главный теплотехник ОАО «Евраз ЗСМК» Е. А. Колотов, главный специалист по теплоэнергетике СЭМЛ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» В. В. Семахин, начальник цеха обжига извести аглоизвесткового производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», член Союза писателей России С. Н. Стрельников, главный технолог прокатного производства ОАО «Евраз ЗСМК» В. Г. Перекопский, главный эколог

ООО «Сибстройпроект» А. Г. Миролубов, главный эколог «Евраз ЗСМК», почетный металлург РФ, председатель экологической комиссии Совета народных депутатов г. Новокузнецка А. А. Попов, эколог разреза «Ерунаковский» ОАО «Кузбассразрезуголь» А. А. Микрюкова, генеральный директор ООО «Взлет-Кузбасс» Мельтенисов Н. М., начальник УОТиПБ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Рогачев А. Н., помощник управляющего директора АО «Евраз ЗСМК» Костерев В. Б., генеральный директор ОАО КМК Г. В. Мохов, заместитель Главы города – руководитель администрации Центрального района Н. Ю. Маслов, генеральный директор ОАО «Амурсталь», мэр города Комсомольск-на-Амуре С. И. Сафонов и многие другие.

Славная 85-летняя история становления и развития кафедры теплоэнергетики и экологии – это добросовестный, повседневный труд ее сотрудников, тех кто трудится сейчас и кто работал на ней в прежнее время [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самохвалов Г.В., Черныш Г.И. Кафедра теплофизики и промышленной экологии // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2000. – № 8. – С. 5-6.

2. Самохвалов Г.В., Коротков С.Г. Кафедре теплофизики и промышленной экологии СибГИУ – 70 лет // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – Вып. 13. – С. 9-12.

3. СМИ – СибГИУ – 75 лет. Хроника. Люди. События: очерки истории СибГИУ / Н.М. Кулагин, С.М. Кулаков, В. А. Воскресенский и др. - Кемерово: Кузбасс, 2005. – 304 с.

4. Берлин А.Б. Сибирский металлургический институт. Дела и люди. – Новокузнецк: изд. СМИ, 1992. – 224 с.

5. Кафедра теплофизики и промышленной экологии СибГИУ. 75 лет в образовании и науке / СибГИУ; под. ред. М.В. Темлянцева. С.Г. Короткова, В.В. Стерлигова. – Новокузнецк: СибГИУ. 2009. – 163 с.

6. Коротков, С. Г. Кафедра теплоэнергетики и экологии СибГИУ: 80 лет в образовании и науке / С. Г. Коротков, М. В. Темлянцев // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество : труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции, 14-16 октября. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 4-17. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

УДК 669.713

Г.В. Галевский, В.В. Руднева

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

КАФЕДРА МЕТАЛЛУРГИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ СИБГИУ - 50 ЛЕТ В ОБРАЗОВАНИИ И НАУКЕ

Изложена история образования и развития кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ: создание кафедры металлургии цветных металлов (1969 г.), присоединение секции технологии электротермических производств кафедры электрометаллургии стали и ферросплавов (1991 г.) и кафедры физической химии и теории металлургических процессов (2014 г.). Приведены сведения о научных школах кафедры, основных этапах их становления, кадровом потенциале, научно-технологических достижениях.

The history of education and development of department of metallurgy of non-ferrous metals and chemical technology of SibSIU is stated: creation of department of metallurgy of non-ferrous metals (1969), accession of section of technology of electrothermal productions of department of electrometallurgy of steel and ferroalloys (1991) and department of physical chemistry and theory of metallurgical processes (2014). Data on schools of sciences of department, the main stages of their formation, personnel potential, scientific and technological achievements are provided.

История кафедры

Основу современной научно-образовательной структуры кафедры составили кафедры металлургии цветных металлов (период функционирования 1969 – 1991 гг.), физической химии и теории металлургических процессов (1939 – 2014 гг.), секция технологии электротермических производств кафедры электрометаллургии стали и ферросплавов (1968 – 1991 гг.).

Кафедра металлургии цветных металлов организована в 1969 г. Первым заведующим был избран к.т.н., доцент А.К. Пинаев. В дальнейшем кафедру возглавляли к.т.н., доцент В.А. Линьков (1972 – 1977 гг.), к.т.н., доцент Ю.И. Сухарев (1977 – 1987 гг.), к.х.н., доцент В.А. Дегтярь (1987 – 1991 гг.). В 1991 г. к кафедре была присоединена секция технологии электротермических производств кафедры электрометаллургии стали и ферросплавов, а сама кафедра переименована в кафедру высокоинтенсивных химико-металлургических процессов, а затем в 1995 г. – в кафедру металлургии цветных металлов и химической технологии. С 1991 г. и по н.в. кафедрой заведует д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ Г.В. Галевский. В 2014 г. к кафедре была

присоединена кафедра физической химии и теории металлургических процессов, образованная в 1939 г. и на разных этапах становления и развития возглавляемая д.т.н., профессором В.А. Кожеуровым (1939 – 1957 гг.), к.т.н., доцентом Я.С. Воложиным (1957 – 1967 гг.), к.т.н., доцентом



Заведующий кафедрой
с 1991 г. по н.в., д.т.н.,
профессор
Г.В. Галевский

Е.С. Воронцовым (1967 г.), д.т.н., профессором Б.П. Бурyleвым (1967 – 1970 гг.), д.х.н., профессором Д.М. Лаптевым (1970 – 1981 гг.), д.т.н., профессором К.М. Шакировым (1981 – 2004 гг.), к.х.н., профессором А.И. Пошевневой (2004 – 2014 гг.). В настоящее время кафедра функционирует в составе трех образовательно-научных секций: физической химии и теории металлургических процессов, металлургии цветных металлов, химической технологии неорганических веществ.

На этапах становления и развития кафедры определенный вклад в её работу и подготовку специалистов внесли д.т.н., профессор В.М. Федотов, д.х.н., профессор В.Ф. Горюшкин, д.т.н., профессор М.С. Хрущев, к.т.н., профессор М.Я. Минцис, к.х.н., доцент В.И. Дубинский, к.т.н., доцент А.А. Плышевский, к.т.н., доцент В.Н. Михайлец, к.т.н., доцент Ю.Л. Крутский, к.т.н., доцент О.Б. Громова, к.т.н., доцент В.П. Меркулова, к.т.н., доцент В.М. Нерезов, к.х.н., доцент А.И. Волович, к.т.н., доцент Н.Ф. Чиж, к.т.н., доцент Ю.В. Пожидаев, к.т.н., доцент И.Н. Толкунова, ст. преподаватели В.Г. Легаев, Н.И. Федосеева, Е.Н. Полях, заведующие лабораториями И.А. Березина, В.С. Дзензель, В.П. Подсевалов, В.В. Постолов, Л.П. Скуратович. В настоящее время в составе кафедры д.т.н., профессор Н.Ф. Якушевич, д.т.н., профессор В.В. Руднева, д.т.н., профессор И.В. Ноздрин, к.х.н., профессор Н.М. Кулагин, к.т.н., доцент В.В. Васильев, к.т.н., доцент О.А. Полях, к.т.н., доцент Л.С. Ширяева, к.т.н., доцент А.Е. Аникин, заведующая лабораториями И.А. Журавлева.

Образовательная деятельность кафедры включает подготовку бакалавров, магистров и аспирантов по направлениям «Металлургия» и «Химическая технология», а также её соучастие в подготовке специалистов, бакалавров и магистров других направлений и программ путем учебно-методического обеспечения таких дисциплин, как «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Теория металлургических процессов», «Прикладная термодинамика и кинетика». Кафедра располагает учебно-лабораторной базой, достаточной для подготовки кадров для алюминиевых предприятий, предприятий вторичной металлургии цветных металлов, разнообразных химических производств, создает современные учебно-информационные ресурсы, получившие признание вузовской и производственной отечественной и зарубежной общественности. В своей образовательной деятельности кафедра тесно взаимодействует с такими

стратегическими партнерами, как компании «ЕвразХолдинг», «Русский алюминий», «Союзметаллресурс», «Норильский никель», «Балхашцветмет» и др.

За годы своей деятельности кафедра выпустила более 1600 специалистов, внесших значительный вклад в развитие отечественных металлургической и химической отраслей промышленности и машиностроения. Среди них – «директорский» корпус крупнейших алюминиевых заводов России и зарубежья: В.В. Берстнев (Братский, Иркутский, Таджикский, Саяногорский заводы), В.В. Гейнце (Саяногорский и Красноярский заводы), В.С. Жирнаков (Новокузнецкий и Саяногорский заводы), Ю.Г. Овчинников (Саяногорский, Николаевский и Ачинский глиноземные заводы), А.А. Зальцман («Саянал», Белокалитвинский и Самарский металлургический заводы, алюминиевый комбинат в Черногории), целые металлургические династии: Пинаевых (А.Ф. Пинаев, А.А. Пинаев, Е.А. Пинаев), Овчинниковых (Ю.Г. Овчинников, Е.Ю. Овчинников), Подъяпольских (В.И. Подъяпольский, Е.В. Подъяпольский), руководители крупных химико-металлургических предприятий и производств: В.Д. Хромов – директор Юргинского абразивного завода, И.В. Ноздрин – директор Беловского цинкового завода, Г.В. Чикрин – зам. директора Запорожского абразивного комбината, С.Н. Юдаков – директор ОАО «Юргинские абразивы», В.Г. Лупенко – директор департамента кокса и технологических материалов «Группа компаний «Сибпроект», С.Д. Бурылин – директор коксоаглодоменного производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Ю.Е. Прошунин – директор ООО «Энергоресурс», С.В. Амбурцев – директор Прокопьевского дрожжевого завода, И.Е. Прошунин – начальник управления по качеству АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Научная деятельность кафедры реализуется в рамках двух научных школ:

- «Создание и применение наноматериалов в металлургии, химической технологии и машиностроении». Руководитель д.т.н., профессор Г.В. Галевский;

- «Физическая химия галогенидов лантаноидов». Основатель – д.х.н., профессор Д.М. Лаптев, руководители к.х.н., профессор Н.М. Кулагин, д.х.н., профессор В.Ф. Горюшкин.

