

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



**ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ**

**МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ**

**ДОНЕЦК - 2013**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ**

**МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**ДОНЕЦК - 2013**

УДК 669.18:621.7

Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции студентов. - Донецк: ДонНТУ, 2013. - 217 с.

В материалах сборника представлены результаты научных исследований и технических разработок в области современных металлургических и литейных технологий, обработки металлов давлением, материаловедения, металлургии и термической обработки металлов. Рассмотрены вопросы энергосберегающих технологий, технической теплофизики, экологии и охраны окружающей среды.

Материалы представляют интерес для студентов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников металлургического профиля.

***Редколлегия:***

д.т.н., проф. Сафьянц С.М. (председатель); к.т.н., доц. Новикова Е.В. (отв. редактор); д.т.н., проф. Ярошевский С.Л.; д.т.н., проф. Смирнов А.Н.; д.т.н., проф. Рябцев А.Д.; д.т.н., проф. Маняк М.А.; д.т.н., проф. Смирнов Е.Н.; к.т.н., проф. Егоров Н.Т.; к.т.н., проф. Туяхов А.И.; к.т.н., доц. Кочура В.В.

***Ответственный за выпуск:***

Туяхов А.И., к.т.н., проф., и.о. зав. кафедрой «Техническая теплофизика».

Статьи напечатаны по авторским экземплярам

Адрес редакционной коллегии:

Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артема 58, 5-й учеб. корпус, к.5.252

Уважаемые студенты!



Во Всеукраинской научно-практической конференции студентов «Металлургия XXI столетия глазами молодых» принимают участие молодые ученые 7 высших учебных заведений Украины.

В сборнике представлены результаты Ваших научных исследований и технических разработок в области современных металлургических и литейных технологий, обработки металлов давлением, материаловедения, металловедения и термической обработки металлов. Рассмотрены вопросы энергосберегающих технологий, технической теплофизики, экологии и охраны окружающей среды.

Доклады в сборнике приведены по секциям:

- 1.Металлургия чугуна
- 2.Металлургия стали
- 3.Электрометаллургия и специальная металлургия
- 4.Литейное производство черных и цветных металлов
- 5.Обработка металлов давлением
- 6.Прикладное материаловедение, термическая обработка металлов и металловедение
- 7.Промышленная теплотехника
- 8.Теплоэнергетика
- 9.Экология и охрана окружающей среды в металлургии.

Важнейшими задачами конференции и настоящего издания являются обмен актуальной информацией, активизация исследовательской работы студентов, научная интеграция студенческого сообщества.

Желаю Вам, уважаемые студенты, плодотворной работы, творческих успехов, крепкого здоровья и благополучия.

Декан  
физико-металлургического факультета  
Донецкого национального  
технического университета,  
профессор, д.т.н.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S.M. Saфьянц'.

С.М. Сафьянц

# МЕТАЛУРГИЯ ЧУГУНА



## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ

Чернявский А.Ю. (МЧМ(с)-12ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Эффективное зажигание аглошихты достигается путем внесения в верхнюю часть слоя необходимого количества тепла за счет сгорания твердого топлива в агломерируемом слое, но значительная его часть передается слою продуктами сгорания газообразного топлива в зажигательном горне.

В промышленных условиях используются шихтовые материалы в различном соотношении, поэтому температура и продолжительность зажигания для разных условий могут различаться. Учитывая их физико-химические свойства, был выполнен расчет параметров режима зажигания для различных типов руд, а также соотношения концентрат/руда в железорудной части шихты.

Математическая обработка экспериментальных данных показала, что при росте доли магнетитового концентрата в рудной части и при уменьшении высоты слоя, наблюдается уменьшение времени зажигания. Поэтому для каждого соотношения концентрат/руда должен выбираться оптимальный режим зажигания, исключающий переоплавление верхнего слоя шихты.

Выполнен расчет и сравнительный анализ влияния различных параметров на режим зажигания: интенсивности зажигания, содержания свободного кислорода, использования для зажигания различных газов или их смесей, а также разрежения под зажигательным горном.

Для достижения необходимых температур в поверхностном слое необходимо обеспечить содержание свободного кислорода в зажигательном горне. При максимальной величине  $\alpha = 1,6$  увеличивается прочность агломерата, выход годного возрастает до 65 %.

С учетом теплотехнической ценности и стоимости газа, оптимальной является смесь доменного (65 – 70 %) и коксового газов или природного (35 – 30 %) с теплотой сгорания 8,3 – 9,1 и 3,3 – 15 МДж/м<sup>3</sup> соответственно.

Дана оценка влияния изменения разрежения под зажигательным горном на интенсивность процесса зажигания. На основании проведенных расчетов и их анализа выбраны параметры оптимального режима зажигания: соотношение между доменным и коксовым газами в их смеси, увеличение коэффициента  $\alpha$  до 1,2 – 1,4, рост количества тепла до 70 – 80 МДж/м<sup>2</sup>, содержание свободного кислорода в продуктах горения 9 – 10 %. Расчетная температура зажигания составит 1240 – 1260 °С, а продолжительность зажигания – менее 1 мин.

Итак, применение оптимального режима зажигания позволит уменьшить продолжительность зажигания, снизить расход топлива на зажигание, повысить прочность агломерата, увеличить выход годного агломерата без ухудшения его качества.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТПиМТ Бондарь А.С.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ПАО «ЕМЗ»

Синчук А.А. (МЧММ-12ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Обеспечение конкурентоспособности украинского металла невозможно без качественного повышения эффективности доменного производства, снижения расхода кокса и дефицитных энергоресурсов. Технологический цикл аглодоменного производства еще не исчерпал всех технических возможностей по повышению производительности и улучшению энергетических и экологических характеристик. При решении этих задач одним из приоритетов является реализация доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива.

На протяжении последних 20 лет практически все новые или реконструированные доменные печи за рубежом строились в комплексе с современными ПУТ установками: Испания, Бразилия, Ю. Корея, Турция Румыния и др. Сегодня в мире с применением ПУТ выплавляется 600 млн. т чугуна/год, доля замены им скипового кокса возросла до 45-50 %, а расход последнего практически сократился до 240 кг/т чугуна. Массовый промышленный опыт, новейшие теоретические разработки подтверждают принципиальную возможность снижения расхода скипового кокса на 1 т чугуна до 100-200 кг за счет введения технологии доменной плавки с вдуванием 200-260 кг т/чугуна ПУТ и реализации технологии полной и комплексной компенсации. Это определяет для коксодоменного комплекса снижение капитальных затрат и площадей, занятых оборудованием, эксплуатационных расходов, повышение производительности труда, условия для повышения доли спекающихся углей в коксошихте и улучшение качества производимого кокса, снижение загрязнения водного и воздушного бассейнов вредными выбросами.

При реализации в Украине первого этапа ПУТ технологии бóльшая часть углей для производства ПУТ может быть получена за счет сокращения производства кокса. Данный вариант внедрения этой технологии реализуется в США, Германии, Нидерландах и других странах. Необходимо отметить возможность использования для приготовления ПУТ высококачественных некоксуемых газовых углей, запасы которых в Украине значительны, не пользующихся спросом таких массовых потребителей как металлургия, коксохимия и энергетика. В перспективе может оказаться выгодной замена части ввозимых из России дорогих коксуемых более дешевыми низкосернистыми неспекающимися углями марок «Г», кузнецкими углями, полукоксом бурых углей Канско–Ачинского месторождения.

Несмотря на бесспорные успехи Украины в 70-90 гг. прошлого века в освоении промышленной технологии с применением ПУТ, на сегодняшний день в использовании и внедрении такой технологии она отстает от большинства

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры РТПиМТ Ярошевский С.Л.

капиталистических стран на 20-25 лет. Очевидно, что решение вопроса о массовом промышленном внедрении ПУТ технологии в доменных цехах Украины с целью замены им части или всего ПГ и значительного снижения расхода скипового кокса, не терпит отсрочки.

Цель данной работы - разработка и оценка для условий доменной печи №3 ПАО «ЕМЗ» эффективности пылеугольной технологии доменной плавки с заменой до 60 % кокса. На ДП №3 полезным объемом 1719 м<sup>3</sup> начато строительство пылеугольного комплекса по контракту с фирмой Küttner. ПАО «ЕМЗ» намерен завершить строительство ПУТ до января 2014 г.

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий базовыми были приняты расчетные показатели плавки ДП №3 с высоким расходом ПУТ, разработанные лабораторией использования пылеугольного топлива ДонНТУ. Принятая методика расчета создана на основе работ профессора А.Н. Рамма.

В качестве базового периода приняли показатели работы печи в мае 2012 г.: производительность 2860 т/сутки;  $Q_{к.скип.} = 464,3$  кг/т;  $Q_{к.ореш.} = 41,7$  кг/т; расход ПГ 43,0 м<sup>3</sup>/т чугуна. Доменная печь выплавляет предельный чугун с использованием кокса улучшенного качества «Премиум», местного агломерата, основностью ( $CaO/SiO_2$ ) = 1,3, окатышей СевГОК, магнизиальных шлаков, основностью ( $CaO/SiO_2$ ) = 1,15. На основе принципа полной и комплексной компенсации (вывод из состава дутья ПГ, обогащения дутья кислородом и применения высокоосновного агломерата, качество кокса) выполнен расчет технологических режимов с применением ПУТ, который показал, что при использовании имеющейся в распоряжении ПАО «ЕМЗ» железорудной шихты оптимальный расход ПУТ равен 160 кг/т чугуна. Это обеспечивает снижение расхода кокса на 170,3 кг/т (33,5 %), вывод из состава дутья ПГ (43,0 м<sup>3</sup>/т), снижение расхода условного топлива на 59,5 кг/т (10,56 %), прирост производительности печи на 14,5 %, себестоимость чугуна снизится на 219 грн/т чугуна.

Дальнейшее повышение расхода ПУТ до 230 кг при сохранении высокого уровня оптимальности и стабильности технологии возможно при обогащении дутья кислородом до 29,9 % и замене части агломерата и окатышей СевГОК импортной железной рудой. Реализация указанных комплексных мероприятий позволит снизить выход шлака с 475 до 212 кг/т чугуна (51,5 %), приход серы с шихтой с 6,6 до 4,4 кг/т чугуна (33 %) и выход горновых газов на 645 м<sup>3</sup>/т чугуна ( $\cong 35$  %). Таким образом, при наличии соответствующих компенсирующих мероприятий реальной становится возможность замены до 60 % скипового кокса дополнительным топливом.

Принимая во внимание тот факт, что предлагаемое нововведение сможет значительно снизить затраты на топливо, поднять технологию на новый уровень, а также улучшить экологические показатели доменного процесса в целом, можно сделать вывод, что построение установки ПУТ на ПАО «ЕМЗ» является необходимостью на пути становления экономически стабильного предприятия.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОКСА В ФУРМЕННОЙ ЗОНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Парахин И.А. (МЧМм-12а)\*

Донецкий национальный технический университет

Доменные техники с момента эксплуатации первых печей уделяли серьезное внимание процессу горения различных видов топлива у фурм. Первые исследования горения кокса у фурм, как отмечает В.А. Сорокин, относятся к 1838 г. Одним из первых (1841 г.) характеристику процессов у фурм дал и Ж. Эбельман: "кислород, содержащийся во вдуваемом воздухе, очень быстро превращается в углекислоту, затем в окись углерода; эти два превращения происходят последовательно на небольшом расстоянии о фурм..."

Сам процесс моделирования на холодной модели основывался на критериях подобия моделируемого объекта и реальной модели. Изначально, для определения критериев, были выбраны факторы, влияющие на длину фурменной зоны (вязкость дутья, плотность газа и материала, расход дутья, диаметр материала). В качестве материала для подачи в холодную модель использовался пенопласт. С помощью  $\pi$ -теоремы было выбрано три основных критерия:

$$\pi_1 = \left( \frac{L}{d_{\text{ш}}} \right) \quad (\text{I})$$

$$\pi_2 = \left( \frac{\nu}{v \cdot d_{\text{ш}}} \right) \quad (\text{II})$$

$$\pi_3 = \left( \frac{\rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{г}}} \right) \quad (\text{III})$$

где,  $L$ -длина,  $d_{\text{ш}}$ -диаметр куска пенопласта,  $\rho_{\text{ш}}$ -плотность куска пенопласта,  $\rho_{\text{г}}$ - плотность воздуха,  $v$ -скорость дутья,  $\nu$ -вязкость дутья,  $\pi_2$ - обратная величина критерия Рейнольдса ( $\frac{1}{Re}$ ).

Для определения длины зоны фурменного очага в зависимости от разных параметров были проведены опыты на холодной модели. Для проведения опытов был взят материал (в нашем случае пенопласт) разной фракции: 15-20 мм, 9-13 мм и 0-9 мм. Затем он загружался в модель при разном количестве расхода дутья. Сама модель выполнена из прозрачного материала в виде сектора в нижней части доменной печи. Наружная часть сектора ограничена образующими горна, заплечиков, распара, шахты. Воздух в модель подается через фурму диаметром 10 мм, установленную в образующей горна. Расход вдуваемого воздуха изменялся при помощи вентиля, который установлен на воздухопроводе, идущим от компрессора, и измерялся с помощью ротаметра. Всего было выполнено три серии опытов. В ходе опыта изменялись размер куска пенопласта и расход подаваемого в фурму воздуха (от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч).

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТПиМТ Кочура В.В.



а

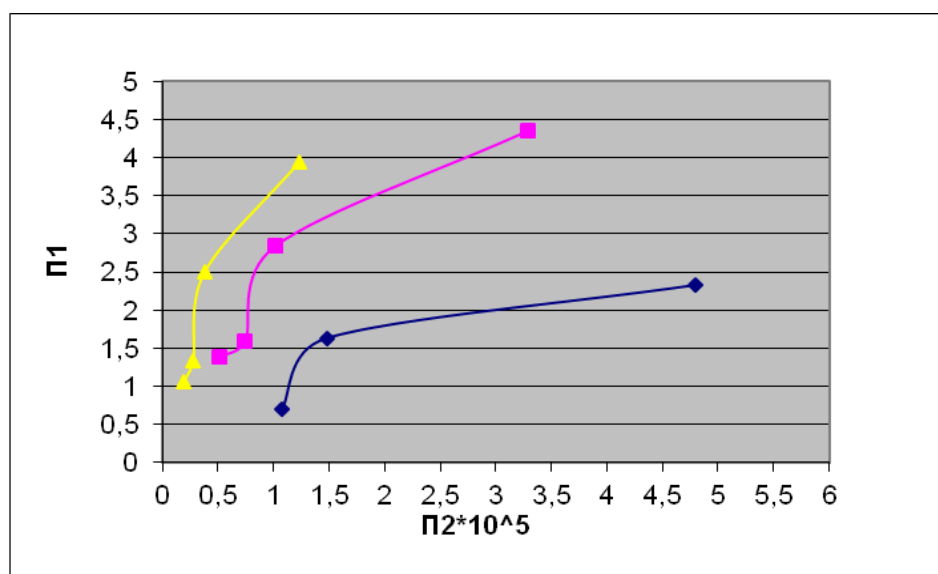


б

а – кусок диаметром 9-13 мм; б – кусок диаметром 15-20 мм.

Рисунок 1 – Схема циркуляции пенопласта перед фурмой на модели фурменной зоны

На основе полученных опытных данных был построен график зависимости критерия  $\pi_1$  от  $\pi_2$ . Результаты приведены на рис. 2



желтая линия – размер пенопласта 0-9 мм, розовая линия – 9-13 мм, синяя линия – 15-20 мм

Рисунок 2 – Зависимость критерия подобия  $\pi_1$  от  $\pi_2$

Таким образом, в результате моделирования поведения кокса в фурменной зоне доменной печи с помощью  $\pi$ -теремы были определены критерии подобия и исследованы параметры, влияющие на ее форму и размеры. Была показана рукавообразная форма фурменного очага с наклоном вверх, длина которого изменялась в зависимости от размера куска пенопласта и количества вдуваемого воздуха.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПОДГОТОВКА КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

Парахин Р.А. (МЧМм-12а)\*

Донецкий национальный технический университет

Последние десятилетия отмечены значительным прогрессом доменной технологии. В связи с этим было увеличено производство доменных печей до 2,5-3,5 т/(м<sup>3</sup>·сутки), снижение расхода кокса до 250-350 кг/т чугуна.

Подготовка кокса в доменном цехе – это важный определяющий компонент доменной технологии принятый во всем мире. Развитие доменного процесса идет в сторону уменьшения количества и повышения качества кокса. Из 56 доменных печей Европы – 54 печи работают с подготовленным коксом. Показано, что заметное улучшение качества кокса (в том числе по реакционной способности и послереакционной прочности) является необходимым условием для сокращения его расхода в доменных печах путем замены другими видами топлива (в первую очередь пылеугольным). В зарубежной практике увеличения качества скипового кокса совместно с требованиями доменной технологии успешно решается за счет улучшения качества коксовой составляющей шихты и режима коксования. Показатель CSR составляет 60-65% и выше, реакционная способность – 25-30% и ниже.

В отечественной практике, в современных доменных печах Украины и России, по сей день используется традиционная, с середины прошлого века, схема подготовки металлургического кокса к доменной плавке (отсев фракции менее 18-30 мм перед загрузкой кокса в печь). Это в значительной мере сдерживает и ограничивает возможности совершенствования и повышения эффективности доменной технологии. На металлургическом заводе ПАО «ЕМЗ» работа по подготовке кокса к доменной плавке начата в 2000 году, и в настоящее время на ДП №5 успешно внедрена современная схема, суть которой заключается в минимизации содержания в скиповом коксе как мелких (-36мм), так и крупных (+80мм) фракций.

В нынешнее время схема подготовки кокса к плавке (с отсевом из него мелочи 18-33 мм) устарела. Выделения из отсева кокса коксового орешка (КО) и загрузка его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой являются основной современной схемой подготовки кокса. Данная технология получила массовое промышленное внедрение в мире в 90-х гг. XX века: она обеспечила экономию 3...5% кокса, возможность повышения расхода ПУТ и сохранения при этом производительности печей, не требует значительных капитальных затрат.

Такая схема имеет ряд преимуществ:

- является сильнейшим компенсирующим средством при вдувании ПУТ.
- увеличение выхода в сумме скипового кокса и КО; снижения количества отсева кокса, отгруженного на аглофабрику;

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры РТПиМТ Ярошевский С.Л.

- коксовый орешек интенсифицирует процесс прямого восстановления и это сопровождается благоприятными явлениями: в горн приходит меньше оксида; печь работает на низком температурном уровне.

При проведении экспериментов на ДП №1 было показано, что загрузке в печь КО 13,7 кг/т чугуна потери металлургического кокса снизились на 6,7 кг/т чугуна. Так же следует, что при размере коксового орешка 15-36 мм выход его из отсева металлургического кокса составляет 30 кг/т чугуна или 5,5%. Оптимальный размер орешка обеспечивает минимизацию потерь кокса и соответственно снижение перепада давления газа в рудной линзе шихты.

Качество коксового орешка характеризуется, прежде всего, наличием фракции менее 10 мм. Что в полной мере обеспечивается при использовании для высева коксового решка двухъярусных виброгрохотов (табл. 1).

Таблица 1 – Фракционный состав выделяемого коксового орешка

Год проведения рессева	Место отбора	Содержания фракции (%) в орешке класса, мм		
		+25	10-25	10-0
2005	Левое сито (6 опытов)	41,03	54,56	4,41
	Правое сито (7 опытов)	26,78	68,07	5,15
	<b>Среднее</b>	<b>33,91</b>	<b>61,31</b>	<b>4,78</b>
2008	Левое сито (8 опытов)	21,56	75,96	2,48
	Правое сито (8 опытов)	39,40	59,70	0,90
	<b>Среднее</b>	<b>30,48</b>	<b>67,83</b>	<b>1,69</b>

Ресурсами для повышения доли в шихте КО могут быть:

- повышение размера ячеек на ситах виброгрохотов для металлургического кокса до 35-40 мм;
- снижение размера ячейки на ситах двух или трехдечных виброгрохотов для производства КО до 5-7 мм;
- снижение содержания фракции >80 мм в скиповом коксе до 5 % высева из металлургического кокса фракции >80 мм, ее дробления до <80 мм, соответствующего отсева мелочи с производством из нее КО;

Таким образом подготовка кокса к доменной плавке является неотъемлемой процедурой доменного процесса. Использование высококачественного кокса при выплавке чугуна позволяет значительно сократить расход наиболее дорогих материалов доменной плавки - природного газа и кокса, существенно интенсифицировать работу доменных печей и повысить их производительность. Внедрение комплекса разработанных технических решений приведет к получению дополнительной прибыли при производстве высококачественного кокса и использовании его для выплавки чугуна.

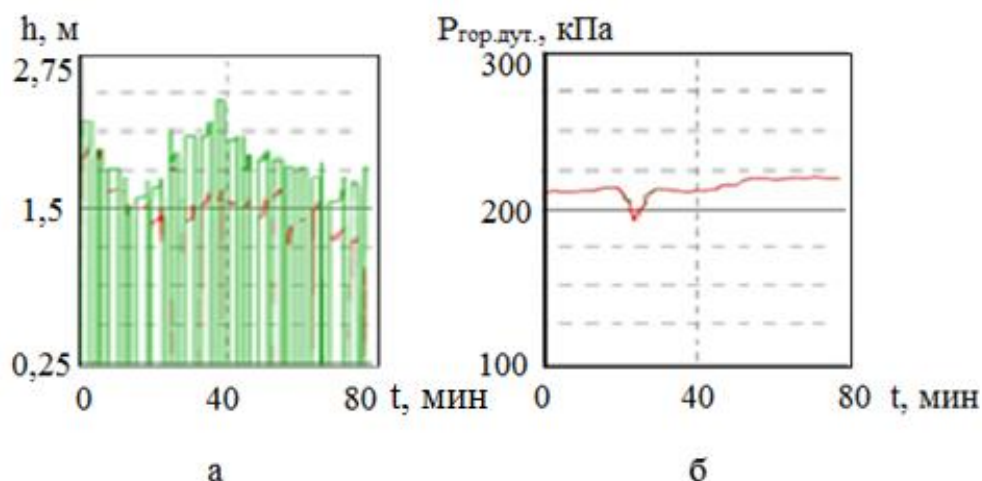
## СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ

Тука А.Ю. (МЧМфс-12)\*

Донецкий национальный технический университет

Высокотемпературный нагрев дутья является одним из основных способов интенсификации, энерго- и ресурсосбережения в доменном производстве. Доменное дутье характеризуется следующими параметрами: давление, температура и влажность. В процессе работы печи эти параметры необходимо поддерживать на оптимальном уровне.

Воздухонагреватель может работать в 4 режимах: нагрева, дутья, отделения и тяги. При переходе с режима нагрева на режим дутья необходимо выровнять давление в воздухонагревателе и в коллекторе холодного дутья. Для этого открывается перепускное отверстие на клапане холодного дутья. При этом поток холодного дутья начинает разделяться на два параллельно подключенных воздухонагревателя, что приводит к резкому падению давления холодного дутья, поступающего в воздухонагреватель, стоящий на дутье, что в свою очередь приводит к резкому падению давления горячего дутья на фурмах. В печи происходит незапланированная осадка шихты, нарушение газовых каналов, замедление хода печи (рисунок).



а – уровень засыпи; б – давление горячего дутья

Рисунок – Диаграммы параметров работы печи

В работе предложен метод уменьшения расхода воздуха на наполнение воздухонагревателя путем уменьшения сечения перепускного отверстия и поддержанием постоянного расхода воздуха с помощью постепенного, по найденному закону, увеличения сечения отверстия клапана на протяжении всего периода наполнения. Разработаны также предложения по уменьшению колебания температуры горячего дутья во время переходных режимов работы воздухонагревателей, изменения в схеме автоматизации.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры РТПиМТ Клягин Г.С.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАЧИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ ПРИ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОРОШКА

Сальников С. В. (МЧМс-12а)\*

Донецкий национальный технический университет

Технология вдувания пылеугольного топлива позволяет значительно снизить потребление кокса, что позволяет снизить себестоимость получения чугуна. При транспортировании топлива в потоке газа по пылепроводу возможны три основных режима.

Первый режим реализуется при скоростях воздуха, обеспечивающих движение частиц только во взвешенном состоянии. В этом случае все частицы перемещаются почти прямолинейно, параллельно стенкам трубы при достаточно равномерном их распределении по сечению, т.е. процесс транспортировки устойчив, но идет сильный абразивный износ пневмотранспорта и большие потери газа-носителя. С понижением скорости равномерность распределения частиц по сечению исчезает, поток расслаивается и часть материала начинает двигаться в пристенной области (второй режим). При этом траектории частиц искривляются, они движутся скачкообразно, периодически касаясь стенок трубы. Сопротивление движению резко возрастает, возможность столкновения частиц между собою увеличивается. Транспортирование материала при этом режиме является неустойчивым и часто заканчивается «завалом» трубопроводов.

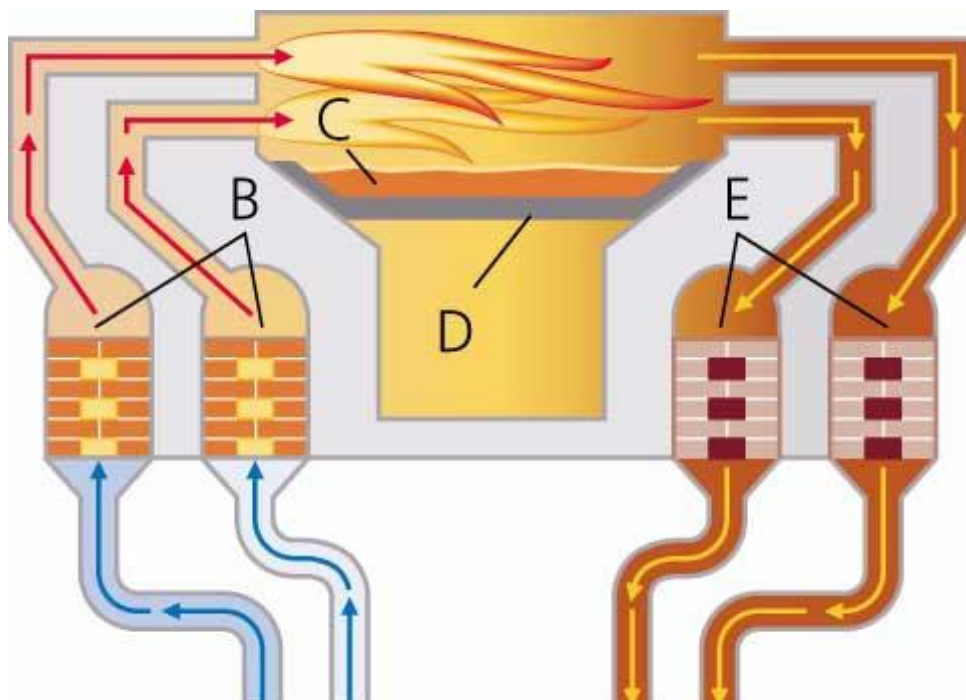
Подача сплошным потоком (третий режим) дает наилучший результат по экономичности использования газа-носителя, а так же по сроку службы самого пылепровода. Однако на практике, осуществление этого способа сталкивается с рядом проблем. Очень сильное влияние оказывает изменение сечения труб (даже незначительные сужения трубы приводят к образованию пробок). Такие же явления наблюдаются при транспорте на большие расстояния. Плотный поток осуществим без особых препятствий на прямом участке трубы, но на поворотах и изгибах начинают образовываться пробки, дюны, ленты, и т.д. Так же давление в трубе, необходимое для проталкивания пыли, по мере приближения к печи постепенно падает, что не желательно и приводит к дополнительным затратам.

Снижение затрат на транспорт газопорошковых потоков и уменьшение эрозийного износа трубопроводов возможен путем использования ступенчатого пылепровода. Ступенчатая пневмолиния обеспечивает процесс пневмотранспорта на большие расстояния при минимальных скоростях. Применение ступенчатых пневмолиний на практике, кроме существенной экономии энергии, дает заметное уменьшение абразивного износа стенок труб и и повышает сохранность зерен транспортируемого материала.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТПиМТ Сидоренко Г. Н.

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ



## ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ (АКП)

Бужак Ю.В. (МС-08),  
Журавлева С.В.\* (аспирант каф. металлургии стали)<sup>1</sup>  
Национальная металлургическая академия Украины

Одним из основных критериев качества стали является содержание в ней серы. Сера значительно понижает механические, электромагнитные и прочностные свойства стали. Повышающиеся требования к качеству стали и рост конкуренции на рынке металла, вызывают необходимость поиска решений для совершенствования процесса десульфурации металла, в том числе и на агрегате ковш-печь.

Целью работы являлось определение лимитирующего звена процесса десульфурации металла при обработке на агрегате ковш-печь.

Было исследовано 50 опытных плавов спокойных марок сталей СтЗсп и Ст5сп, массой 60 тонн. В соответствии с принятой технологией, металл выплавляли в дуговой сталеплавильной печи (ДСП), выпускали в сталеразливочный ковш, а затем проводили его доводку на агрегате ковш-печь. На ковше-печи проводили раскисление металла в соответствии с заданной маркой стали и присаживали шлакообразующие – известь и плавиковый шпат, для наведения высокоосновного рафинировочного шлака, масса которого обычно составляет около 3 тонн. Во время обработки ведется продувка аргоном через две пробки, установленные в днище ковша и нагрев стали до заданной температуры. Температура металла после обработки составляла 1580 – 1620 °С.

Поскольку скорость удаления серы можно представить в виде уравнения (1):

$$V_s = K \cdot F \varphi([S]), \quad (1)$$

где  $K$  – константа скорости физико-химического процесса;  $F$  – величина реакционной поверхности, м;  $\varphi([S])$  – движущая сила физико-химического процесса, для кинетического режима –  $\Delta\mu_i$ , для диффузионного –  $\Delta C_i$ . То, если записать константу скорости в форме уравнения Аррениуса и прологарифмировать уравнение (1), получим выражение:

$$\ln V_s = -\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + A, \quad (2)$$

---

\* Руководитель – д.т.н., проф. кафедры металлургии стали Паниотов Ю.С.



Для каждой группы плавков были построены уравнения зависимостей  $\ln V_S$  от  $1/T$ , и затем по экспериментальным данным и выражению (2) рассчитана кажущаяся энергия активации.

По результатам расчетов построен график (рисунок) зависимости кажущейся энергии активации от начального содержания серы в металле при обработке на агрегате ковш-печь.

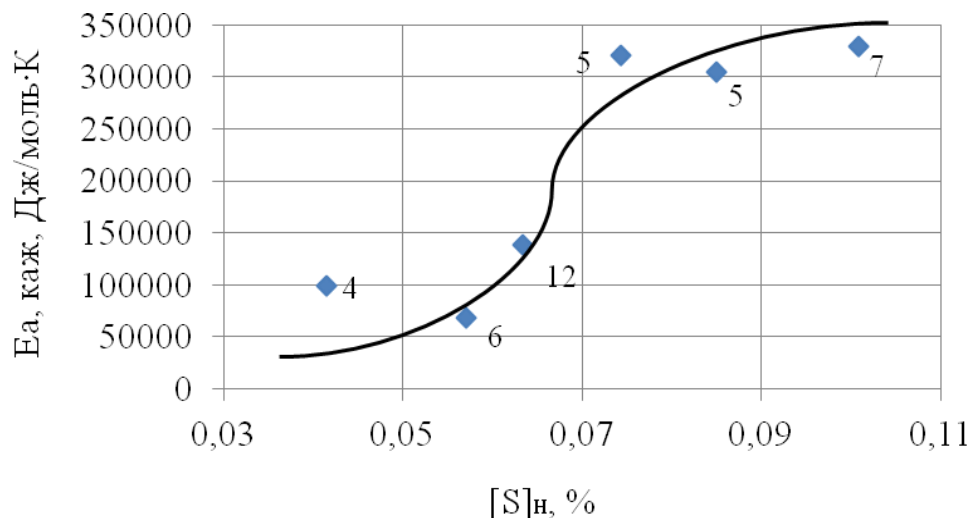


Рисунок - Зависимость кажущейся энергии активации от начального содержания серы

Согласно зависимости, представленной на рис. 1, при начальной концентрации серы свыше  $[S]_н \geq 0,07$  % процесс десульфурации протекает в переходной области и лимитируется как скоростью самой химической реакции, так и диффузией. При снижении концентрации серы происходит переход процесса удаления серы в диффузионную область, где наиболее медленным звеном является диффузия серы в шлаке. Предполагается, что при дальнейшем уменьшении содержания серы в металле на уровне  $10^{-3}$  %, процесс десульфурации, станет протекать во внутридиффузионной области, где лимитирующим звеном является диффузия серы в металле.

В работе рассмотрен механизм процесса удаления серы при обработке металла на агрегате ковш-печь. Дана оценка лимитирующего звена процесса десульфурации по величине кажущейся энергии активации. Показано, что при низких концентрациях серы в металле, скорость физико-химического процесса определяется диффузией.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВСПЕНИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Ганжа С.Е. (МС-08)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Наиболее благоприятным ходом верхней кислородной продувки конвертерной ванны является тот, когда уровень вспененной шлакометаллической эмульсии находится вблизи горловины конвертера и при этом отсутствуют выбросы металлошлаковой взвеси из агрегата. Такой режим продувки сопровождается снижением интенсивности заметалливания кислородной фурмы и горловины конвертера, уменьшением содержания фосфора и азота в конечном железоуглеродистом полупродукте.

Чтобы выяснить влияние режима продувки и присадки сыпучих материалов на динамику вспенивания шлака в кислородном конвертере провели серию плавов на специальной установке высокотемпературного моделирования, созданной на базе 150-кг индукционной печи, по следующей методике. 120 кг чушкового чугуна известного состава ( в среднем 4,15% С , 0,32% Mn , 0,55% Si, 0,034% S и 0,060% P) расплавляли, а затем нагревали до 1300-1450°C в набивном тигле из плавяного магнезита. Поверхность расплава полностью очищали от первичного плавильного шлака, отбирали пробу чугуна, устанавливали на требуемой высоте кислородную фурму и начинали продувку с удельным расходом кислорода 2,2-2,8 м<sup>3</sup>/(т\*мин). Продувку чугуна производили через водоохлаждаемую кислородную фурму с медным наконечником, включающим три цилиндрических сопла диаметром 2,0 мм, расположенных под углом 10 град к вертикальной оси фурмы. Для наведения шлака после «зажигания» плавки рассредоточено присаживали доломитизированную известь и плавиковый шпат в количестве 1,5-2,5 и 0,2-0,3 кг соответственно. В ходе продувки отбирали пробы металла и шлака, а также фиксировали видеокамерой макрофизические явления на поверхности конвертерной ванны.

В результате проведенных экспериментов удалось зафиксировать видеосъемкой:

- картину основных режимов продувки конвертерной ванны с переходами от стабильных открытых кратеров к подвижным с разбрызгиванием и далее к «зажиганию плавки», глубокому проникновению кислородных струй в расплав и наводки шлака с продувкой ванны «заглубленной» струей;
- направленный выброс капель металла на поверхность образующегося шлакового покрова при продувке в режиме подвижных кратеров с разбрызгиванием;

---

\*Руководитель – д.т.н. , профессор кафедры МС Чернятевич А.Г.

- повторяющийся с определенной частотой выброс крупных всплесков и брызг металла на ствол фурмы и в сторону от него в шлаковую фазу при продувке в режиме глубокого проникновения и уровне вспененной шлакометаллической эмульсии, не перекрывающей торец наконечника фурмы;
- перекрытие вспененной шлакометаллической эмульсией торца наконечника фурмы и особенности выхода основного потока монооксида углерода из реакционной зоны на поверхность ванны.

Химический анализ проб металла и шлака, извлеченных из шлака металлических корольков, а также материалы видеосъемки макрофизических процессов при продувке конвертерной ванны позволили подтвердить известную точку зрения, что определяющим фактором вспенивания шлака является реакция между попавшими в шлак углеродосодержащими металлическими корольками и оксидами железа, содержащимися в шлаке. Выброшенные из реакционной зоны взаимодействия кислородных струй с расплавом в богатый оксидами железа шлак (начальный период продувки) металлические корольки продолжают в нем обезуглероживаться. Это вызывает интенсивное вспенивание шлаковой фазы за счет образования и накопления пузырьков СО в объеме последней при окислении углерода корольков, так как основной поток газообразных продуктов окисления углерода выходит из реакционной зоны в форме своеобразных «свищей», ведущих к созданию неустойчивой гидродинамической обстановки верхних слоёв вспененной шлакометаллической эмульсии и возникновению выбросов.

При содержании углерода в ванне выше 0,3% высота образующегося слоя вспененной шлакометаллической эмульсии в конвертере при рабочем положении фурмы находится в прямой зависимости от величины окисленности жидкоподвижного шлака, определяющей в свою очередь количество СО, выделяющейся в шлаковой фазе при обезуглероживании корольков. Содержание корольков в шлаке доходило до 20-30% , а содержание в них углерода было ниже в 2-2,5 раза по сравнению с углеродом металлической ванны.

Проведенные эксперименты указывают на целесообразность увязывания явления возникновения выбросов с особенностями образования вспененной шлакометаллической эмульсии, заполнением последней свободного объема конвертера (зачастую до горловины) и характером прохождения через нее основного потока монооксида углерода, выходящего из пределов реакционной зоны.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ НА УДАЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Жуков Д.А. (МЧМ-08-2м)<sup>2</sup>

Донбасский государственный технический университет

Наиболее важным критерием в производстве стали является ее качество. Поэтому проблема снижения в стали содержания вредных примесей и неметаллических включений является достаточно актуальной на современном этапе развития металлургического производства. Неметаллические включения образуются вследствие протекания различных химических реакций в процессе производства стали, а также попадают в жидкий расплав из шлака и огнеупорных материалов, используемых при выплавке, внепечной обработки и разливке стали. Предотвратить попадание неметаллических включений в расплав и исключить возможность их образования крайне сложно. Поэтому в настоящее время применяются различные технологические схемы способствующие рафинированию стали от неметаллических включений. Наиболее широко для удаления включений используют продувку аргоном в сталеразливочном ковше и промковше МНЛЗ.