Под руководством и при личном участии профессора Г.В. Галевского разработаны и освоены промышленный комплекс плазмотехнологического оборудования, технология производства сверхтвердых тугоплавких веществ в наносостоянии, высокоэффективные процессы их использования в гальванике, керамике, модифицировании сплавов и полимеров. Результаты исследований обобщены в 20 монографиях, 30 патентах и 800 публикациях. Участниками научной школы защищено 9 докторских и 17 кандидатских диссертаций.

Под руководством и при личном участии профессоров Д.М. Лаптева, Н.М. Кулагина, В.Ф. Горюшкина создан уникальный лабораторный комплекс по синтезу и изучению термодинамических свойств галогенидов лантаноидов, исследованы кондуктометрические свойства расплавов $\text{LnCl}_3 - (\text{KCl} - \text{NaCl})$, и дана их интерпретация. Результаты исследований обобщены в монографии, 200 научных публикациях, включены в авторитетные научные спра-

вочники и издания. По результатам исследований защищено 2 докторских и 7 кандидатских диссертаций.

В разные исторические периоды кафедры в её научной деятельности значительное развитие получили направления д.т.н., профессора Н.Ф. Якушевича «Совершенствование технологии электротермических производств неорганических материалов», д.т.н. профессора К.М. Шакирова «Физико-химическая гидродинамика в металлургии», к.т.н., доцента Ю.И. Сухарева «Синтез, исследование свойств и закономерностей структурирования неорганических сорбентов», к.т.н., профессора М.Я. Минциса «Совершенствование электролитического производства алюминия», д.т.н., профессора М.С. Хрущева «Совершенствование производства карбида кремния и кремнистых сплавов».

За высокие достижения в образовательной и научной деятельности, значительный вклад в подготовку высококвалифицированных кадров многие сотрудники кафедры награждены государственными, отраслевыми и региональными наградами: профессор Г.В. Галевский – орденом Дружбы, профессор М.Я. Минцис – орденом Трудового Красного Знамени, профессор Н.М. Кулагин – орденом Почета, профессора В.А. Дегтярь, Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, В.В. Руднева, Н.Ф. Якушевич, М.Я. Минцис, А.И. Пошевнева – знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ». Почетных званий удостоены профессоры: Г.В. Галевский – «Заслуженный деятель науки РФ», «Почетный металлург РФ», лауреат Премии Кузбасса; Н.М. Кулагин – «Заслуженный работник высшей школы РФ», лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники; Д.М. Лаптев – «Заслуженный деятель науки РФ»; М.Я. Минцис – «Заслуженный изобретатель СССР», лауреат Премии Кузбасса.

Фотолетопись

Приказ № 188 от 19 декабря 1939 г

На основании приказа ВКВШ при СНК СССР от 29 ноября с/г за № У/158а утвердить кафедру физической химии с включением в нее курса теории металлургических процессов.

Кафедре физической химии подчинить лаборатории физической химии и теории металлургических процессов со всем учебно-вспомогательным персоналом.

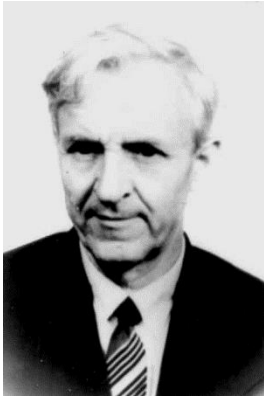
Заведующему кафедрой металлургии стали доценту Зарвину Е.Я. предлагаю передать лабораторию теории металлургических процессов вр. и.о. зав. кафедрой физической химии доценту Кожеурову.

Вр. исполняющим обязанности зав. кафедрой назначаю доцента канд. наук Кожеурова Владимира Александровича с 29 ноября с/г с выплатой 20 % к основному окладу за заведование кафедрой.

Ассистента по курсу теории металлургических процессов Аносова Павла Алексеевича считать ассистентом кафедры физической химии.

Гаршенин

(Гаршенин Д.Г. – директор Сибирского металлургического института, 1939 – 1943 гг, 1945 – 1948 гг)



Д.т.н., профессор
В.А. Кожеуров



К.т.н., доцент
Воложин Я.С.



Д.т.н., профессор
Воронцов Е.С.



Д.т.н., профессор
Б.П. Бурyleв



Д.х.н., профессор
Д.М. Лаптев



Д.т.н., профессор
К.М. Шакиров



К.х.н., доцент
А.И. Пошевнева



К.х.н., профессор
Н.М. Кулагин



Д.т.н., профессор
М.С. Хруцев



Д.х.н., профессор
В.Ф. Горюшкин



К.т.н., доцент
В.В. Васильев



К.т.н., доцент
А.А. Плышевский



К.т.н., доцент
С.Н. Михайлец



К.т.н., доцент
И.Н. Толкунова



Зав. лабораториями
В.П. Подсевалов



Д.х.н., профессор
Ю.И. Сухарев



Д.х.н., профессор
В.А. Дегтярь



Д.т.н., профессор
Н.Ф. Якушевич



Д.т.н., профессор
В.В. Руднева



Д.т.н., профессор
И.В. Ноздрин



К.т.н., профессор
М.Я. Минцис



К.х.н., доцент
А.И. Волович



К.т.н., доцент
О.Б. Громова



К.т.н., доцент
О.А. Полях



Д.т.н., профессор
В.М. Федотов



К.т.н., доцент
В.А. Радугин



К.т.н., доцент
В.М. Динельт



К.т.н., доцент
Ю.Л. Крутский



К.т.н., доцент
Ю.В. Пожидаев



Ст. преподаватель
А.М. Январев



К.т.н., доцент
Л.С. Ширяева



К.т.н., доцент
А.Е. Аникин



Ст. преподаватель
А.К. Гарбузова



Зав. лабораториями
Л.П. Скуратович



Зав. лабораториями
В.В. Постолов



Зав. лабораториями
И.А. Журавлева



1-й ряд (слева направо): И.А. Журавлева, К.А. Ефимова, О.А. Полях,
И.Н. Толкунова, Н.М. Кулагин, А.И. Пошевнева, С.А. Новикова
2-й ряд (слева направо): В.В. Васильев, Л.П. Скуратович, Л.С. Ширяева, Д.И. Ощепков,
Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Н.Ф. Якушевич,
С.В. Соболюков

Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии – 2014 г.



1-й ряд (слева направо): ведущий инженер И.А. Журавлева, доцент
Л.П. Скуратович, к.т.н., доцент О.А. Полях, учебный мастер Г.Н. Налетова, к.х.н.,
профессор В.В. Руднева

2-й ряд (слева направо): д.т.н., профессор Н.Ф. Якушевич,
д.х.н., профессор В.А. Дегтярь, к.т.н., доцент И.В. Ноздрин,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, к.т.н., профессор М.Я. Минцис,
ведущий инженер С.В. Соболюков

Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии – 2009 г.



1-й ряд (слева направо): Г.Г. Полякова, А.И. Пошевнева, К.М. Шакиров, И.Н. Толкунова

2-й ряд (слева направо): В.В. Постолов, Н.М. Кулагин, С.А. Новикова,

В.В. Васильев

Кафедра физической химии и теории металлургических процессов – 2009г.



1-й ряд (слева направо): Л.П. Скуратович, Г.Я. Бабаева, В.В. Руднева
2-й ряд (слева направо): О.А. Полях, В.А. Дегтярь, Г.В. Галевский,
Н.Ф. Якушевич, С.В. Соболюков, И.А. Журавлева
Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии – 2004 г.



1-й ряд (слева направо): Г.Г. Полякова, А.И. Пошевнева, С.А. Новикова, И.Н. Толкунова

2-й ряд (слева направо): В.В. Васильев, М.С. Хрущев, К.М. Шакиров,
В.В. Постолов, Д.И. Ощепков

Кафедра физической химии и теории металлургических процессов – 2004 г.



1-й ряд (слева направо): Д.М. Лаптев, И.Н. Толкунова, С.А. Новикова,
Г.Г. Полякова, А.И. Пошевнева, С.А. Галочкина, М.С. Хрущев

2-й ряд (слева направо): В.В. Васильев, В.В. Постолов, Д.И. Ощепков,
В.Н. Михайлец, К.М. Шакиров, А.А. Плышевский, В.Ф. Горюшкин,
Н.М. Кулагин

Кафедра физической химии и теории металлургических процессов – 1998 г.



1-й ряд (слева направо): Березина И.А., Волович А.И., Сухарев Ю.И., Федосеева Н.И.,
Ошкукова В.И.

2-й ряд (слева направо): Козлов П.И., Дегтярь В.А., Скуратович Л.П., Пинаев А.К., Руднева
В.В.

Кафедра металлургии цветных металлов – 1983 г.



1 ряд (слева направо): Н.Ф. Якушевич, А.А. Воробьев, В.П. Тимофеева, А.М. Левин, Н.В. Толстогузов, А.В. Вишняков,

2 ряд (слева направо): В.А. Радугин, А.Е. Коган, И.Д. Рожихина,
Ю.Н. Носов, В.И. Андреев, Л.С. Тропина,
В.Ф. Гуменный, И.С. Астахова, Г.В. Галевский

3 ряд (слева направо): Г.О. Нейгебауэр, Ю.Л. Крутский, В.Г. Кадуков,
В.Д. Муковкин, В.Г. Легаев

Секция «Технология электротермических производств»:

Н.Ф. Якушевич, В.А. Радугин, В.Г. Легаев, Г.В. Галевский, А.М. Январев, Ю.Л. Крутский,
В.М. Динельт

Кафедра электрометаллургии стали и ферросплавов – 1980 г.



1-й ряд (слева направо): В.В. Васильев, А.И. Пошевнева, Д.М. Лаптев,
И.Н. Толкунова, Г.Г. Полякова
2-й ряд (слева направо): Ю.М. Коробов, М.С. Хрушев, А.А. Плышевский, Н.М. Кулагин,
В.Ф. Горюшкин, Е.В. Протопопов, Н.Н. Малушин
Кафедра физической химии и теории металлургических процессов с коллегами

УДК 669.713

А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяцько

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ КАФЕДРЫ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ. ЕВРАЗ ЗСМК»

Кафедра «Обработка металлов давлением и металловедения ЕВРАЗ ЗСМК» образована 1 марта 2010 года в результате слияния трех ранее существовавших кафедр: обработки металлов давлением (1932 г.), технологии и автоматизации кузнечно-штамповочного производства (1970 г.), металловедения, оборудования и технологии термической обработки металлов (1930 г.).