Анализ литературы показал, что эффективность рафинирования стали от неметаллических включений находится в прямопропорциональной зависимости от длительности пребывания порции металла в промковше (резидентного времени), которая в свою очередь зависит от его конструкции, а также наличия устройств, интенсифицирующих процесс всплывания включений в покровный шлак и препятствующих попаданию их в сталеразливочный стакан.

В данной работе проведено физическое моделирование процесса аргонной продувки расплава в промковше через кольцевую фурму расположенную вокруг металлоприемника и снабженного перегородками для фильтрации неметаллических включений. В качестве моделирующей расплав жидкости использовали воду, а продувочного газа – воздух.

За критерий времени пребывания жидкости в промковше было принято прохождение порции жидкости от защитной трубы к сталеразливочному стакану. Наиболее точным методом измерения резидентного времени является электрохимический метод с введением в жидкость (воду), небольшого количества концентрированного раствора соли и измерением электропроводности в одной или нескольких точках объема промковша с помощью специальных датчиков. При этом значение резидентного времени являются наиболее точными по сравнению с другими методами.

После проведения ряда экспериментов с замером резидентного времени, при различных вариантах конструкции промковша и расходах продувочного газа, были получены результаты представленные на рисунке.

---

<sup>2</sup> Руководитель - проф. кафедры МЧМ Куберский С.В.

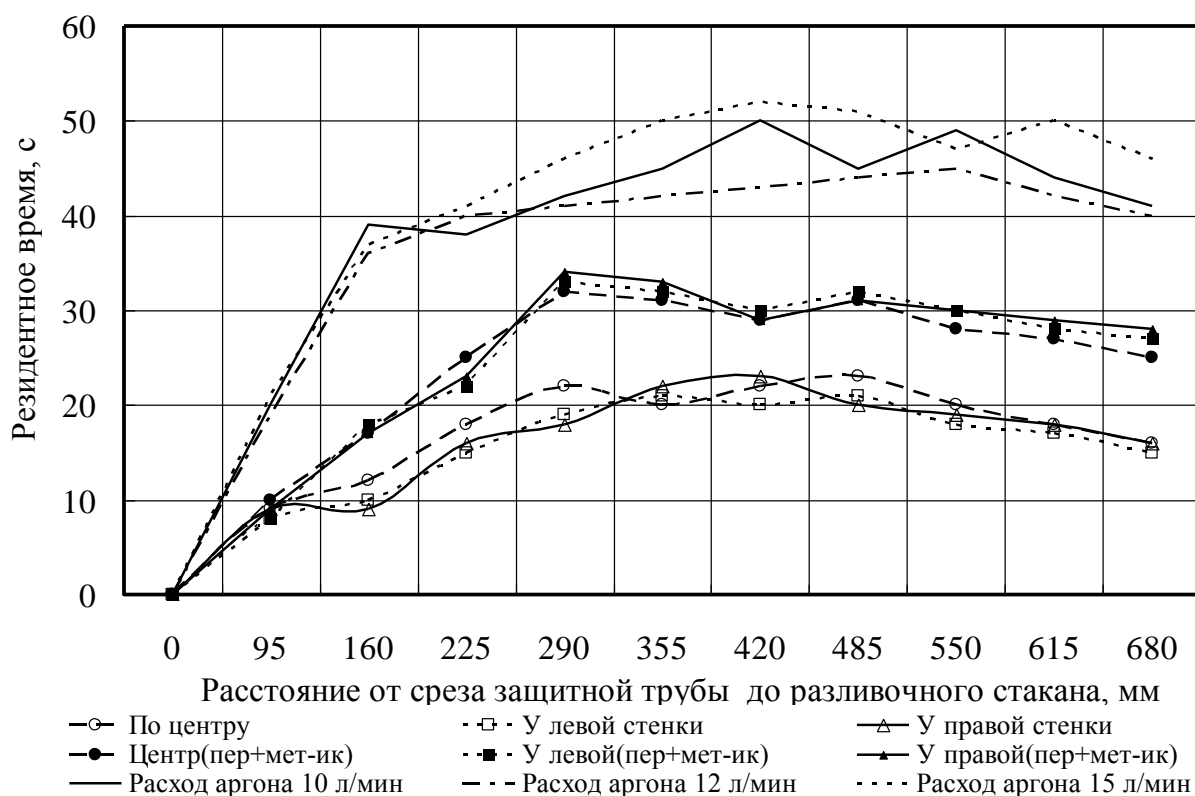


Рисунок – Изменение времени пребывания порции моделирующей жидкости в промковше при различной его конструкции и расходе продувочного газа

При отсутствии в промковше устройств интенсифицирующих удаление неметаллических включений время пребывания порции солевого раствора фиксируемое датчиками, расположенными по центральной оси промковша и у боковых стенок, примерно одинаково и составляет около 15с. Кроме того, порции раствора в средней части промковша задерживаются в нем несколько больше, а именно до 20-23с.

Установка металлоприемника типа «турбостоп» и фильтрационных перегородок способствует изменению характера конвективных потоков и увеличению времени пребывания порции металла в промковше (до 20-25с). Причем в средней части промковша обновление металла происходит за 30-35с. Еще большее значение резидентного времени наблюдается при использовании дополнительной аргонной продувки металла с использованием кольцевой фурмы расположенной вокруг металлоприемника. При изменении расхода аргона в пределах 10-15 л/мин время пребывания порции металла в промковше увеличивается до 40-47с.

Таким образом, использование металлоприемника, фильтрационных перегородок и аргонной продувки металла в промковше позволяет практически в три раза увеличить время пребывания порции металла в нем и соответственно вероятность удаления неметаллических включений.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Кондратов А.Н. (МЧМ-08-2м)\*

Донбасский государственный технический университет

Черная металлургия Украины в результате несовершенной структуры производства, использования морально устаревших технологий и оборудования характеризуется повышенной материало- и энергоемкостью производимой продукции и, как следствие, высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду. Ежегодно украинские предприятия черной металлургии выбрасывают в атмосферу более 4 млн. т вредных веществ и образуют около 25 млн. т твердых отходов

ПАО «Алчевский металлургический комбинат» является предприятием, серьезно загрязняющим окружающую среду региона, и на данный момент частично утилизирует пыль электрофильтров конвертерного цеха при производстве агломерата. Это не целесообразно, т.к. в ходе спекания осуществляется вынос частичек пыли в атмосферу.

Утилизация и рециклинг отходов сталеплавильного производства вопрос важный не только с точки зрения окружающей среды, но и с точки зрения рационального использования природных ресурсов. Конвертерная пыль является ценным сырьем для переработки, т.к. ее состав близок к составу железной руды.

Из существующих на сегодняшний день способов подготовки мелкодисперсных материалов для последующего использования является процесс получения окатышей. Он обеспечивает рост производительности металлургических агрегатов, расширение сырьевой базы металлургической отрасли, экономию топлива и энергии. По сравнению с другими методами окускования, процесс получения окатышей обладает более низкой себестоимостью получаемого продукта, окатыши эффективно перерабатываются в сталеплавильных агрегатах, заменяя шлакообразующие материалы и металлолом. Опытом многих предприятий ГМК Украины установлено, что процесс получения окатышей наиболее полно реализуется совместно с другими методами окускования – агломерацией и брикетированием. Они не конкурируют между собой, но экономически выгодно дополняют друг друга.

В свете развития современной черной металлургии окатыши из отходов металлургических производств можно отнести к одному из самых важных и полезных компонентов при производстве стали. Как и к остальным материалам, к ним предоставляются высокие требования по химическому и гранулометрическому составу, пористости и другим физико-механическим свойствам. Например, окатыши для сталеплавильного производства должны

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры МЧМ Кравченко В.М.

выдерживать нагрев до 1500<sup>0</sup> С в течении 3-5 мин, и при этом сохранять свою форму, также иметь пористость не более 5-10 %, и сопротивление сжатию не менее 25 кгс/см<sup>2</sup>.

Заданные требования возможно выполнить путем оптимальной организации технологического процесса. На основании проведенного анализа и лабораторных исследований, наиболее приемлемой, выгодной экономически и экологически безопасной, является схема получения безобжиговых окатышей со связкой из цемента. Цемент является относительно дешевым, достаточно прочным и хорошо смешивающимся связующим, и одновременно компоненты цемента способствуют процессу шлакообразования. Химический состав цемента и конвертерной пыли представлен в таблице.

Таблица – Химический состав сырья для производства окатышей

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	др.
Конв. Пыль	7,28	0,8	11,16	65,17	7	1,02	0,62	5,1
Цемент	22	5	-	3	67	-	-	3

В ходе лабораторных испытаний был разработан оптимальный состав шихты для получения окатышей с необходимыми физическими свойствами. Количество цемента, необходимое для получения заданной прочности – не более 7 % от массы сухой конвертерной пыли. Для образования цементной связки в шихту добавляется вода в количестве 10 % от массы сухой шихты. Полученные на конусном окомкователе окатыши после упрочения были использованы в качестве добавки к шихте кислородного конвертера в ККЦ «АМК». Удельный расход окатышей составил 11 кг/т металлошихты. Окатыши применяли на химически горячих плавках (т.е. на плавках с высоким содержанием Si в чугуне – до 1,1%) для снижения температуры на выпуске, т.к. окатыши из сталеплавильных пылей и шламов могут служить более лучшим охладителем конвертерной ванны, чем руда, т.к. содержание SiO<sub>2</sub> в них не высоко. Охлаждающий эффект таких окатышей составляет около 10<sup>0</sup> С на каждые 100 кг.

В результате проведенных исследований было отмечено увеличение выхода годного на 0,2 %, увеличение расхода кислорода и расхода извести. Однако, если учесть количество окисляющихся примесей и рост количества шлака, увеличение выхода годного будет более существенным.

В настоящее время на территории бывшего мартеновского цеха ПАО «Алчевский металлургический комбинат» строится установка по переработке железосодержащих материалов, включающая в себя бункера с дозаторами, барабанный смеситель и цилиндрический окомкователь. Данная установка позволяет получать окатыши из конвертерной пыли в объеме, достаточном для использования их в промышленных масштабах.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Приз А.А. (МЧМ-08-2м)\*

Донбасский государственный технический университет

В условиях развития технологии непрерывной разливки слябовой заготовки предъявляются высокие требования к качеству ее внутренней структуры. Эффективным приемом повышения качества непрерывнолитых слябовых заготовок, является реализация их «мягкого» динамического обжатия, на стадии неполной кристаллизации, при которой центральная часть поперечного сечения находится в жидком или в полутвердом состоянии. Данная технология компенсирует объемную усадку стали при затвердевании, способствует значительному снижению осевой пористости, V-образной и осевой ликвации, повышению плотности металла и измельчению первичного зерна при одновременном повышении однородности кристаллической структуры.

Вопрос оптимизации параметров «мягкого» обжатия непрерывнолитых заготовок является весьма актуальным. Однако, физическое моделирование «мягкого» обжатия непрерывнолитого слитка весьма затруднительно, а выводы, сделанные на основании математического моделирования, не всегда реализуются на практике.

Известные из литературы основные параметры «мягкого» обжатия колеблются в довольно широком диапазоне. Наилучшие результаты процесса деформации непрерывнолитых заготовок с жидкой сердцевиной, для различных скоростей разливки достигаются при доле твердой фазы 0,3-0,7. Степень обжатия, которая необходима для получения структур с низкой ликвацией, составляет от 4 до 30 мм, при этом скорость обжатия находится в пределах 0,72-12 мм/мин.

Для оптимизации процесса мягкого обжатия в данной работе была разработана физическая модель для изучения его параметров на непрерывнолитой слябовой заготовке сечением 300×1000 мм в масштабе 1:2,5 (120×400 мм). Модель позволяет визуализировать процесс деформации твердой корочки во времени, а также осуществлять «мягкое» обжатие заготовки с разной интенсивностью, скоростью и степенью обжатия.

Важным моментом при физическом моделировании «мягкого» обжатия непрерывнолитого слитка является выбор рабочего (моделирующего) вещества, используемого в холодной модели.

Наиболее универсальным из веществ, получивших распространение при моделировании процессов затвердевания в последнее время, является камфен (2,2-диметил-3-метилтен-бициклогептан).

---

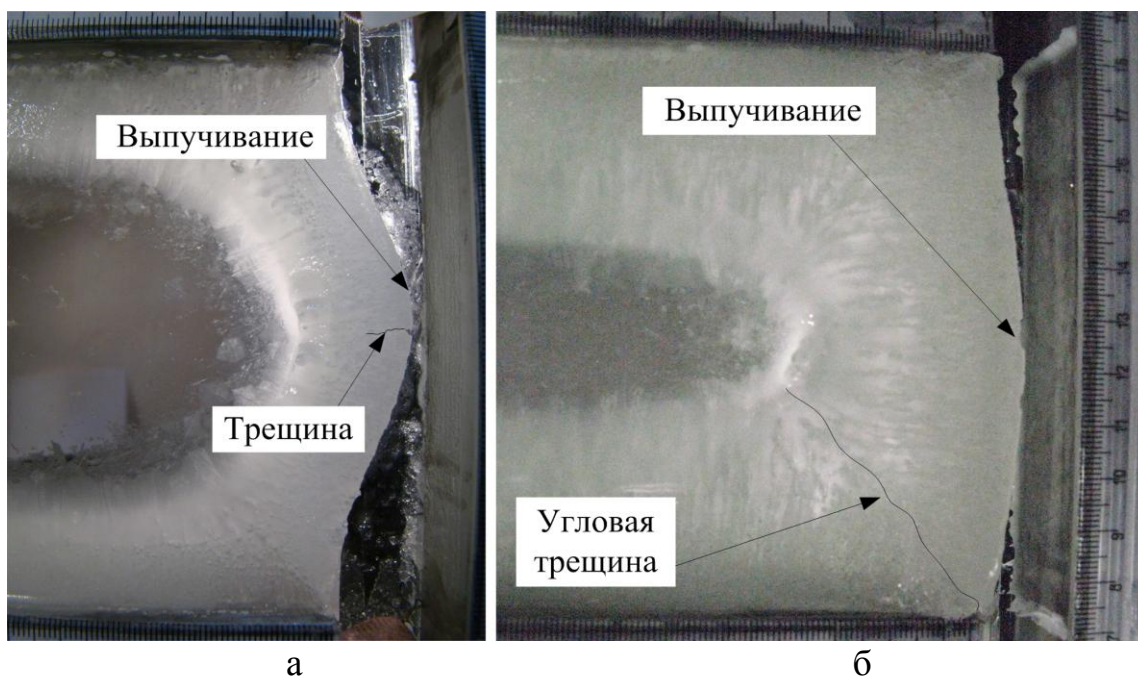
\* Руководитель - проф. кафедры МЧМ Куберский С.В.



Камфен, как и сталь, является дендритокристаллизующимся веществом, которое позволяет моделировать процессы и явления, происходящие в двухфазной зоне.

Моделирование мягкого обжатия осуществлялось на лабораторной установке, стенки которой изготовлены из пустотелого алюминиевого профиля сечением 25×25 мм и установлены на стекле толщиной 6 мм. Толщина корочки затвердевшего вещества в водоохлаждаемой модели определялась по фотографиям, полученным в ходе проведения эксперимента.

В результате проведенных экспериментов удалось визуализировать процессы, сопровождающие деформацию твердой корочки заготовки при ее мягком обжатии. Эксперименты проводили при различной доле твердой фазы с интенсивностью 12 мм/мин. При доле твердой фазы около 30-40% при обжатии на 8 мм трещины появились на середине узкой грани (рисунок 1,а), при доле твердой фазы 50 % трещинообразование с перетеканием жидкой фазы фиксировалось при обжатии на 7-8 мм, а при доле твердой фазы 60-70% при обжатии на 10 мм были видны значительные выпучивания в области узких граней с появлением трещин в углах заготовки (по стыку фронтов кристаллизации) (рисунок 1,б).



а – обжатие на 8 мм при доле твердой фазы 30%; б – обжатие на 10 мм при доле твердой фазы 70%

Рисунок 1 – Деформация корочки и образование трещин при разной доле твердой фазы

В ходе дальнейших исследований планируется определить оптимальные величины степени и скорости мягкого обжатия при различной доле твердой фазы, при которых не наблюдается образование трещин слябовой заготовки.

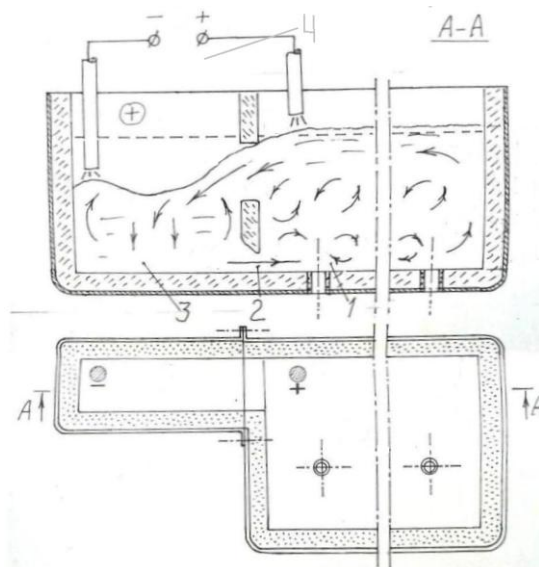
# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

Осадчий А.С. (МЧМ-08-2м)\*

Донбасский государственный технический университет

В современных условиях развития металлургии очень остро стоят вопросы повышения качества стали, в значительной степени, зависящие от содержания в ней неметаллических включений (НВ). Удаление НВ в неперемешиваемом, с использованием дополнительного оборудования, расплаве происходит только за счет их всплывания, тогда как в условиях интенсивного перемешивания металла этот процесс осуществляется преимущественно конвективными потоками. Для снижения загрязненности стали НВ в промковшах МНЛЗ используют различные устройства способствующие удалению их в покровный шлак. При этом образуются как восходящие, так и нисходящие потоки, которые могут уносить НВ обратно в глубину расплава, что значительно ухудшает эффективность обработки. В данной работе предложено использовать электромагнитное перемешивание в промковше для организации горизонтальных потоков вдоль его огнеупорной футеровки и покровной шлакообразующей смеси.

Экспериментальные исследования проводились на физической модели промежуточного ковша с кондукционным ЭМП (рисунок 1), а в качестве модельных жидкостей использовали расплавленный сплав Вуда и электропроводный водный раствор.



1 – ванна промковша, 2 – нижний переливной канал,  
3 – ванна перемешивателя, 4 – электромагнитный перемешиватель  
Рисунок 1 – Схема физической модели промковша с ЭМП

\* Научный руководитель - к.т.н. Эссельбах С.Б.

По известным геометрическим параметрам модели и индукции электромагнита (0,2 Тл) были произведены расчеты скорости течения модельного сплава для различной силы тока, а в ходе последующих экспериментов определены фактические ее значения представленные в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Изменения скорости течения сплава от силы тока, поданного к электромагниту

Сила тока, А	Расчетная скорость, м/с	Экспериментальная скорость, м/с
2	0,054	0,04
4	0,09	0,05
6	0,11	0,06
9	0,15	0,13

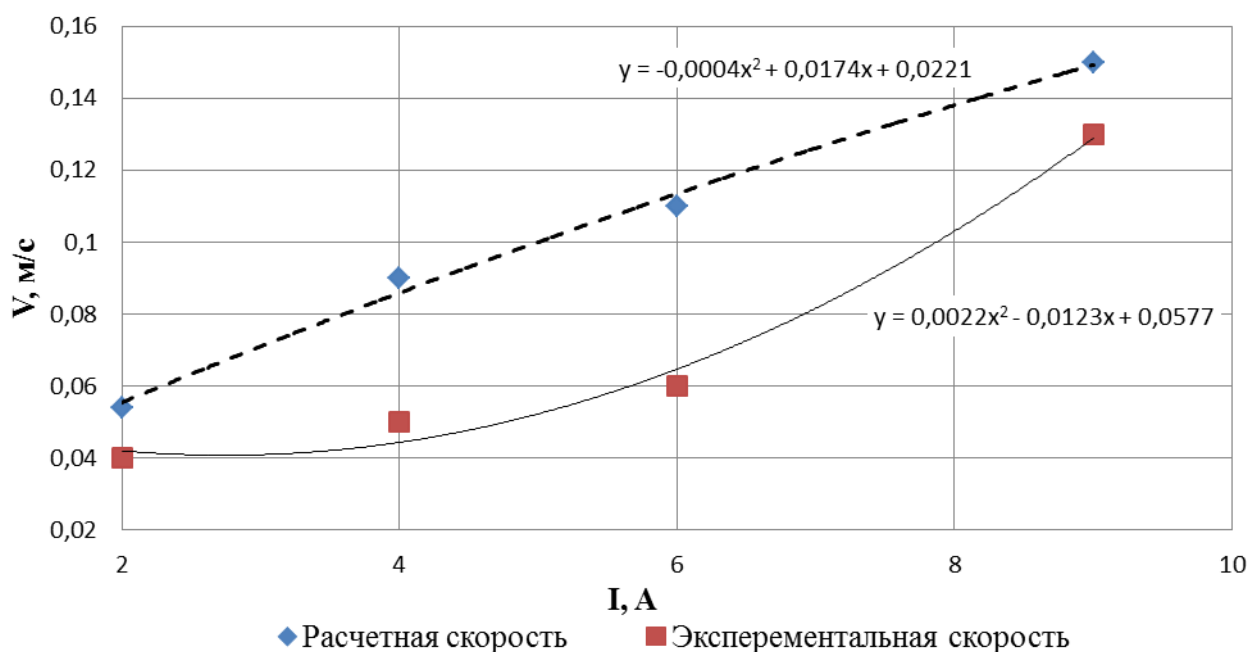


Рисунок 2 – Зависимости скорости течения сплава Вуда от силы тока, подводимого к электромагниту

В результате проведенных экспериментов было установлено, что ЭМП позволяет создать циркуляцию в расплаве вдоль огнеупорной футеровки промковша и покровного шлака находящегося на его поверхности. В зависимости от силы тока скорость такого потока на 1-2 порядка выше скорости нисходящего потока в промковше направленного от среза наружной трубы к дозирующим устройствам. Горизонтальные потоки будут смывать нисходящий поток и вовлекать его в циркуляционное движение, тем самым увеличивая время пребывания порции металла в промковше и вероятность улавливания НВ.

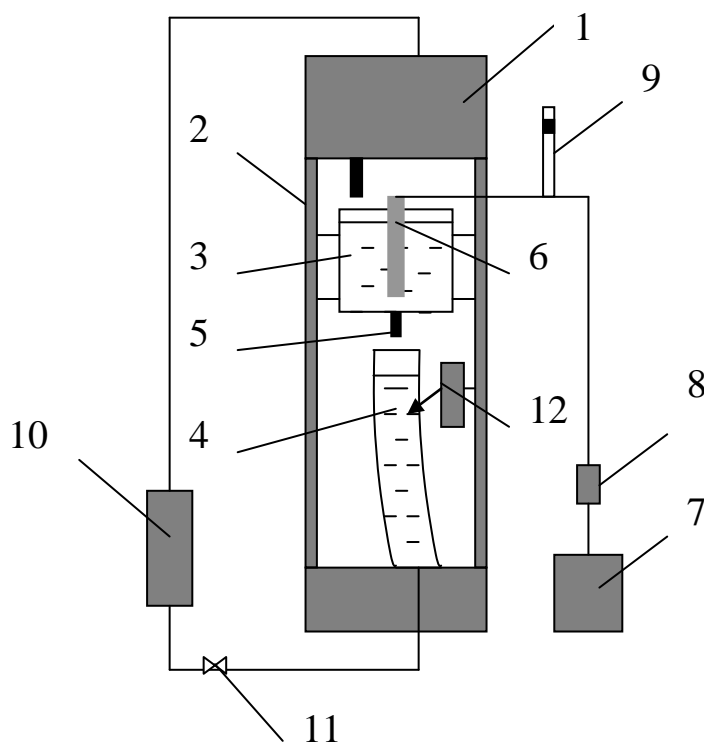
# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВДУВАНИЯ АРГОНА В СТРУЮ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Филатов О.Ю. (МЧМ-126)\*

Донецкий национальный технический университет

Вдувание аргона в струю стали при непрерывной разливке положительно сказывается на качестве непрерывнолитой заготовки, однако существуют условия при которых ожидаемый результат не достигается. Актуальность создания методики заключается в изучении влияния вдувания аргона в струю стали на качество непрерывнолитой заготовки и определения наиболее благоприятных условий для достижения требуемого результата.

Исследование продувки стали аргоном через стопор предполагается вести с помощью физического моделирования на лабораторной установке (рисунок 1).



1-резервуар; 2-опорные колонны; 3-прозрачная модель промежуточного ковша; 4-прозрачная модель кристаллизатора; 5-стакан-дозатор; 6-стопор-моноблок; 7-компрессор; 8-ресивер; 9-ротаметр; 10-насос; 11-устройство синхронизации напоров жидкости; 12-устройство визуализации и измерения скоростей потоков.

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для изучения гидродинамики потоков расплава в полости кристаллизатора криволинейной МНЛЗ

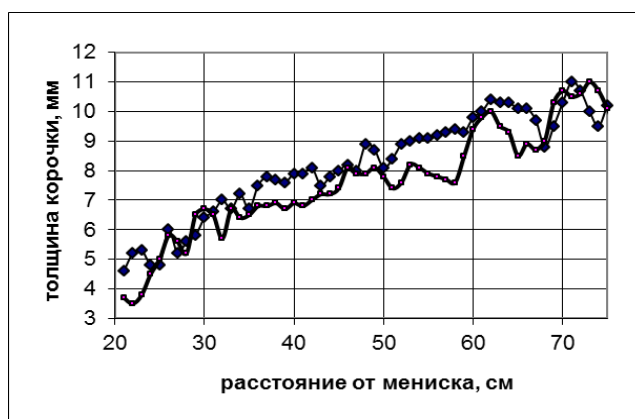
\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры МС Штепан Е.В.

В качестве жидкости, моделирующей расплав, выбрана вода при температуре 15-25°C, как наиболее удобная среда для имитации металлического расплава. Наиболее предпочтительным для изучения процесса перетекания металла из промежуточного ковша в кристаллизатор сортовой МНЛЗ является соблюдение равенства критериев Фруда и Вебера. Подача жидкости, моделирующей расплав, осуществляется с помощью насоса 10 и контролируется устройством синхронизации напоров жидкости 11. Дозированный выпуск жидкости из промковша осуществляется открытой струей через стакан-дозатор либо закрытой струей через погружной стакан 5 с помощью полого стопора-моноблока 6, в канал которого от компрессора 7 через ресивер 8 подается сжатый воздух, который имитирует аргон.

Также влияние вдувания аргона на формирование заготовки можно оценить с помощью замеров толщины затвердевшей корочки «чулков» (рис. 2)



а



б

а - при расходе аргона 1,5-2,0 л/мин; б - при расходе аргона 0 л/мин

Рисунок 2 – Динамика нарастания корочки по двум противоположным граням заготовки из стали 20тр

Результаты замеров толщины корочки заготовки должны быть сопоставлены с данными физического моделирования с целью выявления закономерностей влияния струи аргона на толщину твердой корочки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ОБРАЗОВАНИЯ ПОР В ТЕЛЕ ОГНЕУПОРА В ПРОЦЕССЕ ОТЖИГА

Рябый Д.В. (МЧМ-096) \* Лизун А.Ю (МЧМ – 12 бм)  
Донецкий национальный технический университет

В настоящее время на футеровку ковшей расходуется 25–50% всех огнеупоров, используемых на металлургических заводах. В шлаковом поясе, где используются периклазоуглеродистые изделия, происходит особенно сильный износ, ограничивающий рабочий цикл всего ковша. Основными механизмами износа шлакового пояса футеровки являются химическая коррозия и механическая эрозия в результате перемешивания ванны жидкой стали.

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований по изучению характера образования пор в теле огнеупора. Для этого были использованы образцы из периклазоуглеродистого кирпича, которые предварительно были вырезаны в форме бара с размерами 15x15x80 мм (рисунок 1 а). В лабораторных условиях образцы нагревали и выдерживали при температуре 1600°C в течение 5, 30, 45, 60, 120 минут (рисунок 1 б). Результаты исследований приведены на рисунке 1 в.



а – исходный образец; б – обожженный образец; в – график зависимости потери массы от времени выдержки

Рисунок 1 – Результаты исследований периклазоуглеродистого огнеупора

Получены данные и зависимость по кинетике выгорания углерода и влиянию температурно-временного фактора, на процесс образования пор. Установлено, что увеличение времени выдержки огнеупоров приводит к увеличению количества пор и росту потери массы. При высоких температурах в контакте с кислородом образуется обезуглероженный слой огнеупора, который, характеризуется пониженной прочностью и повышенной пористостью. Образование пор в огнеупоре резко сокращает срок их службы. Следует отметить то, что образование пор в следствии обезуглероживания огнеупоров происходит уже при первом разогреве. Разработка мероприятий по увеличению стойкости огнеупорных изделий является неотъемлемой частью по сокращению удельных затрат на производство стали. Наиболее распространенным методом повышения стойкости футеровки является нанесение ковшевой глазури на рабочую футеровку в течение кампании ковша.

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры МС Смирнов А. Н.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА

Лизун А. Ю. (МЧМ–12 б.м)\*, Рябый Д.В. (МЧМ–096)\*  
Донецкий национальный технический университет.

Непрерывное развитие предприятий черной металлургии обуславливается возрастающим уровнем конкуренции на мировом рынке металлопродукции. Поэтому сокращение удельных затрат на производство стали – это одна из приоритетных задач отечественной металлургии, которую частично можно решить за счет повышения эксплуатационной стойкости огнеупорных изделий. Наиболее распространенным методом повышения стойкости футеровки, является раздувка конвертерного подготовленного конечного шлака азотом.

С целью получения дополнительных данных о механизмах нанесения гарнисажного покрытия на футеровку конвертера была разработана физическая модель 160 т конвертера в масштабе 1:20. В качестве моделирующей среды использовали сплав Вуда – шлак, воздух – продувочный газ. В ходе физического моделирования были установлены наиболее эффективные режимы взаимодействия струй газа и моделирующего вещества, при глубине ванны соответствующей оставляемому шлаку примерно 13%. На (рисунке 1) приведена кинограмма набрызгивания шлакового гарнисажа на поверхность футеровки.

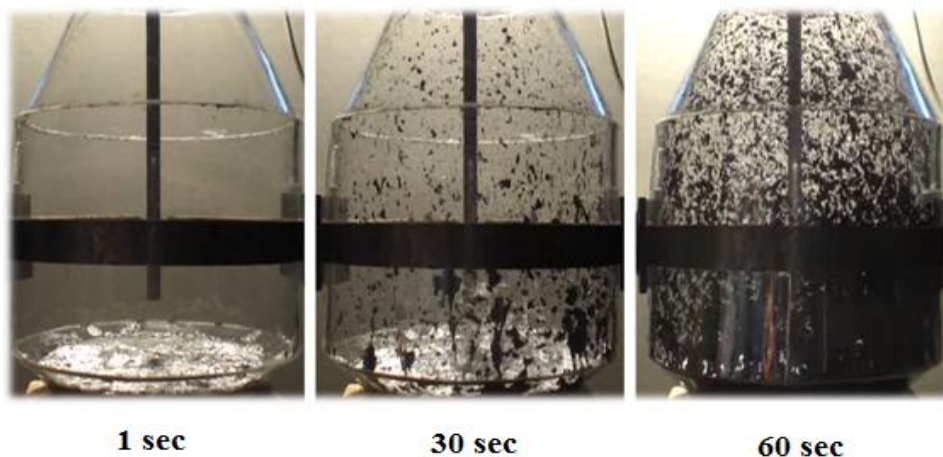


Рисунок 1 – Кинограмма набрызгивания шлакового гарнисажа на поверхность футеровки конвертера (физическая модель – сплав Вуда)

Установлено, что «нарастанию» гарнисажного слоя в большей степени подвержены зоны «карманов» (стык нижнего конуса и цилиндра) и зоны цапф. Эти участки футеровки, как правило, и являются наиболее «проблемными» с

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры МС Смирнов А.Н.

точки зрения опережающего износа и трудностей в выполнении горячих ремонтов.

Следующим этапом исследований является определение адгезиальной способности модифицированного шлака к переклазоуглеродистой футеровки, по средством горячего моделирования.

Исследование десяти образцов флюсов на предмет адгезии к огнеупорному материалу и огнеупорность в интервале температур конвертерной плавки показало, что при использовании образца № I (рисунок 2) в диапазоне температур 1600–1680°C сползание ганисажа отсутствует, данный образец обладает необходимыми физическими и химическими свойствами. Применение данного образца под раздувку является наиболее целесообразным.

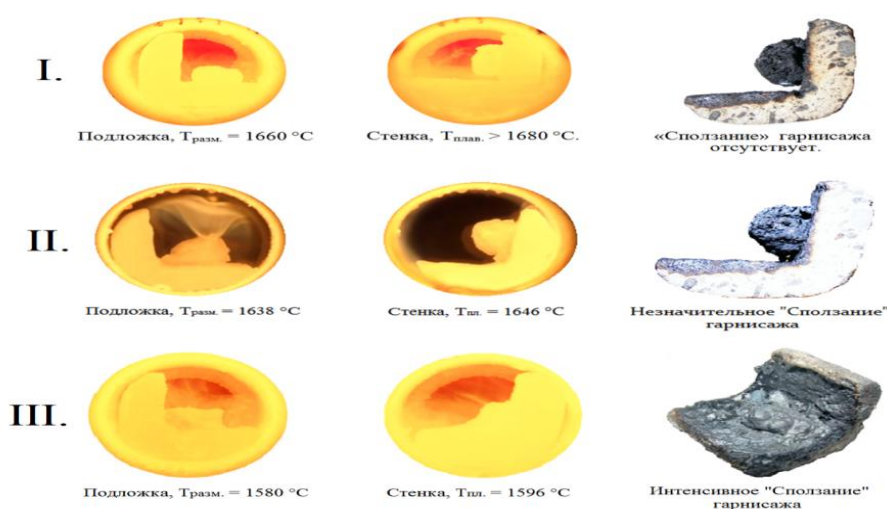


Рисунок 2 – Поведение ганисажного слоя в температурном интервале плавления

Исследование образца № II в температурном диапазоне 1638-1646 °C показало незначительное сползание, а также незначительное поверхностное плавление ганисажа. Применение данного образца под раздувку не целесообразно, так как степень адгезии данного образца является неудовлетворительной. Образец шлака № III в температурном интервале плавления 1580 – 1596 °C, наблюдается интенсивное сползание исследуемого образца. Поэтому использование его для раздувки не представляется возможным.

В результате исследований установлены наиболее рациональные режимы для равномерного нанесения слоя ганисажа по всей полости конвертера. Также была разработана концепция проведения эксперимента по оценке «адгезионной способности» и установлено, что не все из исследуемых образцов флюсов пригодны для проведения операции набрызгивания.



## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Лобунько М.И., Ожищенко А.А. (МЧМ-096) \*  
Донецкий национальный технический университет

Рассматривая баланс сил действующих на границе огнеупор-шлак, огнеупор-металл или на границе с газовой фазой необходимо учитывать воздействующую поверхностную энергию на границе их раздела.

Для высокотемпературных систем широко применяется метод лежащей капли, метод максимального давления газа в пузырьке и т.д.. Эти методы мало пригодны при моделировании сталеплавильных процессов когда необходимо знать угол смачивания водой или маслом различных пластических масс.

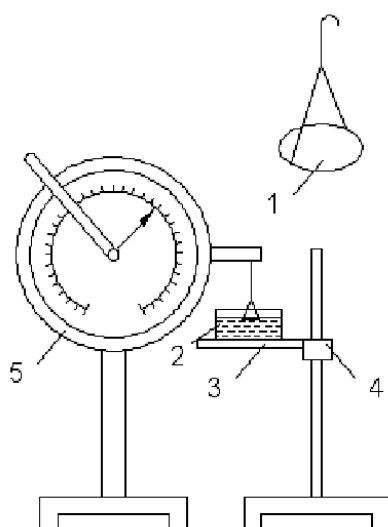


Рисунок - Установка для определения поверхности натяжения методом отрыва  
1 – пластина  
2 – сосуд с исследованной жидкостью  
3 – платформа  
4 – держатель  
5 – торсионные весы

Действенным способом определения поверхностной энергии при холодном моделировании сталеплавильных процессов является метод отрыва. Для его реализации пластину изготавливали заданной площади из материала моделирующего огнеупора. Пластины отрывали от жидкости, которая моделировала шлак или металл. Силу отрыва измеряли торсионными весами.

При выполнении исследований поверхностных характеристик изучали пластины из пластилина, полиэтилена и тефлона. Площадь образцов определяли предварительно.

Расчет осуществляли по формуле  $\sigma = P / (4 \pi R)$ . Где  $\sigma$  - поверхностное натяжение, а  $P$  – сила отрыва образца от модельной жидкости. Выполненными исследованиями установлено, что поверхностное натяжение пластилина относительно масла составляет 17 (мН/м). Аналогичное поверхностное натяжение имеет тефлон. Исследованный полиэтилен имеет поверхностное натяжение примерно 26 (мН/м).

Относительно воды это значение для тефлона составляет 27, для пластилина – 32 и для полиэтилена примерно 30 (мН/м).

\*Руководитель – к.т.н, доцент кафедры МС Лебедев Е. Н.