Заведующим кафедрой был назначен заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Владимир Николаевич Перетяцько.

Профессор В.Н. Перетяцько является многократным исполнителем гранта Министерства образования РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук. Владимиром Николаевичем издано свыше 400 научных и научно-технических работ, в том числе 30 за рубежом, 6 научных монографий. Издано 5 лекционных курсов на английском языке в Египте, 2 лекционных курса в Мексике и 3 лекционных курса на немецком языке в Германии.

С февраля 2015 года заведующим кафедрой был назначен, а потом и избран Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН Андрей Ростиславович Фастыковский. Профессором А.Р. Фастыковским опубликовано более 250 научно-методических работ, в их числе монография, 6 учебных пособий, рекомендованных Министерством высшего образования РФ для преподавания в вузах страны, 17 авторских свидетельств и патентов.

После объединения кафедр базовым направлением подготовки оставлен профиль обработка металлов давлением.



В.Н. Готовский

История создания и развития объединившихся кафедр уходит в далекие 30-е годы прошлого столетия. После создания в 1930 году Сибирского института черных металлов (СИЧМ), который в 1931 году был переведен в г. Новокузнецк, в числе первых кафедр, организованных в вузе, была кафедра термической и пластической обработки металлов, которую возглавил (в период с 1932 по 1933 гг.) первый ректор института, д.т.н., профессор Николай Владимирович Готовский. В труднейших условиях при нехватке учебных помещений, отсутствии лабораторий и оборудования была

начата подготовка инженеров – прокатчиков (рисунок 1). В то время на кафедре работали преподаватели: доцент Сахаров А.И., Сухинин П.М., Щиrowsкий А.И, инженер Кучко И.И. После слияния с Сибирским институтом металлов на кафедру приходят Голубев Т.М. и Фролов Е.Я. В период с 1933 по 1941 г. кафедру возглавил Сахаров А.И. В 1941 г. Сахаров А.И. уходит в ЦЗЛ КМК, а заведующим кафедрой становится к.т.н. доцент Голубев Т.М. Вместе с ним работали доценты Соколов Л.Д., Оржеховский А.К. и ассистент Фокин Н.В. Оржеховский А.К., работавший до войны главным инженером трубного завода в Днепропетровске, в 1944 году уезжает на восстановление завода.



Рисунок 1 – Профессор Н.В. Гутовский консультирует студентов (начало 30^х годов)

В 1944 году после окончания института на кафедре остаются М.А. Зайков и Н.А. Чельшев. В это же время с фронта вернулись В.М. Заруев и Е.Я. Фролов. Однако вскоре они уезжают: Фролов Е.Я. – в Енакиево, а Заруев В.М. – в Донецк, заведующим кафедрой индустриального института. После их отъезда в штат кафедры пришли Скороходов Н.Е. и Скороходова В.Ф.

Освоение новых производственных мощностей Кузнецкого металлургического комбината (КМК) требовало основательной научной проработки вопросов, связанных с созданием технологий прокатки стали, работой прокатного оборудования, повышением производительности прокатных цехов и качества металлопродукции. Еще большим полем научной деятельности ученых Сибирского металлургического института (СМИ) стала необходимость выполнения оборонных заказов во время Великой Отечественной войны, когда Родине потребовалась броневая сталь. В послевоенные годы стране для восстановления и развития промышленности понадобились новые прогрессивные

разработки для получения проката широкого сортамента профилей из новых марок сталей. Высокая актуальность разработок СМИчей и их востребованность явились мощным стимулом для самих ученых. Наиболее значимые научно-исследовательские работы были проведены на блюминге, листопрокатном стане и стане 500 КМК. К началу 50-х годов прошлого века докторские диссертации в области обработки металлов давлением защитили Т.М. Голубев, Л.Д. Соколов, ректор СМИ П.И. Полухин; кандидатские диссертации защитили М.А. Зайков и Н.А. Челышев, будущий ректор СМИ И.К. Суворов.



Т.М. Голубев

В 50-е годы, пожалуй, не было ни одного учебника по прокатке, где бы не упоминалось о **работах Тимофея Михайловича Голубева**. Научные труды д.т.н., профессора Т.М. Голубева по теории процессов прокатки, по технологии прокатного производства являются классикой обработки металлов давлением. Его научные достижения широко известны не только в России, но и за рубежом. Т.М. Голубев работал в Сибирском металлургическом институте фактически с первых лет его создания. Он прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой обработки металлов давлением (1941-1948 гг., 1953-1956 гг.). До Великой Отечественной войны он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1950 году, пройдя обучение в докторантуре АН СССР, – докторскую. В 1952 году ему присвоено ученое звание профессора.

Т.М. Голубев пользовался огромным авторитетом у преподавателей и студентов-прокатчиков. Тимофей Михайлович так строил свои отношения со студентами, что они, бывшие его ученики, ласково называли его «батей». На лекциях Т.М. Голубев часто отвлекался от теоретического вывода какой-либо формулы и рассказывал биографию ее автора. Он много вспоминал о своих впечатлениях и встречах с академиками И.П. Бардиным, А.И. Целиковым, А.П. Чекмаревым и другими видными учеными страны. В общении со студентами Тимофей Михайлович был предельно тактичен, на экзаменах всегда давал возможность студенту полностью выговориться и был весьма обескуражен, если тот плохо отвечал на вопросы.



Л.Д. Соколов

Лев Дмитриевич Соколов в 1938 году закончил СМИ, получив квалификацию инженера-металлурга по прокатному производству. В институте прошел трудовой путь от ассистента кафедры обработки металлов давлением до д.т.н., профессора, заведующего кафедрой механического оборудования металлургических заводов. В 1941 году Лев Дмитриевич защитил кандидатскую, а в 1951 году докторскую диссертации. В 1954 году его на три года командировали на работу в Китай для организации там высшего металлургического образования. Л.Д. Соколов автор монографии «Сопrotивление металлов

пластической деформации», вышедшей в свет в 1963 году в издательстве «Металлургиздат».



П.И. Полухин

Петр Иванович Полухин (1911-1996 гг.) в 1935 году окончил Московский институт стали по специальности «Обработка давлением», после обучения в аспирантуре (1936-1939 гг.) защитил кандидатскую диссертацию на тему «Деформация металла при прокатке в ромбических и квадратных калибрах». В 1941-1945 гг. служил в рядах Советской Армии. В 1948 году Петр Иванович направлен на работу в СМИ. В 1949 утвержден в должности директора СМИ. С 1949 по 1953 годы П.И. Полухин возглавляет кафедру обработки металлов давлением СМИ. В это время он активно занимается научной работой, исследованием деформации металлов при прокатке фланцевых профилей: двутавровых балок, швеллеров, железнодорожных рельсов и др. В 1950 году в диссертационном совете при Московском институте стали и сплавов П.И. Полухин защитил докторскую диссертацию на тему «Прокатка балок». В 1951 году ему присуждена ученая степень доктора технических наук, и присвоено ученое звание профессора.

В новокузнецкий период научной деятельности Петром Ивановичем подготовлены рукописи и изданы монографии «Прокатка и калибровка двутавровых балок» (1956 г.), в соавторстве с профессорами Ю.В. Грдиной и Е.Я. Зарвиным - «Прокатка и термическая обработка железнодорожных рельсов» (1962 г.). В 1953 году П.И. Полухин переходит на работу в центральный аппарат Министерства высшего образования. В 1955 году он назначен начальником Главного управления горно-металлургических и строительных вузов Министерства высшего образования СССР, позднее – заместителем Министра высшего и среднего специального образования СССР. С 1965 по 1986 годы Петр Иванович – ректор Московского института стали и сплавов. Петр Иванович вошел в историю развития нашей страны и высшего профессионального образования как выдающийся ученый металлург, талантливый педагог, блестящий организатор науки и образования.

За заслуги перед Родиной ему присвоено звание Героя Социалистического Труда (1971 г.), Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР (1968 г.), он награжден орденами Октябрьской Революции (1976 г.), Трудового Красного Знамени (1961, 1967, 1981 гг.), «Знак Почета» (1954 г.).

В 1956 г. на кафедру был принят В.Н. Меркутов, с приходом которого кафедра стала готовить специалистов по двум направлениям: прокатное и кузнечно-штамповочное производство. После отъезда Т.М. Голубева в Киев кафедру возглавил к.т.н. доцент М.А. Зайков. В этот период кафедра состояла из преподавателей молодого поколения: к.т.н., доцент Н.А. Челышев, ст. преподаватель Я.В. Шамец, ассистенты Е.Д. Белинский, В.С. Целуйков, В.М. Пермяков, В.Н. Перетяцько, В.Н. Меркутов, И.Н. Шубин и С.Г. Некрасов. Все сотрудники кафедры работали над диссертациями и в период с 1961 – 1964 г.

защитили кандидатские диссертации Я.В. Шамец, С.Г. Некрасов, В.Н. Перетяшко, Н.В. Дадочкин, В.С. Целуйков.



М.А. Зайков

Марк Андреевич Зайков родился 12 января 1916 года. В 1944 году закончил вечернее отделение Сибирского металлургического института по специальности прокатно-волочильное производство. Всю свою жизнь он был тесно связан с производством и практикой: еще в юности освоил рабочие профессии, работал на машиностроительном заводе, совмещая учебу с работой на производстве. Как один из наиболее способных выпускников института он получил приглашение на работу на кафедру обработки металлов давлением. Марк Андреевич прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой обработки металлов давлением (1956-1966 гг.), декана технологического факультета (1962-1964 гг.), проректора СМИ по научной работе (1964-1965 гг.). В 1950 году в диссертационном совете при Уральском политехническом институте он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Упрочнение углеродистых сталей в условиях различных температур нагрева, скоростей и степеней деформирования», а в 1963 году – докторскую диссертацию на тему «Исследование силовых параметров при горячей прокатке стали между гладкими и калиброванными валками». В 1952 году ему присвоено ученое звание доцента. В 1956 году М.А. Зайков избран заведующим кафедрой обработки металлов давлением. Марк Андреевич автор более 100 научных трудов, в числе которых монография «Режимы деформации и усилия при горячей прокатке», вышедшая в свет в 1960 году. М.А. Зайков развивал созданное им новое научное направление «Энергосиловые условия деформации и рационализация режимов прокатки», он подготовил целую плеяду учеников и последователей его дела - В.Н. Перетяшко, В.В. Вульф, В.Г. Кондратьев. Работы Марка Андреевича в области исследований температурно-скоростных зависимостей сопротивления стали пластической деформации были хорошо известны за рубежом, неоднократно обсуждались в трудах американского общества инженеров-металлургов.