## ОТСЕЧКА ШЛАКА ПРИ НАКЛОНЕ КОНВЕРТОРА

Ожищенко А.А., Лобунько М.И. (МЧМ-096)\*  
Донецкий национальный технический университет

Высокое качество продукции, что выпускается на современном этапе развития металлургии невозможно без использования методов после печной обработки стали. Современная технология требует в кислородном конверторе получать сталь с наименьшим содержанием ковшевого технологического шлака. С затратным методом электромагнитного определения шлака в струе металла успешно конкурирует применение огнеупорного само разрушающегося тампона при наклоне конвертора и дополняющий его поплавок, применяемый на последней стадии выпуска. В данной работе представлены результаты лабораторного моделирования выпуска металла и шлака с применением отсечных устройств названного типа (рис.).

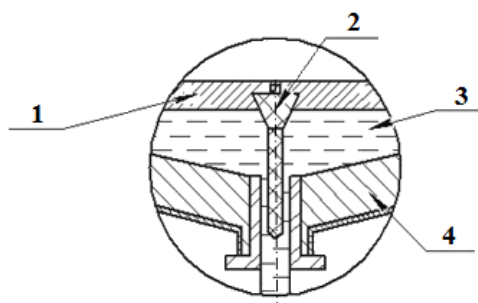


Рисунок - Способ отсечки шлака с использованием элементов поплавого типа:  
1 – шлак; 2 – отсечной элемент; 3 – металл; 4 – конвертер

Исследования проводили, на модели конвертора в масштабе 1/6 моделирующей жидкостью для сталей шлака являлись, соответственно водамасло. Для того что бы целенаправленно изменять вязкость жидкости моделирующей шлак в ней растворяли загуститель в различных количествах. В этой работе представлены результаты лабораторных исследований усовершенствованных конструкций огнеупорного тампона и поплавок. Отработка этой технологии в промышленных условиях сдерживается высокой температурой и агрессивностью металла и шлака. В таком случае действенным методом является лабораторное моделирование процесса. С учетом влияния вязкости шлака на баланс сил, воздействующих на поплавок, наилучшей его формой, выбранной в процессе исследования, оказалась имеющая специальные выступы на боковой поверхности. Эффективную отсечку первичного шлака обеспечил тампон со ступенчатым разрушением внутренней поверхности.

\*Руководитель – к.т.н, доцент кафедры МС Лебедев Е. Н.

## ФУРМА ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ГАРНІСАЖУ

Сидоров К.А., Лобунько М.І. (МЧМ-096) \*  
Донецький національний технічний університет

Проблеми підвищення стійкості футерівки кисневих конвертерів викликають постійний і підвищений інтерес дослідників України і за кордоном як одні з тих, що визначають рентабельність виробництва.

Як показує аналіз технічної літератури з різною мірою успіху цією проблемою займаються практично на усіх ефективно працюючих металургійних фірмах і підприємствах. При цьому інформація, що представляється, має, як правило, загальну і рекламну спрямованість і не несе однозначних рекомендацій.

Більшість з них розраховано на те, що гарнісаж відтворюється фурмою якою здійснюється продувка в конвертері. У даній роботі представлені данні лабораторних досліджень використання окремої фурми для відтворення гарнісажу. Ця фурма має три продувачних отвору. У виконаних дослідженнях кут нахилу отворів змінювали в широких межах. За допомогою метода холодного моделювання можливо отримати додаткові теоретичні і практичні дані по поточному гарячому ремонту футерівки конвертеру.

Застосування при моделюванні нанесення 10% розчину йоду на паперові картриджі, встановленні на футеровку конвертеру дає змогу реєструвати траєкторію одиничних крапель шлаку і відмічати момент їх об'єднання та стікання. Хімічна реакція йоду та поверхні поперу відтворює контрастну топографію шлакового гарнісажу.

Контроль потрапляння крапель моделі шлаку на робочу частину фурми дозволив відмітити, що зашлаковування фурми залежить від нахилу сопел. Встановлено, що збільшення куту нахилу зменшує зашлаковування фурми, а зменшення куту нахилу викликає зашлаковування фурми.

Дослідження площі гарнісажу також залежить від куту нахилу сопел. При інших рівних умовах встановлено, що збільшення куту нахилу та одночасно нанесення гарнісажу прискорює стікання шлаку зі стінок футеровки кисневого конвертеру.

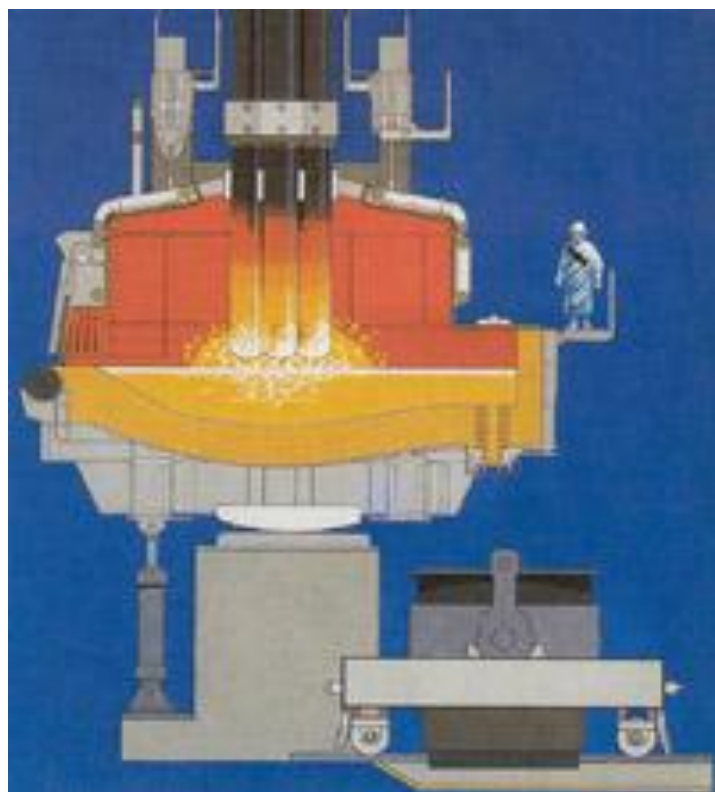
При однаковому часі продування найкращі результати нанесення гарнісажу досягаються тоді, коли вертикальна і горизонтальна складаючі тиску та струменю має відношення 1:2 – 1:3.

Дослідження технології нанесення гарнісажу шляхом роздмухування кінцевого конверторного шлаку поліпшує техніко – економічні показники технології за рахунок зниження витрат вогнетривів на 25 – 35 %.

---

\* Керівник - к.т.н., доцент кафедри МС Лебедєв Е.М

# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ



## РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ 22К ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ФЛЮСАМИ

Грицюк А.А. (МЧМм-126)<sup>3</sup>

Донецкий национальный технический университет

В данной работе исследовали рафинирование стали 22К при электрошлаковом переплаве (ЭШП). Сталь 22К (химический состав приведен в таблице 1) используется как материал элементов котла, исходя из назначения, вытекают следующие требования, предъявляемые к металлу: высокие механические характеристики — прочность, пластичность, вязкость, твердость; стабильность структуры и механических характеристик при работе с высокими нагрузками и высокой температурой в течение длительного времени; высокая сопротивляемость воздействию агрессивных сред.

Таблица 1 – Химический состав стали ГОСТ 5520-79

Химический состав стали, мас. %							
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,19	0,17-0,4	0,7-1,0	до 0,3	до 0,035	до 0,04	до 0,3	до 0,3

Плавки проводили на промышленной печи ЭШП У-578. Конструкция модернизированной печи У-578 предусматривает возможность выплавки слитков как в стационарный глуходонный кристаллизатор, так и в кристаллизаторах с вытяжкой. Электрическая часть и ее короткая сеть позволяют выплавлять слитки по монофилярной схеме (электрод – поддон) при включенном трансформаторе ТШП-10000/1 мощностью 724 кВА.

Во время плавления, работали на первой и второй ступенях напряжения, которые характеризуются напряжением 30-35 В и 40-45 В, соответственно. Силы тока в различных переплавах отличались.

Для переплава с использованием «активного» флюса агрегат У-578 оборудовали камерой и переплавляли электрод в защитной атмосфере аргона (при избыточном давлении 0,03 – 0,04 МПа). Данная конструкция является простой в реализации и позволяет получать более качественный металл, чем при классическом ЭШП. Благодаря камере, стали возможными переплавы высокорекреакционных металлов с использованием активных флюсов. В плавильном пространстве возможно создание разреженной или защитной атмосферы.

В ходе экспериментов использовались следующие флюсы:

- АНФ-1 (ТУ 14-1-165-72), плавка АЗШ;
- АНФ-6 (ТУ 14-1-165-72), плавки А0Ш, А1Ш, А2Ш, А5Ш;
- CaF<sub>2</sub> (ТУ 6-09-5335-88) + Са (металлический), плавка А4Ш.

<sup>3</sup> Руководитель – д.т.н., профессор кафедры «Электromеталлургия» Рябцев А.Д.

Условия проведенных экспериментов сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры проведенных экспериментов.

Электрод: диаметр (сторона квадрата)/ длина, мм	Флюс	Атмос- фера	Ток, кА	Напряже- ние, В	Диаметр/ Высота слитка (вместе с затравкой), мм
○ 81/2660	АНФ-6 (6,5 кг)	Воздух	4,3	43	200/360
○ 90/1794	АНФ-6 (7,5 кг)	Воздух	3,0	43	200/373
□ 84,5/2108	АНФ-6 (6,8 кг)	Воздух	3,5	43	200/371
□84,5/2105	АНФ-1 (6 кг)	Воздух	5,0-5,5	40	200/370
□84,5/2104	6кг CaF <sub>2</sub> + 220 г Ca	Аргон	4,5-5,0	40	200/365
□84,5/1910	АНФ-6 (6 кг)	Воздух	4,0	43	200/370

После экспериментальных плавок и проведения анализа, показано, что после ЭШП, наблюдается уменьшение дефектов ликвационного характера и полученный металл имеет плотную химически однородную структуру. Показано, что при переплаве под «активным» кальцийсодержащим флюсом системы CaF<sub>2</sub>+Ca наблюдается хорошее рафинирование от серы, фосфора, кислорода и азота.

Выводы.

1. Показано, что ЭШП является эффективным процессом для одновременного рафинирования металла и получения структурно- и химически однородных слитков из стали 22К.

2. Сравнительный анализ показал, что наиболее эффективным из опробованных при ЭШП стали 22К флюсов (АНФ-1П, АНФ-6 и CaF<sub>2</sub>+Ca ) является флюс системы CaF<sub>2</sub>+Ca, при переплаве под которым наблюдается наилучшее рафинирование металла от серы, фосфора, кислорода и азота и содержание неметаллических включений снижается в 2,5 раза по сравнению с исходным металлом.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВОГО ПОДОВОГО ЭЛЕКТРОДА ДСПТ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ.

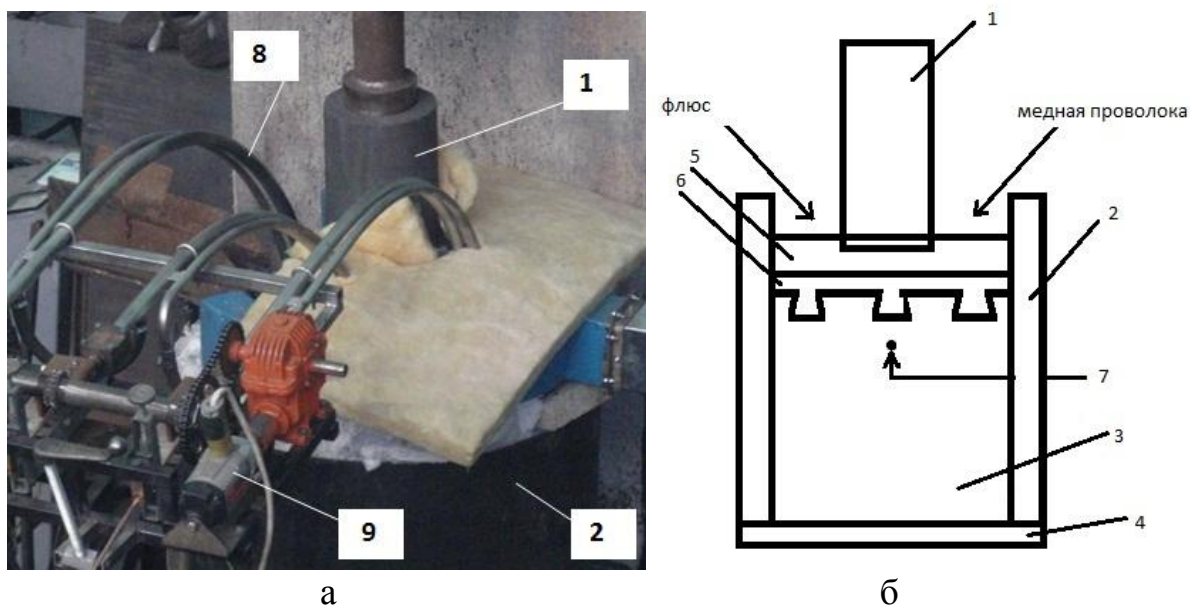
Поляк А.О.(МЧМ-12вм)\*

Донецкий национальный технический университет

В мировой практике существует несколько технологий изготовления подового электрода (ПЭ) для дуговых сталеплавильных печей постоянного тока. Но эти способы обладают такими недостатками как дороговизна и нестандартность оборудования, на котором ведутся процессы.

Учитывая эти недостатки, была разработана менее затратная в сравнении с традиционным электрошлаковым переплавом, технология электрошлаковой наплавки меди на стальную заготовку под слоем шлака в теплоизолированном графитовом тигле с использованием нерасходуемого графитированного электрода.

Процесс наплавки (рис.1(а),1(б)) осуществляют в графитовом тигле, установленном на токопроводящем поддоне, с использованием жидкого старта и последующим нагревом шлаковой ванны переменным током в цепи поддон – слиток - верхний графитированный электрод. Подачу меди в виде проволоки производят с определенной скоростью трайб-аппаратом.



1-графитированный электрод; 2- графитовый тигель; 3-стальная заготовка; 4- поддон; 5- шлаковая ванна; 6-наплавленный слой меди; 7- термопара; 8- направляющие для подачи медной проволоки; 9- трайб-аппарат.

Рисунок 1– Установка для изготовления подовых электродов

<sup>1</sup> Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ЭМСиФ Троянский А.А.

<sup>2</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМСиФ Тимошенко С.Н.

Наплавка производится в две стадии с получением переходного и основного слоев меди под различными шлаками с целью обеспечения качественной неокисленной поверхности контакта сталь-медь и минимизации растворения железа в меди, как условий работоспособности подового электрода.

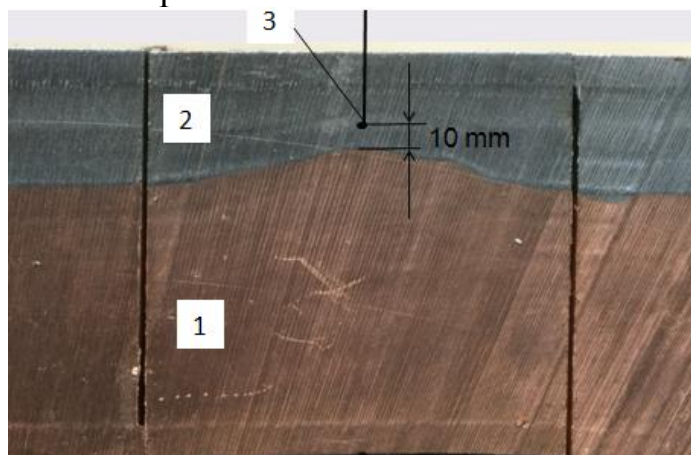
Технология электрошлаковой наплавки, в отличие от традиционного электрошлакового переплава, в значительной мере нивелирует связь между вводимой в шлаковую ванну электрической мощностью и скоростью наплавления слитка, и тем самым соответственно уменьшить глубину жидкометаллической ванны. Это позволило поддерживать температуру шлаковой ванны на уровне, достаточном для расплавления подаваемой медной шихты с перегревом расплава меди не более  $20^{\circ}\text{C}$ . Технология предусматривает, с целью минимизации диффузии железа в меди, управление затвердеванием посредством периодического «замораживания» наплаваемых слоев металла с получением качественной узкой переходной области.

При плавке целесообразно использование флюса состава:

1-й.  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - основа

2-й.  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ - основа

Выбранный флюс обеспечивает надежное удаление окислов со стальной заготовки и, как следствие, высокую адгезию меди к стали. В 30 мм от стыка обеспечено содержание железа в меди на уровне химического состава меди М2-М1 и коэффициент теплопроводности не ниже  $370 \text{ Вт}/(\text{м К})$ . Структура переходной зоны сталь-медь, представленная на рис. 2, свидетельствует о качественном контакте материалов.



1 – медная часть; 2 – стальная часть; 3 – термопара для контроля процесса наплавки

Рисунок 2– Структура переходной зоны ПЭ

Содержание железа в медной части ПЭ не превышает 0,1%, тогда как при традиционной технологии получения биметаллического стержневого ПЭ методом электрошлакового переплава эта величина достигает 4% и это очень важно так как содержание железа в медной части значительно ухудшает электропроводность и теплопроводность.



## ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ НИЗЬКОСОРТНОГО ГУБЧАТОГО ТИТАНУ В ХЛОРИДНИХ ТИТАНОВІСНИХ РОЗПЛАВАХ

Лукошников А.І., (МЕТ-10-2)<sup>(1)</sup>

Запорізька державна інженерна академія, каф. МКМ

Відомо, що процес електрохімічного рафінування низькосортного губчастого титана ТГ-Тв можна здійснювати шляхом використання вторинних окислювально-відновних реакцій в циркулюючих розплавах.

При електролізі з розчинним анодом такі реакції можуть протікати в глибоких шарах анодного матеріалу або на його поверхнях, що омиваються електролітом, але екранованих від постійного струму. У цій роботі визначені залежності швидкості корозії низькосортного губчастого титана ТГ-Тв трьох основних різновидів, що розрізняються по мірі розвитку загальної поверхні, переробляються методом електролітичного рафінування на дослідно-промисловому виробництві Інституту титану, м. Запоріжжя, від концентрації іонів титану в розплаві, їх середній валентності і температури хлоридних титановмісних розплавів. У кварцеву склянку поміщали електроліт, основою якого була еквімолярна суміш NaCl-KCl. Титан вводили у вигляді твердого плава NaCl-KCl-TiCl<sub>2</sub>-TiCl<sub>3</sub>, що містить 5...18 % розчиненого титану (Ti<sub>p</sub>). Після цього склянку з солями встановлювали в герметичну комірку, що складалася з реторти, виконаної із жаростійкої сталі, і титанової камери охолодження з отвором, закритим гумовою пробкою, через яку в процесі дослідів в електроліт вводили досліджувані зразки з губчастого титану і термопару.