Коллектив ученых под руководством М.А. Зайкова проводил масштабные научные исследования режимов работы станков Кузнецкого металлургического комбината, завода «Амур-сталь», Новосибирского металлургического завода им. А.Н. Кузьмина.

М.А. Зайков был не только крупным ученым и замечательным педагогом, он обладал немалыми организаторскими способностями, которые проявились на посту проректора по научной работе. Марк Андреевич являлся редактором раздела «Прокатное производство» журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», членом технического Совета СибГИПРОМЕЗа.

В 1966 году Марк Андреевич, переехав из Новокузнецка в Краснодар,

продолжил свою трудовую деятельность в Краснодарском политехническом институте, возглавив кафедру технологии металлов.



Н.А. Челышев

Николай Александрович Челышев (1920-2000 гг.) в 1944 году закончил Сибирский металлургический институт, и, как один из талантливых выпускников был, оставлен на кафедре обработки металлов давлением. За почти полвека работы в СМИ он прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой.

В 1951 году Николай Александрович Челышев защитил в ЦНИИТМАШе кандидатскую диссертацию, посвященную исследованию процессов резания металлов на ножницах с параллельными ножами. В 1966 году в ЦНИИЧерМете он защитил докторскую диссертацию на тему «К выбору оптимальных условий деформации при прокатке». В 1967 году ему присвоено ученое звание профессора, а в 1981 – почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

С 1966 по 1988 год Николай Александрович заведовал кафедрой обработки металлов давлением, а в 1969 году стал научным руководителем проблемной научно-исследовательской лаборатории транспортного металла СМИ. Под руководством Н.А. Челышева кафедра и проблемная лаборатория установили тесную связь с крупнейшими металлургическими и энергетическими предприятиями Сибири и Дальнего Востока, провели широкомасштабные научные исследования, которые были направлены на повышение качества прокатной продукции, экономию металла, разработку новых технологий по применению вибрационных процессов в обработке металлов давлением как на низких, так и на ультразвуковых частотах, акустической эмиссии как метода неразрушающего контроля, разработку и использование эффективных смазок при обработке металлов давлением, в том числе и стеклосмазок при горячей прокатке. Н.А. Челышев впервые предложил и широко использовал новый метод исследования пластических деформаций при обработке металлов давлением – метод радиоактивных изотопов, позволяющий вскрыть ряд существенных особенностей процессов деформации. Им созданы уникальные установки, приборы и эффективные методики исследования низкотемпературной обратимой межзеренной хрупкости сплавов железа.

При Н.А. Челышеве кафедра пополнилась новыми сотрудниками. В 1968 г. на кафедру был избран по конкурсу ассистентом, а затем ст. преподаватель А.В. Прокопьев. В том же году на должность доцента был избран производственник к.т.н. В.К. Кобызев, который вскоре возглавил технологический факультет. В 1971 г. на кафедру переходит заведующий ЦЗЛ КМК к.т.н. Д.Г. Рязанов. Позднее штат кафедры комплектуется учениками Н.А. Челышева, защитившими кандидатские диссертации: Кадыковым В.Н., Роговым Ю.Е., Фастыковским А.Р., Червовым Г.А., Цвигуном В.Н., Люц В.Я., Щекурской Л.В., Петровым В.И.

Под руководством Николая Александровича Чельшева на прокатных станах КМК, ЗСМК, «Амурстали», Новосибирского металлургического завода проведены научные исследования по повышению производительности и точности прокатки, освоению производства экономичных профилей, разработке новых калибровок для сортовых и рельсобалочных станов, режимов упрочнения рельсов и арматурных профилей в процессе прокатки. Результаты исследовательских работ по повышению качества продукции и неразрушающим методам контроля внедрены на КМК, ЗСМК, Кузнецком заводе ферросплавов, Ясногорском, Пермском, Артемовском машзаводах, Гусиноозерской ГРЭС. Исследования по созданию новых процессов, установок и методов контроля внедрены на КМК, Новокузнецком заводе «Сантехлит», ВНИИЖТ, Беловской, Кемеровской, Кузнецкой ГРЭС, НПО «ЦНИИТМАШ», институте проблем материаловедения АН УССР, Ясногорском машиностроительном заводе.

Николай Александрович автор более 400 научных работ, в том числе 2 монографий и 24 авторских свидетельств на изобретения.

Особое внимание он уделял подготовке научных кадров высшей квалификации. Под его научным руководством выполнено и защищено 25 кандидатских диссертаций, двое из его учеников стали докторами наук.

Николай Александрович являлся членом редакционной коллегии журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия» и межвузовского сборника «Обработка металлов давлением», входил в состав нескольких диссертационных советов.

Николай Александрович Чельшев награжден юбилейной медалью в честь 100-летия В.И. Ленина, медалью «Ветеран труда», знаками «За отличные успехи в работе», «Изобретатель СССР».



В.Н. Перетяцько

В 1970 году на базе кафедры обработки металлов давлением была создана новая кафедра технологии и автоматизации кузнечно-штамповочного производства, ее возглавил **доктор технических наук профессор Владимир Николаевич Перетяцько**.

Коллектив кафедры сформировали ученики Владимира Николаевича: В.В. Вульф, В.Г. Кондратьев. Позднее на кафедре стали работать Г.С. Котлов, Б.К. Журавлев, А.А. Ковтун, М.В. Филиппова, А.А. Федоров. Коллектив кафедры показан на рисунке 2.

Основные направления научных исследований: создание и внедрение новых прогрессивных и энергосберегающих технологий, развитие теории деформируемости металлов при их обработке давлением, исследование механизмов высокотемпературной пластической деформации и разрушения металлов, разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР). В это время совместно с институтом Машиноведения АН РФ были проведены масштабные работы по проектированию вакуумных камер и установок для высокотемпературных исследований металлов, изучения механизмов пластической деформации и разрушения, выбора опти-

мальных температур нагрева и режимов деформации. Созданы новые установки высокотемпературной металлографии типа «Киргизстан», «Ала-Тоо». Позднее в 90-е и 2000-е годы совместно с НПО «АНИТИМ» г. Барнаул разработаны, построены и успешно эксплуатируются на Барнаульском моторном заводе автоматические линии по производству высокопрочных болтов и автоматическая линия по штамповке корпуса распылителя для дизельных двигателей, не имеющая аналогов за рубежом. Совместно с Кузнецким металлургическим комбинатом разработана новая технология производства железнодорожных рельсов из электростали с разливкой на машине непрерывного литья заготовок. Рельсы низкотемпературной надежности КМК не имеют аналогов за границей и превосходят по качеству рельсы, производимые в Японии.



Рисунок 2 - Коллектив кафедры ТиАКШП

верхний ряд (слева направо): Л.А. Балабанова, Г.С. Котлов, М.В. Филиппова, А.А. Федоров

нижний ряд (слева направо): В.В. Вульф, В.Н. Перетяtko, В.Г. Кондратьев



В.Н. Кадыков

Не смотря на создание новой кафедры В.Н. Перетяtko сохранил тесные научные связи с кафедрой обработки металлов давлением и ее заведующим – научным руководителем проблемной научно-исследовательской лаборатории транспортного металла СМИ Н.А. Чельшевым. Совместные публикации, научно-исследовательские работы для КМК, консультации аспирантов и докторантов были в лучших традициях их взаимодействия.

С 1988 по 2010 год кафедрой обработки металлов давлением заведовал к.т.н., доцент **Владимир Николаевич Кадыков**. Владимир Николаевич родился в 1946

году в г. Прокопьевске Кемеровской области. В 1969 году окончил Сибирский металлургический институт (СМИ) по специальности инженер-металлург (обработка металлов давлением). В 1971 году после службы в Советской армии начал трудовую деятельность инженером-исследователем в проблемной лаборатории транспортного металла СМИ. С 1978 года после защиты кандидатской диссертации работает на кафедре обработки металлов давлением ассистентом, доцентом, а с 1988 – 2010 г. заведующим кафедрой. За время его заведывания сотрудники кафедры вели активную научно-исследовательскую и методическую работу. Под руководством Кадыкова В.Н. защищены три кандидатские диссертации (Уманский А.А., Головатенко А. В., Мартьянов Ю.А.) над выполнением докторской диссертации работал Фастыковский А.Р. (успешно защитивший ее в 2012 г.). Активно сотрудничали преподаватели кафедры с ведущими металлургическими предприятиями страны по решению проблем обработки металлов давлением. На рисунке 3 приведен состав кафедры в 2010 году.



Рисунок 3 - Кафедра обработки металлов давлением
нижний ряд (слева направо): В.М. Нефедов, Н.И. Червова, В.Н. Кадыков
верхний ряд (слева направо): А.Р. Фастыковский, Б.К. Журавлев, А.М. Корчемный, А.П. Лужный, В.В. Мальцев

За многолетний добросовестный труд Кадыков В.Н. удостоен звания «Почетный металлург», «Почетный работник ВПО РФ» награжден медалью «За воинскую доблесть». Постановлением Губернатора Кемеровской области награжден медалями «За служение Кузбассу», «За веру и добро».

Не менее богатую историю имеет вошедшая в состав объединенной ка-

федры обработки металлов давлением и металловедения ЕВРАЗ ЗСМК кафедры металловедения, оборудования и технологии термической обработки металлов. История кафедры начинается с момента создания СИЧМа. Возглавил тогда кафедру Ф.А. Бельшев. Кафедру и специальность подготовки называли «Термическая обработка». Существовала специальность до мая 1932 года, когда постановлением Наркомтяжмаша термическая специальность при СИЧМ закрылась.



Ю.В. Грдина

Второе рождение специальности и кафедры начинается с 1935 года, когда приказом НКТП предписывается установить в СМИ специальность «Термическая обработка металлов». Кафедру возглавил **и.о. профессора Юрий Вячеславович Грдина**. У него был помощник – Домрачев А.А., преподаватель этой же кафедры.