Електролітичну комірку в процесі нагріву до 673 К відкачували вакуумним насосом ВН-461М, заповнювали аргоном до 0,1...0,2 атн і доводили температуру до потрібного значення 993...1123 К. Після півгодинної витримки електроліту при заданій температурі в розплав занурювали досліджуваний зразок і піддавали розчиненню протягом однієї години. Потім піднімали зразок в камеру і після його охолодження, виймали з комірки і відмивали від залишків електроліту в 1 % розчині соляної кислоти. Потім промивали в чистій воді і сушили в сушильній шафі (температуру сушіння підтримували при цьому не вище 353 К). Зразки зважували до і після досліду і визначали зменшення маси на одиницю зануреної в розплав поверхні, розрахованої на підставі розмірів сторін зразка, виміряних без урахування шорсткості поверхні. За цими даними розраховували швидкість корозії в г/(см<sup>2</sup>·год). З набутого значення віднімали швидкість корозії саморозчинення титану в чистому еквімолярному розплаві NaCl-KCl, яку визначали в паралельних дослідах. Різницю вказаних величин надалі приймали за істинну швидкість корозії.

Результати дослідів показали, що кінетика розчинення є дифузійною, швидкість розчинення усіх різновидів губчастого титану в 1,8...2 рази вище за швидкість корозії компактного титану.

---

<sup>(1)</sup> Керівник - д.т.н., проф., завідувач кафедри Металургії кольорових металів Червоний І.Ф.

## ПРОДУВКА СТАЛИ В КОВШЕ ЧЕРЕЗ L-ОБРАЗНУЮ ФУРМУ

Татенко В. В. (МЧММ-12в) \*

Донецкий национальный технический университет

В сталеплавильном производстве для перемешивания жидкого металла в ходе внепечной обработки широко применяют продувку инертным газом. Вдувание инертного газа в объем металла можно реализовать тремя вариантами: продувка через верхнюю погруженную фурму, продувка через донные пробки, сочетание верхней и донной продувки. Наиболее распространенный вариант — продувка через донные продувочные блоки. Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки. Проблемой донной продувки является: затекание металла в поры и как следствие выход из строя продувочного узла, ограничение по расходу газа, ограниченная стойкость продувочных блоков. Продувка инертным газом через погруженную фурму в настоящее время используется лишь при невозможности использовать донные продувочные устройства. Комбинированная продувка инертным газом практически не используется в промышленности. Этот вариант организации продувки может быть использован, когда необходимо избежать образования стационарных потоков в объеме жидкой стали.

Одним из способов повышения эффективности продувки через погруженную сверху фурму является использование L-образной фурмы. Особенностью L-образной фурмы является восходящий поток газа, который имеет особую форму и формирует специфическую барботажную зону из-за горизонтально направленной струи, истекающего из сопла фурмы газа (рис. 1, а).

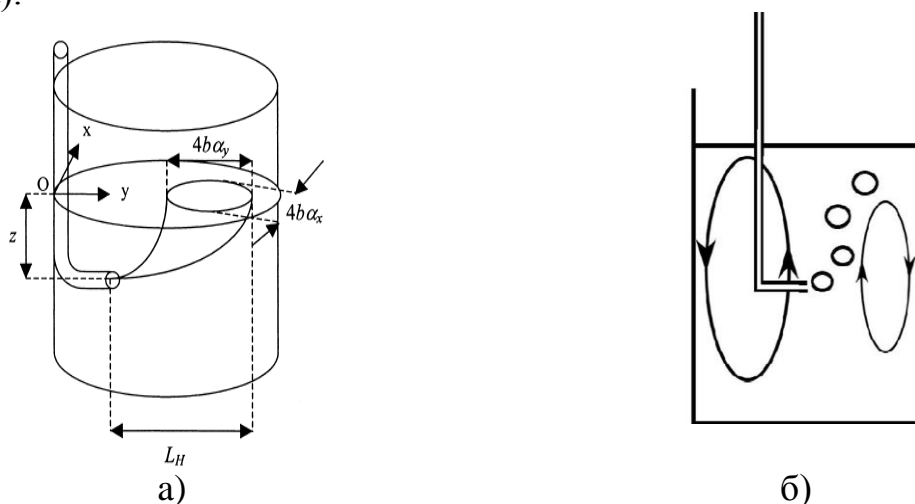


Рисунок 1 – Схемы барботажной зоны (а) и движения потоков жидкости в объеме металла (б) при продувке через L-образную фурму.

\*Руководитель - к.т.н., доцент кафедры Электromеталлургия Костецкий Ю. В.

Горизонтальная глубина проникновения струи газа зависит от диаметра сопла и может быть оценена по формуле:

$$L_H = 4,5dFr_m^{1/3} \quad (1)$$

где  $d$  - внутренний диаметр сопла фурмы, м;  
 $Fr_m$  – модифицированный критерий Фруда;

$$Fr_m = \rho_g Q_g^2 / (\rho_L g d^5) \quad (2)$$

где  $\rho_g, \rho_L$  плотность газа и жидкости соответственно, кг/м<sup>3</sup>

$Q_g$  – расход газа, м<sup>3</sup>/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>

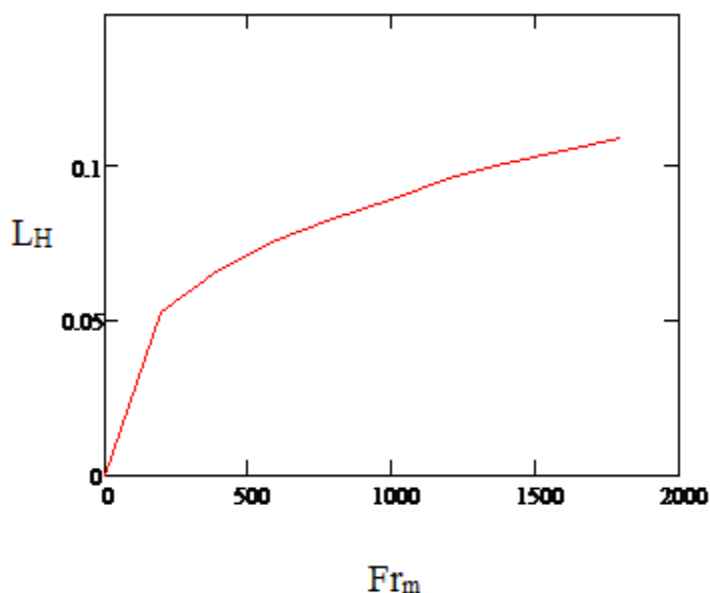


Рисунок 2 – График зависимости горизонтальной глубины проникновения струи газа от численного значения модифицированного критерия Фруда.

Меняя расход газа в процессе продувки можно изменять глубину проникновения струи в объем металла (рис. 2) и, соответственно, гибко менять условия перемешивания. Так же во время обработки, возможно, изменять высоту заглабления фурмы, что обеспечивает дополнительную возможность влияния на структуру потоков жидкого металла.

Холодное моделирование процесса продувки через L-образную фурму показало, что время перемешивания металла можно заметно сократить в сравнении с использованием обычной погруженной фурмы.

# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ МЕТАЛЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ

Однойко Ю.С. (МКМ12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Существующую классификацию металлов по плотности [Лёгкие цветные металлы и сплавы. Справочник. Т2. Тихонов Б.С., Под общей ред. Подвишенского С.Н., Теслицкой М.В. -М.: ЦНИИЭИЦМ, 1999.] нельзя считать строгой и исчерпывающей. В ней зафиксирован «мертвый» диапазон значений плотности ( $3,60 \dots 7,86 \text{т/м}^3$ ), в который попадают 21 металл, в том числе *Ba*, *Ti*, *Ra*, *Sn*, *V*, *Zr*, *Sb*, *Zn*, *Cr*, *Mn*. Кроме того, в группу легких вошли только 14 металлов из 70.

Цель работы – предложить альтернативную систему классификации металлов по плотности, в которой границы диапазонов будут выражены целым числом, будут отсутствовать «мертвые зоны», диапазоны будут иметь примерно равную протяженность, а классификационные группировки будут содержать примерно равное количество элементов. Количество группировок должно быть удобным для формирования благозвучного и приемлемого наименования, например ультралегкие, легкие, тяжелые и сверхтяжелые металлы.

Для достижения цели была сформулирована задача – определить оптимальные границы диапазонов значений плотности металлов, исключающие возможность размещения одного металла в двух группировках.

На первом этапе все металлы были ранжированы по плотности. На рис. 1 показана динамика значений плотности в ранжированном ряду металлов.

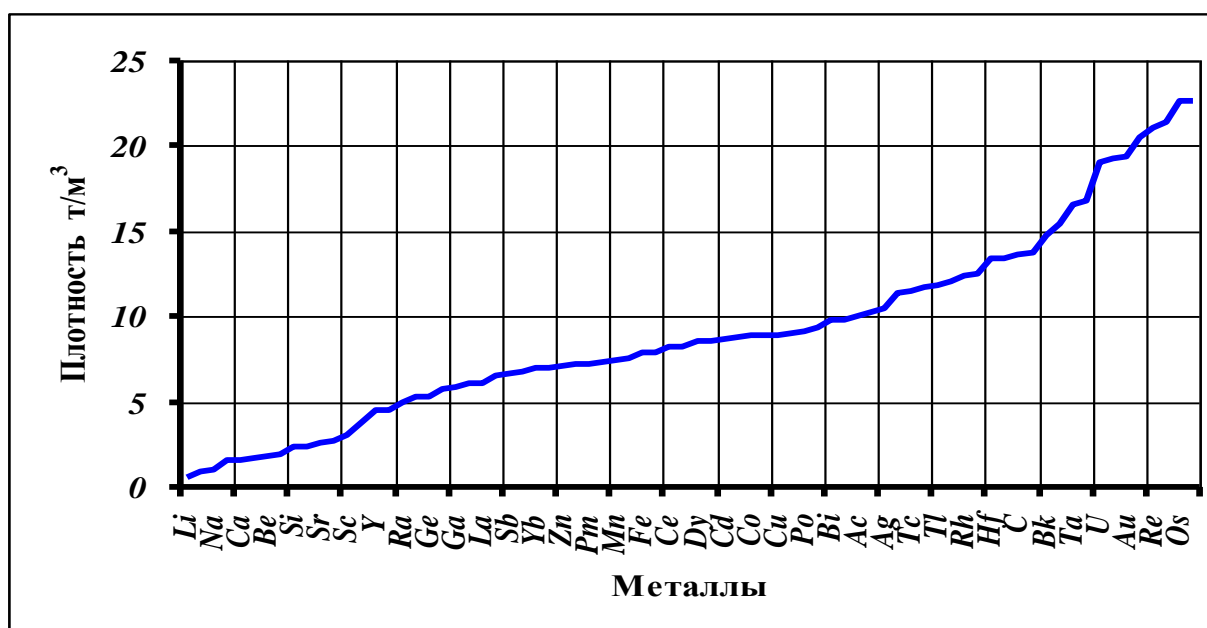


Рисунок 1 – Динамика плотности в ранжированном ряду металлов

\* Научный руководитель – доцент кафедры КМиКМ Корицкий Г.Г.

На втором этапе оценили характер изменения градиента плотности в сформированном ряду. На рис. 2 приведены значения относительных градиентов плотности. Наибольшие значения относительных градиентов рассматривали как потенциальные границы классификационных группировок, удовлетворяющие ранее сформулированным условиям.

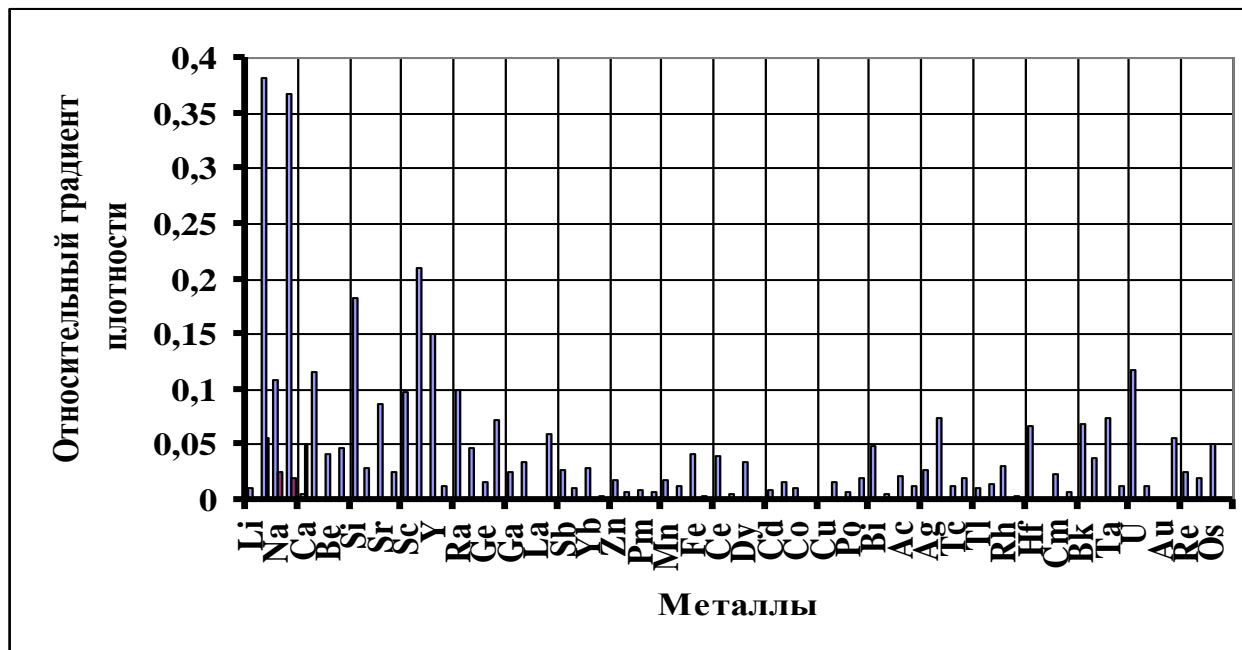


Рисунок 2 – Динамика значений относительных градиентов плотности в ранжированном ряду металлов

В результате анализа ряда вариантов размещения границ диапазонов значений плотности была предложена альтернативная система классификации металлов по плотности. Она представлена в виде таблицы.

Таблица - Альтернативная система классификации металлов по плотности

Наименование группировки	Диапазон значений, т/м <sup>3</sup>	Перечень металлов
Ультралегкие	Менее 5,0	Li, K, Na, Rb, Ca, Mg, Be, Cs, B, Si, Fr, Sr, Al, Sc, Ba, Y, Ti, Ra
Легкие	Св. 5,0 до 8,0	Eu, Ge, Sn, Ga, V, La, Zr, Sb, Pr, Yb, Nd, Zn, Cr, Pm, In, Mn, Sm, Fe, Gd
Тяжелые	Св. 8,0 до 13,0	Ce, Tb, Dy, Nb, Cd, Ho, Co, Ni, Cu, Er, Po, Tm, Bi, Lu, Ac, Mo, Ag, Pb, Tc, Th, Tl, Pd, Rh, Ru
Сверхтяжелые	Св. 13,0	Hf, Hg, Cm, Am, Bk, Pa, Ta, Pu, U, W, Au, Np, Re, Pt, Os, Ir

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДНЫХ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ КОКИЛЬНЫМ ЛИТЬЕМ ИЗ ОТХОДОВ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Шаламова О.В. (МКМ-12м)<sup>4</sup>

Донецкий национальный технический университет

Электрошлаковое кокильное литье является высокотехнологичным методом получения отливок из вторичного сырья, поэтому было принято решение исследовать отливки, полученные этим способом из отходов медной проводниковой продукции.

Для получения отливок электрошлаковым кокильным литьем в качестве шихты был использован кабельный лом меди марки М00; в качестве флюсов использовали промышленные флюсы марок АН-348А, АНФ-6, АНФ-1П, а также смесь флюса АНФ-1П и криолита ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ).

Были проведены ряд плавки с использованием этих флюсов. Химический состав полученных отливок, полученный с помощью спектрального атомно-электронного анализатора «Spectrolab» приведен в таблице.

Таблица – Химический состав отливок

Шихта, № плавки	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr	As	Sb	Bi	Ag	S	Cu
Медь марки М00 (ГОСТ 859- 2003)	0.001	0.001	0.001	0.0005	-	0.001	0.001	-	-	-	0.001	0.001	0.0005	0.002	0.001	99,96
Плавка 1 (АН-348А)	0,0029	<0,0030	0,0033	0,2451	2,235	2,14	0,0651	0,0479	0,0013	0,0106	0,0028	<0,0010	0,0005	0,0015	<0,0010	95,2
Плавка 2 (АНФ- 6+(АН-348А)	0.0002	0.0080	0.0002	0.0003	0.5091	0.2013	0.0007	0.0012	-	0.0026	0.0003	0.0002	0.0003	0.0009	0.0029	99.271
Плавка 3 (АНФ-1П+ $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )	<=0,0005	<=0,0005	<=0,0002	<=0,0001	<=0,0002	<=0,0007	<=0,0005	<=0,0001	<=0,0001	<=0,0005	<=0,0001	<=0,0002	<=0,0001	<=0,0015	<=0,0005	99,98

<sup>4</sup>Руководитель – доцент кафедры ЦМ и КМ Пасечник С.Ю.

На основе полученных данных был сделан вывод, что медь марки М00, в данных условиях можно получить только проводя плавку под флюсом М1.

Так как химический анализ не дал информации о содержании кислорода в отливках, была определена его массовая доля в полученных отливках металлографическим методом (ГОСТ 13938.13 – 93).

Сравнивая эталонный образец макрошлифа с наименьшей по ГОСТу массовой долей кислорода (материал – деформируемая медь, массовая доля кислорода – 0,01%, освещение – рассеянный свет), (рис.1), с макрошлифом полученным из образца плавки 3 (рис.2) видно, что у последнего количество оксидных включений на порядок ниже, т. е. в исследуемом образце массовая доля кислорода менее 0,01%.

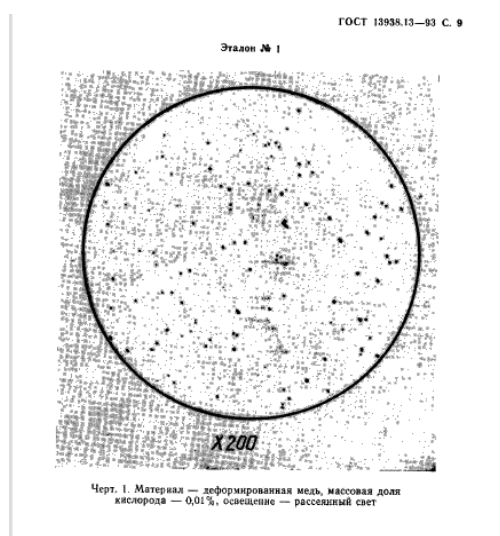


Рисунок 1 – Эталон №1

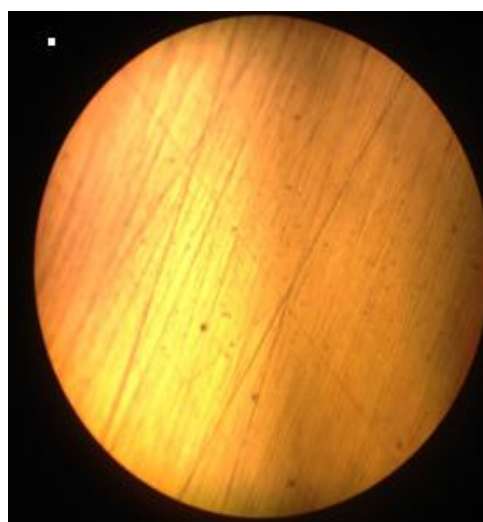


Рисунок 2 - Образец (×200)

Измерение твердости образцов полученных электрошлаковым кокильным литьем определяли методом Бринелля, нагрузка 250кг., диаметр шарика 5 мм. – диаметр полученного отпечатка 2 мм. Значение полученной твердости была рассчитана по формуле:

$$HB = \frac{P}{F_{отп}} = \frac{250}{3,3} = 75,8 \text{ HB}$$

где  $P$  – нагрузка, кг. ;  $F_{отп.}$  – площадь отпечатка, мм.

Получили твердость равную 75,8 HB. Этот показатель соответствует деформированной меди.

Выводы: методом электрошлакового кокильного литья под шлаком, состоящим из смеси флюса АНФ-1П и криолита ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) возможно получать медные отливки по качеству не уступающие исходному сырью.



## ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНЕВЫХ ШЛАКОВ

Зверева Я. Ю. (МКМ-09)\*.

Донецкий национальный технический университет

Плавку при пирометаллургическом переделе лома и отходов алюминия ведут с добавками покровно-рафинирующих и модифицирующих флюсов. Шлаковая фаза, образующаяся на поверхности расплава, состоит из смеси оксидов, хлоридов и нитридов основных компонентов сплава, кремнеземных составляющих шихты, компонентов флюсов, материалов футеровочной массы и металлической составляющей (до 50% объема шлака).

На протяжении многих лет стоит задача по увеличению извлечения металла из шлака. По законам термодинамики окисление металлического алюминия происходит постоянно, пока кислород присутствует около открытой алюминиевой поверхности. При этом алюминий сгорает по реакции (1) и в результате чего в оксид переходит порядка 1% алюминия в минуту.



Такая ситуация требует разработки полного комплекса мероприятий начиная от снижения до минимума образования шлака в печи, до максимального извлечения из шлака алюминия. При этом наибольший эффект достигается, если извлечение металла будет происходить в первые 5÷10 минут после удаления шлака из печи.

Сегодня известно много способов по переработке алюминиевых шлаков, но большинство это “холодные способы”, которые выполняют после остывания и передачи шлака на специальные предприятия (цеха). При этом используются традиционные схемы обогащения: дробление, классификация, сепарация. Известны также центробежная обработка шлаков фирмы “Рейнольдс”, а также использование центрифуг погруженного типа. Однако эти разработки не нашли широкого применения из-за сложности технологического оборудования.

Металлургическая переработка подготовленного лома имеет значительное количество экологических проблем. При этом чем дешевле шихта, т.е. чем меньше затраты на её подготовку, тем дороже металлургический передел. Следовательно, затраты на подготовку шихты, в конечном счёте, значительно снижает как технологические, так и экологические проблемы в последующих пирометаллургических операциях.

Разработаны современная технология и оборудования, которые позволяют проводить весь комплекс шихтоподготовительных и металлургических операций при переработке лома и отходов, содержащих алюминий. Предложенная технология и комплекс оборудования снизили содержание алюминия в шлаке с 45...50% до 2...3%, что позволяет перерабатывать алюминиевый лом и отходы с максимальным извлечением металла при минимальном экологическом воздействии на окружающую среду.

---

\* Научный руководитель – к.т.н., с.н.с., профессор кафедры ЦМиКМ Бредихин В.Н.

## ДИСЛОКАЦИИ – ЖЕЛАННЫЕ И ГОНИМЫЕ

Цепкова Л.Ю. (МКМ 11)\*

Донецкий национальный технический университет

Представления о дислокациях с большим трудом пробивали себе дорогу в физике твердого тела и прочно утвердились, пожалуй, лишь в 50 годах прошлого века, когда самые упорные противники уже не могли отрицать их существование (тогда они начали отрицать важность их роли). Поэтому вопрос о том, нужны они или не нужны, приобрел совсем иное звучание. Если раньше стоял вопрос «нужны ли физике металлов?», то сейчас – «нужны ли металлу?».

С одной стороны, дислокации - это носители пластичности, а пластичность металлу необходима. С другой - дислокации несут ответственность за низкое сопротивление металла пластической деформации, за низкую прочность на сдвиг, а прочность металла тоже является его главной привилегией. Поскольку дислокации изменяют и физические свойства металла, влияют на процессы разнообразных внутренних превращений в сплавах, на параметры диффузии в твердом состоянии, здесь есть третья сторона, четвертая и т.д.

Есть много разных случаев, когда дислокации желанны и когда, наоборот, нужно стараться от них избавиться. В частности, искажая атомное строение металла, они влияют на его электрические, магнитные и другие физические свойства. Увеличение плотности дислокаций приводит к ухудшению некоторых из этих свойств и к улучшению других. Чтобы уменьшить внутреннее трение, обусловленное обратным движением дислокаций, нужно уменьшить их число или в максимальной степени ограничить их подвижность. Наоборот, когда требуется высокое деформирование, когда нужно добиться быстрого затухания колебаний, мы стремимся к увеличению числа дислокаций и их подвижности.

Зная о свойствах дислокаций, мы можем намного улучшить прочность металлов. Для этого надо максимально улучшить состояния поверхности материала, поскольку на поверхности всегда есть неровности, царапины и др. дефекты, вызывающие концентрацию напряжений. Концентрация напряжений непременно ведет к разрыву. В металлических кристаллах дислокации подвижны, и в этом причина высокой пластичности металлов. Движение дислокации можно затруднить, но металл все равно не будет таким хрупким, как алмаз или соль, потому что полностью заблокировать дислокации не удастся.

Напрашивается вывод: нужно избавиться от дислокаций. Как это сделать? Здесь на помощь человеку пришла сама природа. Именно в естественных условиях образовались очень тонкие кристаллики различных веществ. Их называли усами. Выяснилось, что металлические усы способны выдержать небывалую по величине упругую деформацию. Сейчас усы выращивают в лабораториях. В настоящее время получены усы многих металлов, металлоидов и различных соединений, выяснена причина их необычайно высокой прочности и уже начато их практическое использование в технике.

---

\*Научный руководитель – к.т.н., профессор кафедры ЦМиКМ Бредихин В.Н.

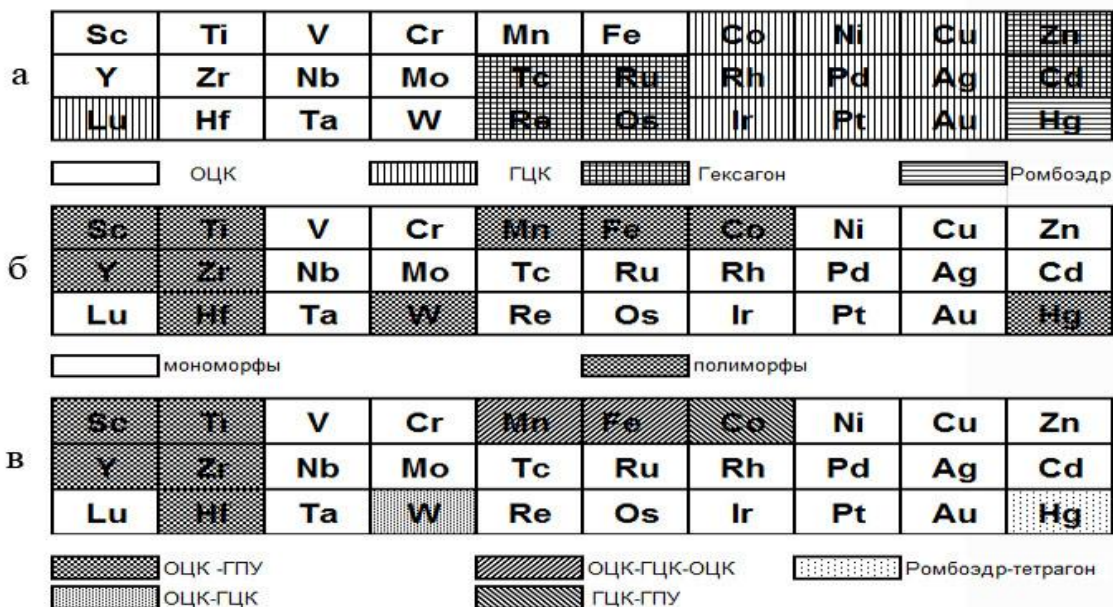
# ПРЕВРАЩЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОВ

Ерофеев Н.Н. (МКМ-09) \*

Донецкий национальный технический университет

Из широко известных агрегатных состояний вещества наиболее технологичным и работоспособным является твердое. Его характеризует наличие жесткой пространственной связи между корпускулами, способствующей созданию кристаллической решетки. Известно 7 типов кристаллических решеток - триклинная, моноклинная, орторомбическая, тетрагональная, тригональная, гексагональная и кубическая.

Проведен анализ кристаллических систем химических элементов. Самыми распространенными из них являются кубическая (43%), гексагональная (34%) и орторомбическая (10%). И только триклинная система не зафиксирована ни у одного из них. Более детально проанализирована информация о формировании кристаллов и полиморфизме d-элементов IV-VI периодов. Результаты представлены на рисунке.



а - система первичной кристаллизации; б - склонность к полиморфизму;  
в - схемы полиморфных превращений.

Рисунок – Схема размещения типов кристаллических систем d-элементов IV...VI периодов в поле Таблицы Менделеева:

Таким образом, d-элементы IV- VI периодов предпочитают кристаллизоваться в кубической, гексагональной и ромбоэдрической кристаллических системах; у элементов с ромбоэдрической, ОЦК и ГЦК первичной решеткой наблюдается склонность к полиморфизму; наиболее сложной схемой полиморфных преобразований обладают Mn и Fe.

\* Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЦМиКМ Корицкий Г.Г.

# ГАММА-НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗАТОР СОСТАВА СЫРЬЯ

Крупка Е.Ю. (МКМ – 09)\*

Донецкий национальный технический университет

Активационный анализ относится к основным ядерно - физическим методам обнаружения и определения содержания элементов в различных материалах и объектах. Метод базируется на структуре атомных ядер, сечениях ядерных реакций, схемах и вероятностях распада радионуклидов, энергиях излучения. Широкое распространение активационный анализ получил благодаря низкому пределу обнаружения элементов ( $10^{-12} \dots 10^{-13}$  г), экспрессности и воспроизводимости анализа, возможности неразрушающего одновременного определения в пробе более 20 элементов. Применение специальных методик и аппаратурных приемов позволяет определять содержание металлов в исследуемом сырье, устанавливать также химическую форму элементов.

Для определения состава сырья в цветной и чёрной металлургии все чаще используют активационные методы анализа. В настоящее время имеется целый ряд разновидностей этого метода. Однако общим для всех является активация вещества нейтронами, гамма - квантами или заряженными частицами (PGNAA). Принцип метода заключается в бомбардировке пробы тепловыми нейтронами и измерения гамма-лучей излучаемых возбужденными ядрами элементов исследуемого материала. Метод PGNAA обладает чувствительностью и точностью, которые намного превосходит аналоги и позволяет одновременное измерение более 20 элементов. В приборе используются портативные изотопные источники нейтронов. Благодаря хорошему проникновению, этот метод обладает очень важными свойствами – размер кусков и однородность исследуемого материала не влияют на точность анализа, в отличие от рентгеновского или лазерного метода. Так, например, в приборе, установленном на аглофабрике фирмы ThyssenKrupp (Германия) в качестве источника использован  $^{252}\text{Cf}$  (масса 78 мг). Он располагался под конвейерной лентой. Графитовая пластина между источником и лентой преобразовывает быстрые нейтроны в тепловые. Тепловые нейтроны взаимодействуют с ядрами анализируемого материала аглошихты на конвейерной ленте, при этом, ядро каждого из элементов, входящих в состав шихты, временно переходит в возбужденное состояние. При возвращении в стабильное состояние ядро каждого анализируемого элемента излучает гамма-лучи. Эти излучения фиксируются четырьмя натрий - иодидными детекторами. Точность определения в потоке методом PGNAA значительно выше лабораторного метода, поскольку исключаются ошибки отбора проб. Таким образом, на базе PGNAA возможно построение автоматизированной системы по управлению химическим составом шихты.

---

\* Научный руководитель - к.т.н., профессор кафедры КМиКМ Бредихин В.Н

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОТЕРИ МЕТАЛЛА СО ШЛАКАМИ МЕТАЛЛУРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Кушнир В. С. (МКМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

В данной работе исследовали причины потерь металлов со шлаками шахтной и конвертерной плавки.

Экспериментальные плавки проводили в печи Таммана в атмосфере аргона в корундовых тиглях. Варьировали время выдержки, температуру процесса и состав шихты.

Фазовый состав шлака определяли с помощью оптического микроскопа при различных увеличениях.

Микроскопические исследования промышленных шлаков показали, что растворимая в шлаковых расплавах медь выделяется при охлаждении в виде капельно-жидкой металлической фазы в следующих разновидностях:

1) В шлаках конца первого периода конвертирования медных, свинцово-медных и никелево-медных штейнов, если эти шлаки сливаются с белого матта.

2) В отвальных шлаках свинцового производства, получаемых после фьюмингования шлаков шахтной свинцовой плавки. В этих шлаках металлическая медь появляется непременно, если до или после фьюмингования шлаковый расплав подвергают окислительной продувке с образованием на подине фьюминг-печи белого матта.

Из анализа структуры шлаков следует, что в большинстве случаев медь начинает выделяться из конверторных шлаков после кристаллизации магнетита. Выделения ее оседают при отстаивании охлаждающего в ковше шлака, но накапливаются на сравнительно высоком уровне от дна ковша. Кристаллы же магнетита успевают осесть ниже, поскольку выделяется из расплава первыми. Еще ниже находится зона шлака, обогащенного включениями белого матта.

С увеличением времени охлаждения шлака диаметр капельных выделений меди возрастает от 1,5 – 2,0 микрон в ложечных пробах шлака до 45-50 микрон в шлаках, охлажденных в ковше. Это подтверждает то, что медь выделяется из охлаждающегося шлака. Медь не входит в структуру оксидных и силикатных минералов шлаков.

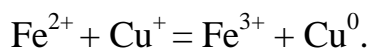
С увеличением времени охлаждения шлака диаметр капельных выделений меди возрастает от 1,5-2,0 микрон в ложечных пробах шлака до 45-50 микрон в шлаках, охлажденных в ковше. Это еще раз подтверждает то, что медь выделяется из охлаждающегося шлака.

Как из конвертерных шлаков, так и из шлаков фьюмингования очень небольшая часть растворимой меди (не более 5%) иногда выделяется при охлаждении в виде сульфидной капельно-жидкой фазы.

---

\* Научный руководитель - д.т.н., профессор Маняк Н.А.

Согласно представлениям о структуре жидких шлаков, железистые шлаки, к числу которых относятся конвертерные и их разновидности, шлаки фьюмингования обладают наиболее сильно выраженными полупроводниковыми свойствами. В их расплавах постоянно находится некоторое количество свободных электронов. Это создает возможность перехода из штейна в шлак катионов меди до предела, отвечающего условиям равновесия системы. Одновременно в шлак переходит и сера. Чем выше степень окисления шлака, т.е. отношение в нем  $Fe^{3+}: Fe^{2+}$ , тем больше перейдет в шлак меди и меньше серы. Конвертерные шлаки, сливаемые с белого матта, содержат до 3% меди и 0,20-0,25% серы. Шлаки фьюмингования, под которыми после окислительной продувки образуется белый матт, содержат до 1,25% меди и 0,18-0,20% серы. В конвертерных шлаках отношение Cu:S оказывается особенно высоким (например, против стехиометрии  $Cu_2S$ ), и растворимая в них медь при охлаждении, в основном, выделяется в виде металла, предположительно по следующей реакции:



Отношение Cu:S в шлаке никогда не отвечает отношению их в нижележащем штейне.

Основной особенностью капельных сульфидных выделений в шлаках является резкое их отличие от штейна по составу. Это проявляется не только в неодинаковом количественном отношении одних и тех же минералов, выкристаллизовавшихся из сульфидных выделений и из штейна, но и в резком различии их фазового состава. Например, установлено, что количественно преобладающим минералом штейнового включения является борнит, а в сульфидных выделениях этот минерал находится в подчиненном количестве по отношению к пирротину. В отвальных шлаках от выплавки свинцово-медных штейнов и в конвертерных шлаках от переработки этих штейнов часто наблюдаются капельные выделения, которых основной объем (70-80%) занимает либо сфалерит, либо галенит, хотя в штейнах всегда количественно преобладает борнит и среднее содержание меди составляет 45%.

Уместно заметить, что не только в отвальных шлаках, но и в шлаках шахтной свинцовой плавке часть сульфида цинка выделяется из шлакового расплава в виде дендритов на ранней стадии кристаллизации.

Следует заметить, что выделения олова практически полностью находятся между кристаллами силикатов в стекле, в виде которого затвердевает остаточный расплав после завершения роста силикатных кристаллов. Следовательно, рост этих кристаллов в какой то мере опережает начало процесса выделения из шлаков растворимого олова.

Таким образом, для снижения общих потерь меди со шлаками при плавке тяжелых цветных металлов их необходимо перед передачей в отвал подвергать дополнительной обработке с целью извлечения включений меди или использовать при выплавке меди или ее сплавов.

# РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПРИБЫЛЕЙ ОТЛИВОК ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБОГРЕВА

Бура Ю.Н. (ЛХ-08)\*

Национальная Металлургическая Академия Украины

Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме предполагает использование различных конструкций устройств, режимов осуществления и применима для разнообразных литейных сплавов.

При литье крупных отливок или слитков с высокой продолжительностью затвердевания особенно необходимо максимально полно использовать резерв перегрева расплава в прибыльной зоне. Конструкция холодильника, при этом, должна не только обеспечивать герметизацию системы отливка-устройство для ввода газа, но и утепление максимально возможного объема металла в прибыли. Этим условиям удовлетворяет холодильник в виде металлического корпуса со вставкой из огнеупорного материала. Он может действовать по принципу плавающей прибыльной вставки, в том числе при осуществлении комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева металла в прибыльной зоне. Функции прибыли будет выполнять только тот объем металла, который находится внутри данной вставки под слоем утепляющей засыпки и расплавленного электропроводного флюса.

Целью работы является разработка расчетной схемы построения номограмм для определения высоты прибыли отливки при осуществлении комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева.

На рисунках 1 – 2 представлены номограммы для определения высоты прибыли ( $H_i$ ) по ее диаметру ( $D_i$ ) и массе ( $P_0$ ) отливок цилиндрической формы из стали 35Л при различном соотношении диаметров отливки и прибыли ( $k$ ).