На этапе становления и развития кафедры большое внимание уделялось вопросам производства и улучшения качества транспортного металла и прежде всего - железнодорожных рельсов. В начале 40-х годов на кафедре была проведена работа по проектированию и строительству экспериментальной установки для испытания рельсов. Опытно-промышленные испытания на КМК сыграли большую роль в области термической обработки рельсов.

В годы Великой Отечественной войны после эвакуации в Новокузнецк Московского института стали (МИСа) были организованы две кафедры: кафедра металловедения во главе с профессором Миркиным И.Л. и выпускающая кафедра термической обработки металлов во главе с профессором Грдиной Ю.В. В 1943 году после отъезда МИСа обе кафедры были реорганизованы в одну кафедру металловедения и термической обработки металлов.



А.А. Говоров

В 1959 году произошло новое разделение на кафедру «Физики металлов» и кафедру «Металловедение, оборудование и термическая обработка металлов». Кафедру физики металлов возглавил профессор Грдина Ю.В., кафедру металловедения, оборудования и термической обработки металлов возглавил **кандидат технических наук доцент А.А. Говоров**.

Были определены основные направления, ориентированные на всестороннюю подготовку будущих инженеров и ученых. Основные силы двух кафедр во главе с Ю.В. Грдиной были сосредоточены на изучении способов улучшения качества транспортного металла и арматурной стали по средством химико-термической обработки. Были созданы уникальные технологии термической обработки – струйная закалка головки рельсов с прокатного или печного нагрева с последующим самоотпуском, объемная закалка рельсов в масле с последующим отпуском в печах.

В 1964 г. за разработку технологии термической обработки рельсов,

проектирование и строительство термического цеха группа ученых во главе с Ю.В. Грдиной были удостоены Государственной премии СССР, а в 1966 г. премии им. Н.А. Минкевича.

Наибольший вклад в развитие теории и практики получения высококачественных рельсов внесли д.т.н., проф. Ю.В. Грдина д.т.н. проф. В.Ф. Зубарев, к.т.н. доц. А.А. Говоров, Н.Н. Шубина, А.В. Котов, Д.И. Тараско, В.Е. Львов, О.В. Гордин, Н.С. Кадыков, В.В. Дружинин, ст. преподаватель А.Б. Алалыкин.



А.Ф. Софрошенков

С 1977 - 2005 год кафедру возглавлял **д.т.н. профессор Алексей Федорович Софрошенков**. Софрошенков А.Ф. родился 14 августа 1932 года в селе Ильинка Омской области. После службы в Советской армии в 1954 г. поступил в Сибирский металлургический институт на специальность “Металловедение и термическая обработка металлов”. После окончания вуза в 1959 г. он стал работать на кафедре физики металлов с начало в должности ассистента, а затем старшим инженером проблемной лаборатории. За время работы в проблемной лаборатории А.Ф. Софрошенков приобрел большой объем экспериментального материала, на основании которого в 1967 г. им была защищена кандидатская диссертация “Комбинированная химико-термическая обработка стали”. В 1996 г. Софрошенков А.Ф. защитил докторскую диссертацию, посвященную разработке специальных сплавов и технологии термической и химико-термической обработки аппаратов высокого давления. В это время на кафедре действует научная школа, созданная к.т.н. доц. А.А. Говоровым и д.т.н. проф. А.Ф. Софрошенковым «Методы поверхностного упрочнения стали». По результатам работы этой школы защищено две докторских и ряд кандидатских диссертаций.

Софрошенковым А.Ф. опубликовано более 50 научных работ, получено 6 авторских свидетельств на изобретения.



Т.Н. Осколкова

С 2005 – 2010 г. кафедру возглавляла **к.т.н. доцент Татьяна Николаевна Осколкова**. В 1981 г. Осколкова Т.Н. окончила Сибирский металлургический институт им. С. Орджоникидзе по специальности «Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов. С 1981 по 1982 г. проходила стажировку на кафедре термической обработки и физики металлов в Уральском политехническом институте им. С.М. Кирова (УПИ) г. Свердловск, с 1982 по 1985 г. обучалась в аспирантуре на этой же кафедре. После успешной защиты кандидатской диссертации на тему «Исследование структуры, стабильности фаз и свойств в сплавах Ni-Co-Cr-Al с целью оптимизации состава защитных покрытий» Осколкова Т.Н. в 1985 году вернулась в Сибирский металлургический институт и работала сначала в должности ас-

систента, затем доцента кафедры «Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов», а с 2005 г. по 2010 г. выполняла обязанности заведующего данной кафедры. В 2018 году Осколкова Т.Н. успешно защитила докторскую диссертацию на тему «Развитие теоретических и технологических основ повышения износостойкости карбидовольфрамовых твердых сплавов с использованием поверхностного упрочнения концентрированными потоками энергии и объемной термической обработки» и продолжает работать на кафедре «Обработка металлов давлением и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК».



А.Р. Фастыковский

С 2015 г. по настоящее время объединенную кафедру обработки металлов давлением и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК возглавляет **д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН Андрей Ростиславович Фастыковский**. Фастыковский А.Р. после окончания Сибирского металлургического института (СМИ) в 1974 г. по специальности «Обработка металлов давлением» был распределен в проблемную лабораторию транспортного металла СМИ инженером – исследователем. В 1977 году поступил в очную аспирантуру при кафедре обработки металлов давлением, после окончания которой в 1980 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование смещений на контактной поверхности в очаге деформации при прокатке» и был принят ассистентом на кафедру «Обработка металлов давлением». В 1983 г. ему присвоено ученое звание доцента. В 2012 г. Фастыковский А.Р. успешно защищает докторскую диссертацию на тему «Развитие научных основ и разработка совмещенных методов обработки металлов давлением, обеспечивающих экономию материальных и энергетических ресурсов». Вся трудовая деятельность Фастыковского А.Р. связана с кафедрой обработки металлов давлением, где он прошел путь от ассистента до д.т.н., заведующего кафедрой.

За время его работы кафедра серьезно укрепила свою материальную базу за счет реализации денежных средств, выделенных на эти цели по линии спонсорской помощи АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Повышается квалификация сотрудников кафедры посредством защит диссертаций: кандидатской - Симачевым А.С., докторской - Осколковой Т.Н., Федорову А.А., Юрьеву А.Б. присвоены ученые звания доцентов. В 2018 г. кафедра успешно прошла аккредитацию всех реализуемых программ. На кафедре ведется подготовка специалистов высшей квалификации в аспирантуре по двум направлениям: «обработка металлов давлением», «металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

За многолетний добросовестный труд Фастыковский А.Р. удостоен звания «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», «Заслуженный работник науки и образования РАН», награжден орденом «LABORE ET SCIENTIA – ТРУДОМ И ЗНАНИЕМ», медалями «70 лет Кемеровской области», «За служение Кузбассу».

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Е.Г. Оршанская

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ОСОБЕННОСТИ АКАДЕМИЧЕСКОГО БИЛИНГВИЗМА В УСЛОВИЯХ ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Перечислены основные типы билингвизма, встречающиеся у студентов в период обучения в вузе при изучении иностранного языка. Представлена их краткая характеристика. Даны рекомендации преподавателю, связанные с необходимостью учета особенностей академического билингвизма. Рассмотрены модели изучения иностранного языка, которые могут быть реализованы в учебном процессе.

The main types of students' bilingualism during getting education at university and learning a foreign language are enumerated. Their brief characteristic is presented. Recommendations for teachers connected with the necessity of taking into account peculiarities of academic bilingualism are given. The models of foreign language learning that can be used in the educational process are reviewed.

При изучении иностранного языка и обучающий, и обучаемый становятся участниками билингвального общения, эффективность которого зависит от многих факторов. Необходимым является учет периода обучения, знание особенностей родного и преподаваемого/изучаемого языков, наличие осознанного и активного подхода к организации процесса обучения. Рассмотрим основные характеристики билингвизма, характерные для билингвальной коммуникативно-речевой деятельности студентов в период обучения в вузе.

Студенты, овладевающие иностранным языком в вузе, демонстрируют проявление академического билингвизма [1, с. 238-239]. При этом основное внимание уделяется чистоте и правильности речи, формам выражения. Что касается количества ошибок, то его необходимо свести к минимуму.

Данный тип билингвизма относится к искусственному билингвизму, т.к. он функционирует в условиях преднамеренного изучения иностранного языка, в специально созданной учебной обстановке. Приобщение ко второму языку в подобных обстоятельствах осуществляется при наличии специальных программ, учебных пособий, технических средств и руководящей роли преподавателя, который выступает в качестве посредника между носителем иностранного языка в естественных условиях и обучающимися.

В рамках современных научных подходов, рассматривающих билингвизм с позиции разных наук, разработаны типологии билингвизма, основан-

ные на определенных критериях [2]. Кратко охарактеризуем типы билингвизма, которыми владеют большинство студентов в период обучения в вузе.

В условиях вузовского изучения иностранного языка складывается последовательный билингвизм, т.к. к моменту начала изучения иностранного языка обучаемые в определенной мере уже владеют не только родным языком, но и иностранным, могут с различной степенью успеха общаться на нем, достигать требуемых коммуникативных целей.

По виду функционирования двух языков в билингвальной речи студентов их билингвизм является совмещенным, который является переходным этапом для достижения более высокого уровня овладеваемого языка. Иногда студент может строить свою речь на иностранном языке с использованием средств и речевых конструкций родного языка, но постепенно происходит увеличение объема речевой деятельности на иностранном языке, что способствует расширению лексического и грамматического запаса знаний, развитию умений в основных видах речевой деятельности, формированию навыков диалогической и монологической речи.

В соответствии со степенью преимущественного соблюдения норм родного и изучаемого языков билингвизм студентов можно назвать нормативным, потому что количество лексических и грамматических ошибок у большинства обучаемых является незначительным, их наличие не затрудняет понимание передаваемой ими информации на иностранном языке, не приводит к искажению первоначального материала. Наблюдается стремление студентов к самостоятельной коррекции допущенных ошибок.

На основе критерия правильности/неправильности иноязычной речи выделяется медиальный билингвизм, который является промежуточной стадией формирования билингвизма [3, с. 27-31]. У студентов происходит постепенное снижение уровня интерференции, продолжается взаимное приспособление языков. Для билингвальной речи студентов становится характерно наличие не только неверных, но и правильных речевых произведений, однако она не всегда является риторически грамотной.

По количеству действий, выполняемых студентами при общении на двух языках, билингвизм можно охарактеризовать как репродуктивный и продуктивный [4, с. 22-25]. А.Д. Кохен в соответствии с этими типами билингвизма условно называет группы обучаемых как «слушающие и говорящие» билингвы, «производящие» билингвы [5, с. 16]. Основные действия студентов, владеющих указанными типами билингвизма, представлены в таблице.

Рассмотрение действий студентов, перечисленных в таблице, показывает, что обучаемые, владеющие репродуктивным билингвизмом, воспринимают информацию, понимают не только поверхностное, но и не прямое значение текста, могут говорить, используя образцы устной и письменной иностранной речи. Несмотря на то, что репродуктивный тип позволяет осуществлять общение на иностранном языке, студенты ограничены в выборе речевых средств, моделях построения предложений, фраз и не всегда могут создавать самостоятельные новые высказывания. Значительное внимание и время уде-

ляются произношению, обдумыванию того, как правильно произнести то или иное слово, при этом содержание конструируемого предложения отходит на второй план, темп речи невысокий. Владение этим типом билингвизма не позволяет варьировать использование речевых средств в зависимости от ситуации общения, обучаемыми преимущественно употребляются готовые, ранее выученные речевые модели и клише.

Таблица – Действия студентов при репродуктивном и продуктивном билингвизме

Тип билингвизма	Действия студентов
Репродуктивный	Могут воспроизводить вслух или про себя прочитанные или услышанные речевые произведения, т.е. строить свою речь по образцу из фраз, которые они прочитали или слышали.
Продуктивный	Воспринимают, понимают, воспроизводят речевые произведения, создают их самостоятельно. В речи встречаются и творчески построенные фразы, которые нельзя было прочесть или услышать.

Продуктивный тип билингвизма позволяет не только понимать и воспроизводить иноязычные речевые произведения, но и самостоятельно создавать их. Те студенты, которые владеют этим типом, способны строить свою речь творчески, используя не только готовые образцы, но и новые высказывания, создаваемые на основе правил иностранного языка. Они уделяют основное внимание содержанию речи, произношению и выбор грамматических средств автоматизированы. Они понимают смысл текста, могут его интерпретировать. Переход с родного языка на иностранный и наоборот выполняется легко, свободно. К сожалению, количество студентов, владеющих продуктивным билингвизмом, не очень большое, что в основном связано с тем уровнем подготовки, который они получили раньше в период обучения на предыдущей ступени образования.

Билингвизм студентов может быть рассмотрен и с позиции уровня владения ими иноязычной речью и речевым поведением [6, с. 34-36]. Студенты, владеющие функциональным билингвизмом, могут осуществлять общение на иностранном языке на определенные общеупотребительные темы. Они, как правило, демонстрируют желание общаться на иностранном языке, стремятся получить признание в группе, в которой происходит общение. Важным для них становится оценка их умений группой. Такие обучающиеся охотно и с удовольствием принимают активное участие в различных мероприятиях, связанных с иностранным языком – участие в работе конференции, клуба, конкурсе и т.д. При компетентном билингвизме студент умеет правильно лексически и грамматически оформлять свою речь, может общаться на различные

повседневные и общепрофессиональные темы. Он понимает поведение представителей иноязычной культуры, умеет изменять свое поведение в соответствии с моделями их поведения.

Перечисленное выше разнообразие типов билингвизма, характерное для студентов, показывает, что преподавателю иностранного языка при организации процесса обучения следует принимать во внимание имеющийся уровень подготовки обучаемых в области родного и иностранного языков и с учетом этих особенностей проводить занятия.

Преподаватель, который является билингвом, становится образцом и примером для обучаемых. Его теоретическая и практическая подготовка, уровень владения языком, принципы отбора учебного материала и организация учебного процесса приобретают особое значение, так как он не только олицетворяет перед студентами идеального билингва, свободно говорящего на двух языках, но и является также носителем сознательного начала, позволяющего контролировать процесс усвоения второго языка и управлять этим процессом в условиях искусственного билингвизма [7, с. 106].

Поскольку преподаватель имеет возможность сознательного управления учебным процессом, то от выбранной им модели изучения иностранного языка будет во многом зависеть результативность этого процесса. Ниже представлен ряд рекомендаций для преподавателя, реализующего процесс обучения в условиях функционирования разных типов билингвизма у студентов.

Для развития умений, связанных с билингвальным общением, преподавателю не следует ограничиваться только объяснительной речью, т.к. получения обучаемыми теоретических знаний недостаточно, необходимо еще и выполнение соответствующих заданий, усвоение различных клише (неизменяющихся выражений, частично изменяющихся моделей и определенных последовательностей высказываний), использующихся в различных ситуациях общения. Данные клише как базовые модели иноязычной речи нужны для овладения иностранным языком и являются основой для дальнейшего его изучения.

Усвоение нового материала преподаватель может организовать с опорой на имеющиеся знания: либо путем сравнения и сопоставления новых фактов и явлений речевого общения изучаемого языка с известными обучаемым фактами родного языка, либо путем сравнения и сопоставления новых фактов и явлений речевого общения изучаемого языка с уже известными им фактами и явлениями этого же языка.

Спорным вопросом является выбор языка для инструктажа, проводимого преподавателем для разъяснения последовательности и способа выполнения различных заданий. В последнее время зарубежные исследователи приходят к выводу о том, что целесообразно проводить инструктаж на двух языках, т.е. применять их комбинированное использование. По их мнению, такая форма выполнения инструктажа позволяет развивать билингвальную гибкость, формировать механизм переключения, которые помогают быстро переходить с одного языка на другой в процессе общения [8]. Более того, уче-

ные считают, что комбинированное использование родного и иностранного языков оказывает положительное влияние на учебные достижения студентов, обеспечивает им необходимую языковую поддержку и раскрывает больше образовательных возможностей. Наблюдения показывают, что в тех группах, где преподаватели употребляют два языка для осуществления инструктажа, студенты охотнее задают вопросы, просят привести примеры, дать пояснения, что в целом приводит к более качественному выполнению обсуждаемого задания [9].

В соответствии с типами билингвизма у студентов, обучающихся в одной учебной группе, преподаватель может выбрать одну или несколько моделей изучения иностранного языка: дублирующая модель; аддитивная модель; сопровождающая модель; дополняющая модель [5, с. 16-19]. Кратко охарактеризуем данные модели.

Дублирующая модель предполагает предъявление одной и той же единицы содержания на родном и иностранном языках. Модель способствует накоплению фонда языковых средств, способных адекватно выразить предметное содержание. В процессе использования этой модели у обучаемых устанавливается устойчивая ассоциативная связь между содержательными единицами и набором языковых средств.

Аддитивная модель предполагает предъявление на иностранном языке дополнительной информации, обогащающей содержание изучаемого материала на родном языке.

Для сопровождающей модели характерен синхронный перевод каждого слова, предложения или абзаца речи преподавателя, осуществляемый им в ходе ведения занятия. Модель позволяет сравнивать, сопоставлять способы передачи содержания высказывания средствами двух языков.

Дополняющая модель предусматривает овладение первичной информацией по всем изучаемым темам на родном языке обучаемых, т.к. он выступает как первооснова, от которой они отталкиваются при изучении новых иноязычных средств общения. С помощью этой модели можно обеспечить максимально возможное понимание студентами содержания материала и вовлечение большинства из них в процесс работы.

Таким образом, при выборе языка как средства общения на занятии преподаватель должен принимать во внимание уровень подготовленности обучаемых и исходя из этого выбирать соответствующие модели изучения иностранного языка. Осведомленность об имеющихся у студентов типов билингвизма, возможность их учета при организации учебного процесса позволит всем его участникам быть в выигрыше: преподаватель сможет успешно достичь поставленных целей, студенты не только усвоят необходимые теоретические сведения, но и повысят уровень владения соответствующими умениями и навыками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдакин, А. П. Билингвизм и проблема связи языка и мышления (исторический аспект) / А. П. Юдакин // Теоретические проблемы социальной лингвистики : коллективная монография. – Москва : Наука, 1981. – С. 220–240.
2. Оршанская, Е. Г. Современные научные подходы к изучению билингвизма / Е. Г. Оршанская // Преподаватель XXI век. – 2009. – № 2-1. С. 145–152.
3. Верещагин, Е. М. Вопросы теории речи и методики преподавания иностранных языков / Е. М. Верещагин. – Москва, 1969. – 92 с.
4. Верещагин, Е. М. Психологическая и методическая характеристика двуязычия / Е. М. Верещагин. – Москва : Изд-во Московского университета, 1969. – 160 с.
5. Cohen, A. D. Sociolinguistic Approach to Bilingual Education. Experiments in the American Southwest / A. D. Cohen. – Rowley : Newbury House Publishers, Inc., 1975. – 352 p.
6. Литвиненко, Е. Ю. Современный билингвизм как доминанта мультикультуральной модели социализации : автореф. дис.... докт. социол. наук / Е. Ю. Литвиненко. – Р н/Д., 2000. – 64 с.
7. Майоров, А. П. Социальный билингвизм и языковое пространство / А.П. Майоров. – Уфа, 1998. – 160 с.
8. Garcia, E. Bilingualism and the Academic Performance of Mexican-American Children: The Evolving Debate. ERIC Digest // E. Garcia. – URL : <https://www.ericdigests.org/pre-9217/academic.htm>
9. Evans, M. S. Academic achievement, underachievement and bilingual/multilingual education: What the university can contribute / M. S. Evans // Researchgate. – 2001. – July. – URL : <https://www.researchgate.net/publication/292137329>

С.В. Шемберг

Университетский колледж ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
индустриальный университет», г. Новокузнецк

ОБУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОМУ ПЕРЕВОДУ: СЛОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА АНТРОПОНИМОВ

Технический перевод является особой дисциплиной, существующей на стыке лингвистики с одной стороны, и науки и техники - с другой стороны. Именно поэтому, адекватное понимание терминологических единиц с именами собственными в основе представляет важную и неотъемлемую задачу, с необходимостью решения которой сталкиваются как специалисты-терминологи, так и представители науки и техники, практикующие перевод научно-технических текстов. В связи с этим возникает необходимость знания формальных признаков терминов с антропоосновами и их функциональных особенностей в рамках терминосистемы и коммуникативного акта.

В терминосистеме английского языка антропонимы выполняют различные функции. Как правило, в терминологических словосочетаниях терминологические единицы с антропоосновами выполняют атрибутивную функцию. Говоря о позиционной локальности атрибутива такого рода, следует отметить, что он обычно находится в интер- или постпозиции. Сравните, например, three-decibel coupler (англ.) [<Bell] -трёхдецибельный ответвитель (рус.); voltage-current characteristics (англ.) [<Volta]-вольтамперная характеристика (рус.).

Функционируя в той или иной терминосистеме, антропонимы имеют как полные, так и краткие варианты в структуре терминов. Сравните, например,

r-meter = roentgenmeter [<Roentgen];

amp/hr = ampere-hour [<Ampere];

V-A characteristics [<Volta], [<Ampere];

volammetric = voltamperemetric [<Volta], [<Ampere];

volt-ohm-milliammeter = volt-ohm-milliamper meter [<Volta], [<Ohm], [<Amper].

Актуализация кратких вариантов слов-терминов с антропосновами, обычно осуществляется через "микро-" и "макроконтекст" (понятие А.Л. Пумпянского). Раскрытие значения данных лексических единиц также происходит посредством словарной и внутритекстовой (авторской) дефиниции. Словарная дефиниция может быть как полной так и краткой. Сравните, например,

db-meter - см. decibel meter;

V-A characteristics - см. Volt-ampere characteristics.

Внутритекстовая (авторская) дефиниция имеет место непосредственно в рамках ближайшего лексического окружения слова-термина с антропоосновой. Сравните, например,

...J/kg the energy of the substance measured in joules per kilogramme or more often in kilojoules per kilogramme kJ/kg.

...a hypothetical fuel whose heating value is taken equal to 29.3 MJ/kg (7000 kcal/kg).

Имена собственные являются неотъемлемой частью общеупотребительной и научно - технической лексики как русского, так и английского языков, и активными партиципантами билингвального словообразования. Спектр такого рода антропонимов достаточно обширен, но следует отметить, что среди наиболее продуктивных фигурируют такие имена собственные как Гаусс, Гальвани, Рентген, Кулон, Фарадей, Ом, Вольта, Ватт.

Терминологические единицы с антропоосновами образуются посредством суффиксации:

ohmic [<Ohm] - омный

keplerian [<Kepler] - кеплеровский

euclidian [<Euclid] - евклидов;

сочетаясь с частично десемантизированными корневыми морфемами

ampere-meter [<Ampere] - амперметр;

сочетаясь с комбинирующимися формами (понятие Л.Я. Хмелик)

megagauss [<Gauss] - мегагаусс.

Именно антропонимы проявляют наибольшую склонность к вторичной номинации, выступая в качестве единиц измерения: Volt, Ampere, Gauss, Hertz, Joule; образуя слова-названия процессов (посредство суффиксации): pupinization, galvanization, bessemerizing; химических элементов: pentlandite, curium, fermium; приборов и механизмов: galvanometer, roentgenmeter, hot-wire wattmeter.

По данным лингвистической статистики словообразовательная активность антропонимов значительно повысилась за последние сто лет. Сравнение разных типов деривации свидетельствует, что структурная деривация - прежде всего собственное словообразование - является наиболее продуктивным видом словопроизводства на базе имен собственных. (Чижова, с.8).

Терминологические единицы с антропоосновами часто встречаются как в русскоязычной, так и в англоязычной научно-технической литературе. Не смотря на генетическую разнородность языков, обнаруживаются морфологические и семантические корреляции, но в то же время есть и существенные расхождения. Анализ исследования позволяет утверждать, что в элементной организации основ терминов функционального стиля научной и технической литературы адекватно отражена комбинаторика имён собственных (в основном антропонимов) как терминологических элементов (понятие Г.Д. Бенкендорфа) с разного рода словообразовательными элементами. Среди последних, наиболее активных можно выделить:

- суффиксы : -ic, -ian (ean), -ing, -ize, -er, -ium (англ.) и -н, -ск, -ик (рус.) и др., например: ohmic [<Ohm]-омный, [Ом], keplerian [Kepler] -кеплеровский [Кеплер], galvanizer [Galvani]-гальваник [Гальвани], curium [Curie] -кюриий [Кюри], euklidian [Euclid]-евклидов [Эвклид] ;

- комбинирующиеся формы, которые иногда (Б.В. Кузнецова) и другие относят к разряду префиксов: -micro, hecto, mega-, milli-, nano- (англ.) и микро-, гекто-, гига-, гетеро-, мега-, милли-, нано- (рус.) например: -microampere [<Ampere]-микроампер [Ампер], millilambert [<Lambert]-миллиламберт [Ламберт], megagauss [<Gauss]-мегагерц [Гаусс], heteroanometer [<Galvani]-гетерогальванометр [Гальвани], hectohertz [<Hertz]-гектогерц [Герц], nanofarad [<Faraday]-нанофарада, [Фарадей], gigavolt [<Volta]-гигавольт [Вольт];

- частично десемантизированные корневые морфемы (понятие Р.Г.Зятковской) полусуффиксального характера (H.Marchand): -meter, например: voltmeter [<Volta]-вольтметр [Вольта], oerstedmeter [<Oersted]-эрстедметр [Эрстед], wattmeter [<Watt]-ваттметр [Уатт], joulemeter [<Joule]-джоульметр [Джоуль], henrymeter [<Henry]-генриметр [Генри];

- осколочные элементы (понятие И.Б.Берман): -scope (-скоп) [<spintariscope], kilo- (кило-) [<kilogramme], amp [<ampere], mar- [<martensite] и др., которые в лингвистике как отмечает В.М.Лейчик, называют «аброморфемами». Сравните, например: mar-: martempering=marquenching [<A.Martens]-закалка на мартенсит [А.Мартенс]; -scope: geigerscope [<Geiger]-спинтарископ Гейгера, geislerscope [<Geissler]-спинтарископ Гейгера; -kilo: kilonewton [I.Newton]-килоньютон [Ньютон].

Разделяя мнение Л.В.Мауэр можно сказать, что некоторые имена собственные, как терминологические вследствие своей высокой частотности в структуре терминов формально переходят в ряд словообразовательных морфем, сравните, например: galvano [Galvani]-гальвано [Гальвани] galvanostatic-гальваностатический, galvanotaxis-гальванотаксис, galvanotherapy-гальванотерапия, galvanometer-гальванометр, galvanoplastics-гальванопластика, galvanomagnetism-гальваномагнетизм, galvanotechnics-гальванотехника, galvanography-гальваноглифия.

Говоря о позиционной локальности данных терминологических элементов, нужно отметить, что сочетаясь с данными словообразовательными элементами, имена собственные в структуре терминов как правило занимают препозицию, в отдельных случаях интер- и постпозицию, что свидетельствует об уникальности данных терминологических элементов как в английском, так в русском языках. Сравните, например: wattmeter (англ.)-ваттметр (рус.), voltfaradey (англ.)-вольт-фарадей (рус.), kiloohmmeter (англ.)- килоомметр (рус.).

Выявления функциональных характеристик антропонимов, как терминологических элементов (понятие Г.Д.Бенкендорфа) и как антропонимов в структуре терминов и в речевом акте требует дальнейшего самостоятельного исследования, т.к. их деривационный потенциал и семантика недостаточно изучены и эволюционируют в ходе научно-технического прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немченко В.Н. Лексика, терминология, стили // Межвузовский научный сборник. – Вып. 2. – 1973. – С. 24-44.
2. Суперанская А.В. Общая терминология : вопросы теории / А.В. Суперанская, Н.В. Подольская, Н.В. Васильева. – Москва : Наука, 1989. – С. 100-201.
3. Суперанская А.В. Имя нарицательное и собственное. – Москва: Наука, 1978. – С. 12-33.

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ

Г.Г. Волокитин*

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск

РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ «ДИБОРИД ТИТАНА. НАНОТЕХНОЛОГИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ» (АВТОРЫ Г.В. ГАЛЕВСКИЙ, В.В. РУДНЕВА, К.А. ЕФИМОВА. – НОВОКУЗНЕЦК : ИЗД. ЦЕНТР СИБГИУ, 2019. – 209 С.)

Современная металлургия обеспечивает мировую экономическую систему разнообразной металлопродукцией как массового, так и специального назначения. По данным World Steel Association, в структуре потребления металлопродукции 94 % приходится на сплавы железа, цветных металлов – 5 %, 1 % составляет разнообразная по номенклатуре группа металлосодержащих материалов с особым комплексом свойств. В этой группе важное место занимают бориды металлов подгрупп титана, ванадия и хрома, материалы и сплавы на их основе, которые благодаря уникальному сочетанию практически значимых свойств применяются в машино-, авиа- и ракетостроении для решения прикладных инженерно-технических и производственных задач, требующих высокотемпературных, сверхтвердых, жаропрочных, жаростойких, износоустойчивых конструкционных, огнеупорных, наплавочных материалов и защитных покрытий, способных работать в экстремальных условиях. В эту группу входит диборид титана TiB_2 , исследованный и введенный в обращение научной школой известного российского ученого-материаловеда Самсонова Г.В. более 50 лет назад и востребованный до сих пор в технологии различных материалов. При этом прикладной интерес к дибориду титана постоянно растет и отражает тенденцию перехода от применения диборида титана крупнозернистого к микро- и нанокристаллическому, что обусловлено стремлением ученых и технологов-практиков к достижению качественно нового уровня эксплуатационных свойств материалов и покрытий на его основе.

Основу современного производства диборида титана составляют карботермический, магнетермический и газофазный способы. Выявлено 10 отечественных и 10 зарубежных фирм, реально позиционирующих себя в качестве производителей и поставщиков диборида титана. Российские производители предлагают к реализации диборид титана магнетермического способа получения. Стратегически важный нанокристаллический сегмент рынка полностью закрывается зарубежными поставщиками. Это обуславливает необходимость развития российской нанотехнологии диборида титана.

В связи с этим исследование и технологическая реализация процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титаноборсодержащего сырья является важной научно-практической задачей, име-

ющей большое значение для развития отечественной металлургии титана и его многофункциональных соединений.

На основании выполненных в монографии исследований:

- разработана научная концепция реализации процессов боридообразования в условиях плазменного потока, позволяющая выявить принципиально новые закономерности их протекания в непрерывном режиме;

- предложены новые научные и технологические подходы к исследованию процессов боридообразования, протекающих при плазмометаллургической переработке сырья;

- доказана эффективность предложенных научных и технологических подходов к исследованию процессов плазмометаллургического получения диборида титана;

- введены новые представления о физико-химических свойствах диборида титана в нанокристаллическом состоянии.

Теоретическая значимость приведенных в монографии результатов обоснована тем, что:

- доказаны гипотетические представления о закономерностях и механизме процессов боридообразования, протекающих при переработке титанборсодержащей шихты в условиях плазменного потока, что имеет большое значение для металлургии многофункциональных соединений титана;

- применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс базовых методов исследования, в том числе математическое и термодинамическое моделирование, метод математического планирования эксперимента, химический и физико-химический анализы продуктов плазмообработки;

- изложены для исследуемых технологических вариантов получения TiB_2 представления о закономерностях изменения с температурой составов газообразных и конденсированных продуктов боридообразования, условий эффективной газификации порошкообразного титанборсодержащего сырья и условий образования TiB_2 в различных реакционных средах;

- раскрыты особенности управления фазовым и химическим составом TiB_2 ;

- изучены зависимость содержания диборида титана в продуктах плазмообработки от основных технологических факторов: соотношение компонентов шихты, состав газовой фазы и температура;

- проведена модернизация блока «Боридообразование», существующих математических моделей плазменных процессов боридообразования, а также впервые в модель введен блок «Плазмогенерация».

Значение полученных результатов для практики подтверждается тем, что:

- разработан и передан для внедрения ООО «Полимет» непрерывный технологический процесс получения диборида титана в плазмометаллургическом реакторе мощностью 150 кВт;

- определены условия и эффективность применения диборида титана в составе композиционных защитных покрытий;

- создана комплексная многофакторная модель непрерывного технологического процесса получения диборида титана в условиях плазмометаллургического реактора и компьютерная программа для исследовательских и инженерные расчетов параметров эффективной переработки различных видов титансодержащего сырья;

- представлены технические решения и предложения по применению диборида титана для получения коррозионностойких покрытий (Ni-TiB₂) на стальных изделиях в условиях ООО «Полимет» и в составе смачиваемых алюминием покрытий (TiB₂ – Al₂O₃) для защиты катодов электролизеров в условиях ООО «ИТЦ ОК РУСАЛ».

Монография включает предисловие и введение, 4 раздела, заключение, библиографический список, 3 приложения и изложена на 198 страницах: раздел 1 «Технологические решения в производстве и применении диборида титана: оценка состояния, анализ, определение доминирующих тенденций»; раздел 2 «Моделирование плазмометаллургических процессов переработки титан-борсодержащего сырья»; раздел 3 «Экспериментальные исследования процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титан-борсодержащего сырья». В приложении к монографии представлены материалы по совершенствованию плазмометаллургического оборудования и компьютеризации профильных проектно-технологических задач. В целом необходимо отметить, что для рецензируемой рукописи характерна четкая структура, достаточность привлеченного для анализа, обобщения и систематизации фактологического материала, логичность и убедительность его изложения, аргументированность выводов. Рукопись написана доступным и технически правильным языком, хорошо иллюстрирована и включает достаточную библиографию.

С учетом вышеизложенного, рецензируемая монография может быть рекомендована к изданию и будет полезна для специалистов-технологов и исследователей, работающих в металлургии, химической технологии и машиностроении.

*Волокитин Геннадий Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

УДК 669.218

Г.Г. Волокитин

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск

РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ» (АВТОРЫ Г.В. ГАЛЕВСКИЙ, В.В. РУДНЕВА. – НОВОКУЗНЕЦК : ИЗД. ЦЕНТР СИБГИУ, 2019. – 211 С.)

Вся история развития человеческого общества так или иначе связана с качественными изменениями средств, предметов труда и технологии производства. Стремительный прогресс, непрерывное совершенствование и возникновение новых отраслей техники требуют создания новых конструкционных материалов, обладающих необходимым комплексом физико-механических свойств, в первую очередь высокой прочностью и износостойкостью. Известно немало случаев, когда вновь созданные материалы с уникальными эксплуатационными свойствами долгое время не могли быть использованы в промышленности из-за отсутствия инструмента для их обработки. Для современной техники характерно постоянное повышение точности, производительности и чистоты обработки, поэтому требования к инструменту еще более ужесточаются. Каким бы твердым, прочным, износостойким и труднообрабатываемым ни был конструкционный материал, для его обработки требуется еще более твердый. В настоящее время существование всей обрабатывающей промышленности и машиностроения (от создания мощных агрегатов до изготовления тончайших механизмов и приборов) практически немислимо без применения сверхтвердых материалов (СТМ) в той или иной части технологического процесса.

Исключительные свойства природных и синтетических алмазов, включая прочностные и износостойкие характеристики, коэффициенты трения, теплопроводности, термического расширения, адгезионные показатели обеспечивают эффективное их применение в качестве уникального инструментального материала. Наличие широкой сырьевой базы в виде различных модификаций и марок синтетических алмазов, природных алмазов и материалов на основе кубического нитрида бора (КНБ) является одним из необходимых условий успешной и дифференцированной обработки различных материалов. Освоение производства инструментальных материалов на основе плотных модификаций BN позволило за счет их химической инертности к черным металлам и высокой термостойкости совершить качественный рывок в материалообработке.

Важнейшими областями применения алмазов и КНБ являются: обработка инструментов и деталей машин из металлокерамических твердых спла-

вов; бурение геологических и эксплуатационных скважин в твердых и абразивных породах; обработка изделий из высокотвердых и жаростойких материалов (керамики, синтетического корунда, кварца, стекла), полупроводниковых материалов (германия и кремния); обработка сверхтвердых облицовочных материалов (гранита, мрамора и др.); алмазная правка шлифовальных кругов; алмазное точение деталей машин из легких и цветных металлов и сплавов, пластмасс и др.; алмазное волочение тонкой проволоки из меди, вольфрама, молибдена и других ценных материалов.

Создание сверхтвердых материалов было вызвано потребностями техники главным образом для обработки различных материалов. В дальнейшем возникли новые задачи в различных областях науки и техники, связанные с использованием других особенностей синтетических материалов. В частности, возникла потребность в кристаллах определенных свойств для микроэлектроники. В индустриально развитых странах мира производство СТМ занимает важное место, а мировой рынок инструментов на их основе постоянно растет. Изготовлением алмазных инструментов заняты около тысячи зарубежных фирм, выпускающих продукцию на сумму порядка 3 млрд дол. в год. В странах СНГ подобным производством заняты около 200 предприятий. В настоящее время на каждые сто карат алмазов, используемых в промышленности, приходится 85 карат синтетических алмазов, а при производстве алмазно-абразивного инструмента – 93 карата.

Необходимым условием успешного развития сферы производства сверхтвердых материалов является подготовка для нее высококвалифицированных специалистов, что безусловно предполагает разработку и издание современных учебно-информационных ресурсов. Изданные ранее учебные пособия, в частности, Поляков В.П., Ножкина А.В., Чириков Н.В. Алмазы и сверхтвердые материалы. – М. : Металлургия, 1990; Ступников В.А., Буличев Б.М. Высокое давление в химии. Алмаз и алмазоподобные материалы. – М. : МГУ, 2012 немногочисленны, содержат ограниченную информацию по технологии и оборудованию, нуждаются в актуализации. В связи с этим подготовку к изданию рецензируемого учебного пособия «Оборудование и технология производства сверхтвердых материалов» следует признать своевременной и ориентированной на восполнение образовавшегося дефицита профильной учебной литературы.

За основу рассматриваемого учебного пособия приняты курсы и разделы курсов «Технология электротермических и углехимических производств», «Оборудование электротермических и углехимических производств», «Инновационное развитие технологии сверхтвердых материалов», которые авторы читают обучающимся по направлениям подготовки 18.03.01, 18.04.01 Химическая технология, 22.06.01 Технологии материалов.

Учебное пособие включает следующие разделы: 1 – «Развитие теории и технологии синтеза сверхтвердых материалов (на примере синтетических алмазов)»; 2 – «Теоретические основы синтеза сверхтвердых материалов»; 3 – «Технологические основы синтеза сверхтвердых материалов»; 4 – «Аппараты

высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов»; 5 – «Вопросы для самостоятельной работы». Уровень изложения материала достаточно полно отражает современное состояние теории и практики в указанной отрасли. Методическое построение учебного пособия дает возможность обучающимся самостоятельно проработать и правильно понять представленный материал. Структура пособия и его оформление соответствует требованиям к учебной литературе соответствующего профиля, все разделы пособия представлены достаточно полно, библиографический раздел в необходимом объеме представляет основную литературу по обсуждаемым вопросам. Иллюстративный материал подобран методически правильно, отражает существо текстового содержания и в значительной степени помогает усвоению представленного материала. Терминология пособия соответствует действующим стандартам и терминологии соответствующих отраслей знаний.

Таким образом, рецензируемое учебное пособие отвечает всем установленным требованиям, предъявляемым к учебным пособиям для высших учебных заведений, и предназначено для обучающихся химико-металлургических направлений подготовки, преподавателей вузов и инженерно-технических работников профильных предприятий.

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 250×170 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».

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 транскрипция, 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 подрисуночные 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.

Сборник научных трудов реферируется в РЖ «Металлургия», зарегистрирован в Международном центре «Международной стандартной нумерации сериальных изданий (International standard serial numbering – ISSN)», ему присвоен ISSN 2073–2848. Дополнительная информация о сборнике научных трудов представлена на сайте СибГИУ <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания».

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 30 марта 2020 г. Статьи направлять главному редактору по адресу: ФГБОУ ВО «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.

Подписано в печать 21.10.2019 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 11,2 Уч.-изд.л. 11,9 Тираж 300 экз. Заказ № 250

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