---

\*Руководители – д.т.н., профессор кафедры ЛВ Селиверстов В.Ю.; к.т.н., доцент кафедры ЛВ Доценко Ю.В.

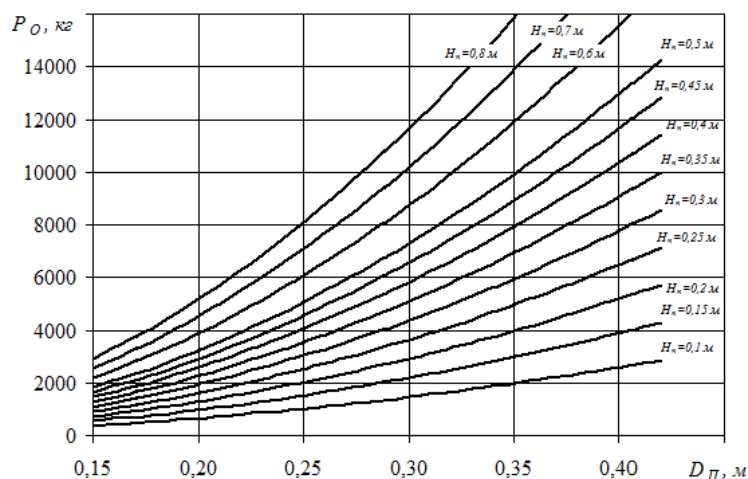


Рисунок 1 - Номограмма для определения высоты прибыли ( $H_i$ ) по ее диаметру ( $D_i$ ) и массе ( $P_0$ ) отливки цилиндрической формы из стали 35Л при соотношении диаметров отливки и прибыли  $k = 0,6$

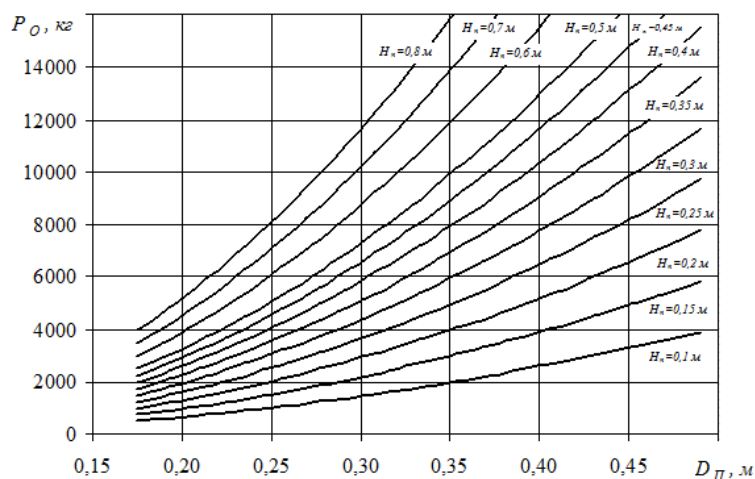


Рисунок 2 - Номограмма для определения высоты прибыли ( $H_i$ ) по ее диаметру ( $D_i$ ) и массе ( $P_0$ ) отливки цилиндрической формы из стали 35Л при соотношении диаметров отливки и прибыли  $k = 0,7$

Построенные номограммы для определения высоты прибыли по ее диаметру и массе отливок цилиндрической формы из сталей 35Л, затвердевающей с использованием комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева металла в прибыли дают возможность определения технологических параметров процесса для конкретных условий производства отливок или слитков.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ МЕДИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МПНЛЗ

Сидоров К.А. (МЧМ-096)<sup>5</sup>,  
Донецкий национальный технический университет

Медь используется во многих сферах нашей жизни: строительство, электроэнергетика, электроника, машиностроение и быт. И потребность в меди с каждым годом растёт. Уже в ближайшие 5 лет мировое производство меди должно увеличиться на 8-10%. В связи с этим, необходимо улучшать количество и качество выпускаемой меди.

Главной проблемой разливки рафинированной меди является необходимое условие: затвердевание медной заготовки непосредственно в самом кристаллизаторе МПНЛЗ. Это обусловлено тем, что при выходе заготовки с ещё жидкой лункой из кристаллизатора медная заготовка будет сильно деформироваться.

Для более удобного исследования поведения меди в кристаллизаторе была создана математическая модель, позволяющая исследовать кинетику затвердевания и динамику распределения температур в медной заготовке. Ряд экспериментов, результаты которых совпали с результатами, полученными на реальных машинах, подтвердил достаточную точность работы данной модели. Ниже приведён рисунок (рисунок) с результатами, полученными при использовании данной математической модели. Расчёты кинетики затвердевания были проведены для медного плоского слитка.



Рисунок – Кинетика затвердевания плоского слитка

В результате данного моделирования мы видим характер кристаллизации жидкой лунки медной заготовки. Из рисунка следует, что при тех условиях, которые были заданы, жидкая медь полностью кристаллизуется в примерно 30-40 мм перед выходом из кристаллизатора.

В дальнейшем планируется ряд экспериментов для выявления факторов, которые позволят увеличить скорость разливки.

<sup>5</sup> Руководитель – к.т.н., доц. кафедры МС Штепан Е.В.

# МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛИ 20ГЛ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМИ КАРБОНАТАМИ

Карпов В.В. (ЛВ-10)\*

Криворожский национальный университет

Для изготовления ответственных деталей железнодорожного транспорта рекомендуется применение БСК-2 для повышения механических и эксплуатационных свойств стали путем модифицирования, рафинирования и микролегирования.

Для модифицирования стали 20ГЛ используют Барий-Стронциевый Карбонат с повышенным содержанием бария и стронция (БСК-2) крупной фракции (20-100 мм).

Таблица – Содержание активных элементов в модификаторе БСК-2

BaO	CaO	SrO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
16.0	21.5	5.5	0.9	3.0	1.5	4.0	0.2	2.9	0.9

Модификатор содержит активные элементы: барий и стронций, которые могут работать как в металле, так и в шлаке, оказывая при этом модифицирующее, микролигирующее и рафинирующее действие. БСК-2 благоприятно воздействует на сульфиды, фосфиды и неметаллические включения. Он измельчает их, переводит в глобулярную форму и частично убирает их с границы зерна, переводя их внутрь зерна. После термической обработки на отливках из стали, выплавленной с применением модификатора БСК-2 по отношению к отливкам из стали, выплавленной без применения БСК-2 заметно повышались показатели ударной вязкости при неизменных прочностных характеристиках.

Применение БСК-2 позволяет удалять от 15% до 30% серы в окончательной пробе по отношению к содержанию серы в металле по расплаву. Барий и стронций являются глобуляризаторами сульфидов, фосфидов и неметаллических включений. В свою очередь глобуляризация вредных примесей повышает пластичность и ударную вязкость металла, повышая зернограничное упрочнение. Очищая сталь от вредных примесей, БСК-2 снижает анизотропию механических характеристик стали, а также улучшает литейные свойства стали, способствует улучшению жидкотекучести, обеспечивает высокие технологические и механические свойства стали.

Сочетаясь с доводкой плавов и особенно с их конечным раскислением алюминием, модифицирование в значительной степени определяет характер кристаллизации, степень глобулярности вредных примесей, благоприятную микроструктуру и комплекс других свойств стали. В настоящее время ведутся работы по оптимизации способа ввода модификатора БСК-2 в жидкий металл.

\*Руководитель – старший преподаватель каф. металлургических технологий Карпов В.В.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕСЧАНО-БЕНТОНИТОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Иванютина Н.Е. (МЛЦ-08)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Несмотря на появление ряда новых технологических процессов в литейном производстве, одним из эффективных и распространенных способов производства чугунных отливок массой до 100 кг и толщиной стенок до 40 мм остается литье в разовые песчано-глинистые формы (ПГФ).

Современное развитие технологии литья в сырые формы имеет следующие тенденции: повышение характеристик прочности формовочных смесей, снижение уровня влажности в смесях, применение интенсивных методов уплотнения.

Для решения вышесказанных задач, а также с целью расширения минерально-сырьевой базы малоиспользуемых материалов украинских месторождений, в работе был проведен анализ характеристик и свойств некоторых формовочных материалов (песков и бентонита) и каменноугольных порошков. Сделаны выводы о перспективности использования исследуемых материалов в составах формовочных смесей. Разработаны составы ПГФ на их основе, определены их физико-механические и технологические свойства.

Для исследований в работе были выбраны кварцевые пески вольногорского и днепровского месторождений -  $2\text{K}_2\text{O}_1\text{O}_2\text{O}_2$  і  $1\text{K}_1\text{O}_2\text{O}_3$  соответственно (в количестве 95%), активированный бентонит положского месторождения –  $\text{П}_2\text{T}_2$  (5%) и павлоградский каменноугольный порошок марки (КП) «Г».

По результатам проведенных экспериментов, установлено, что между влажностью смеси и ее уплотнением есть прямая зависимость: с увеличением количества влаги, уплотняемость смеси увеличивается. Для смеси с днепровским песком наблюдаются меньшие значения уплотняемости (37-56 %), чем для смесей на основе вольногорского песка (40-64%). Это объясняется большей удельной поверхностью днепровского песка  $3740 \text{ см}^2/\text{г}$ , против  $3620 \text{ см}^2/\text{г}$  – для вольногорского, и на смачивание поверхности днепровского песка видимо необходимо несколько большее количество воды.

Формуемость и текучесть находятся в обратнопропорциональной зависимости от содержания влаги в смеси: с повышением влаги, формуемость и текучесть смеси снижается от 72 до 18% и от 58 до 15% соответственно.

При увеличении содержания влаги в разработанных ПБС, прочность на сжатие во влажном состоянии вначале увеличивается до 0,096 МПа, затем снижается до 0,04 МПа, Прочность смесей на основе днепровского песка меньше (0,084...0,086 МПа), чем на основе вольногорского (0,093...0,096 МПа).

---

\*Руководитель – ас. кафедры литейного производства Осипенко И.А.

Это объясняется большим содержанием в вольногорском песке глинистой составляющей (0,39% и 0,18% соответственно). Оптимальное содержание влаги ПБС в случае применения положского бентонита и исследуемых наполнителей для обеспечения максимальных характеристик прочности составляет 2,3...2,5%.

Поверхностная прочность, оцениваемая по величине осыпаемости, достигает необходимо низких значений 0,03...0,05% при 4% влаги.

Проведенные исследования разработанных ПБС с различными украинскими кварцевыми песками позволяют констатировать следующее: в качестве наполнителей для ПБС могут применяться как днепропровский, так и вольногорский песок, а в качестве связующего материала для ПБС успешно может применяться положский бентонит, который обеспечивает требуемые прочностные характеристики при сравнительно небольшом количестве (5%).

В качестве противопригарной добавки, в работе также исследовалось влияние на технологические свойства разработанных ПБС каменноугольного порошка марки «Г».

Для исследования влияния их на свойства ПБС изготавливали смеси постоянного состава: 5мас.ч. положского бентонита, КП (2...8), днепропровский песок-остальное, влажность 2,8%.

С увеличением содержания КП, прочность на сжатие исследуемых ПБС повышается незначительно (с 0,088МПа при нулевом содержании КП - до 0,095МПа при 8мас.ч. КП). Такой эффект повышения прочности ПБС объясняется тем, что отдельные частички бентонитового связующего разделены не только слоем связанной воды, но и частицами КП пылеподобных фракций, которые способствуют интенсификации процесса диспергирования частиц бентонита при перемешивании смеси.

Исследования показали, что с увеличением содержания КП, осыпаемость смеси повышается, что обусловлено большими сорбционными свойствами и водопоглощающей способностью КП. Было установлено, что водопоглощающая способность КП значительно больше, чем для днепропровского песка (31,8% и 2,7% соответственно). Дисбаланс воды в смеси, определяемый присутствием в ее составе КП и обусловил снижение поверхностной прочности смеси. При содержании КП в количестве 2 мас.ч. значительно повышается формуемость (с 16,1% для исходной смеси – до 54,5%) и текучесть (с 13,3% до 35,4%), а уплотняемость снижается (с 60 до 48%).

Таким образом, установлено, что КП существенно влияет на механические свойства сырых ПБС и в смесях его должно быть столько, чтобы обеспечить достаточное количество пироуглерода (0,4...0,5%) для получения необходимой чистоты поверхности. Установлено, что комплекс физико-механических свойств смесей с павлоградским каменноугольным концентратом «Г», за исключением осыпаемости, отвечает требованиям, предъявляемым к сырым ПБС.

В дальнейшем планируется продолжить исследования по основным направлениям улучшения и стабилизации свойств сырых ПБС для повышения чистоты поверхности, получаемых в них отливок.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ОБЪЕМ РЕАКТОРА СЕПАРАЦИИ ТИТАНОВОЙ ГУБКИ

Сафонов А.С., (МК-12-1 мз)\*

Запорожская государственная инженерная академия

Титановую губку подвергают вакуумной сепарации с целью удаление Mg и MgCl<sub>2</sub>. При этом давление в аппарате сепарации поддерживают в диапазоне (1...5)·10<sup>-3</sup> мм рт. ст. Нарушение герметичности (натекание в аппарат сепарации) может приводить к поступлению воздуха из атмосферы помещения в нагретый до температуры 1150 °С реактор. В этом случае кислород и азот воздуха могут образовывать окислы и нитриды титана, что резко снижает качество титановой губки (см. рис.).

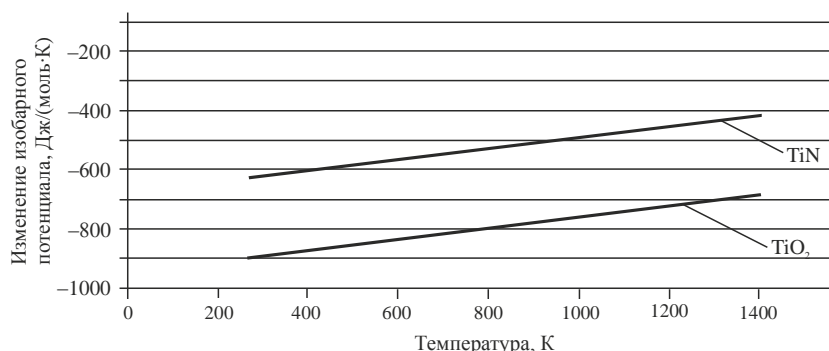


Рисунок – Зависимость изменения изобарного потенциала от температуры при образовании нитрида и двуокиси титана

Рассматривая газовую среду, окружающую вакуумную установку, как большой резервуар со сжатым газом, можно при постоянных во времени параметрах состояния газа оценить натекание вакуумной системы.

$$A = U \cdot p_{ат} - p_c = Q_n / \tau = \tilde{p} \cdot V, \text{ или после преобразования } Q_n = U \cdot p_{ат} \cdot \tau = V \cdot dp,$$

где A - поток воздуха, натекающего в систему через неплотности, м<sup>3</sup>·Па/с; U - общая проводимость всех течей системы, м<sup>3</sup>/с; P<sub>ат</sub> - атмосферное (внешнее) давление, Па; P<sub>с</sub> - остаточное рабочее давление в системе, Па; Q<sub>н</sub> - количество натекающего воздуха, м<sup>3</sup>·Па; τ - длительность натекания, с;  $\tilde{p}$  - скорость повышения давления в системе, отключенной от вакуум-насоса, Па/с; V - объем вакуумной системы, м<sup>3</sup>.

На практике такая оценка необходима при создании вакуумной системы, а также периодически в процессе функционирования объекта. Точный расчет натекания вакуумной системы позволит повысить качество титановой губки.

\* Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры МКМ Червоний И.Ф.

## МЕТОДЫ РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Москаленко Н.М., (МК-12-2 сз) \*

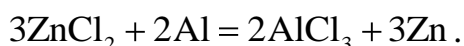
Запорожская государственная инженерная академия

Одним из основных направлений в развитии алюминиевой индустрии - увеличение объемов переработки вторичного алюминия. Для удаления из вторичного алюминия газов и неметаллических включений применяются различные методы рафинирования.

*Вакуумное рафинирование.* Удаления некоторых примесей (цинк, магний) из алюминиевых сплавов можно достичь дистилляцией в вакууме, т. е. переводом их в парообразное состояние. Температур кипения металлов, если их нагревать в одном случае при нормальном атмосферном давлении, в другом - в разреженном пространстве. Скорость испарения в вакууме зависит, кроме указанных факторов, также от величины поверхности ванны металла и от степени перемешивания металла.

*Флюсовое рафинирование алюминиевых сплавов.* Защита алюминиевых расплавов от окисления и поглощения водорода достигается плавкой под флюсами в слабоокислительной атмосфере. Большинство алюминиевых сплавов, содержащих не более 2 % Mg, плавят под покровным флюсом. Однако, несмотря на защитные мероприятия, при плавке алюминиевых сплавов они в различной степени окисляются и растворяют водород, что вызывает необходимость их рафинирования.

*Рафинирование хлористыми солями.* Для этой цели применяются хлористые соли цинка, титана, алюминия, бора, марганца. Взаимодействие хлористого цинка с алюминием происходит по реакции



Пары хлористого алюминия увлекают с собой пузырьки газов.

*Продувка нейтральным газом.* В качестве нейтрального по отношению к алюминию газа (при невысоких температурах) применяется азот. Процесс ведется при невысоких температурах, так как с повышением температуры возможно образование нитридов алюминия. Водород и другие, содержащиеся в металле газы при продувке диффундируют в пузырьки азота и выносятся последними на поверхность металла.

*Продувка хлором.* При продувке хлор образует с алюминием хлористый алюминий, пары которого увлекают растворенные газы. Водород частично образует летучий хлористый водород вследствие взаимодействия хлора с водородом. Рафинирование металла производят в ковшах под сильной тягой. Рафинирование ведется при температурах 680...690°.

---

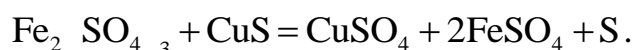
\* Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры МКМ Червоний И.Ф.

## ОСОБЕННОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

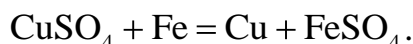
Маланяк Д.В., (МК-12-1 мз) \*

Запорожская государственная инженерная академия

Гидрометаллургические процессы извлечения меди основаны на растворении (выщелачивании) металла из руд и концентратов, производственных полупродуктов и различных отходов с последующим выделением из полученных растворов металла или его химического соединения. Выщелачивание является основной и важнейшей операцией любой гидрометаллургической технологии. Сульфат трехвалентного железа – хороший растворитель для сульфидных минералов меди



Метод автоклавного выщелачивания перспективен для обработки трудновскрываемых сульфидных медных концентратов, в частности халькопиритных. Процесс протекает в герметичных сосудах в жестких условиях: температура до 160 °С, давление воздуха до 1,5 МПа. Медь из растворов выделяют цементацией. В основе цементации лежит вытеснение меди из растворов более электроотрицательным металлом (Fe, Zn, Ni)



Выполнен термодинамический анализ выщелачивания меди из различных исходных состояний (см. рис.).

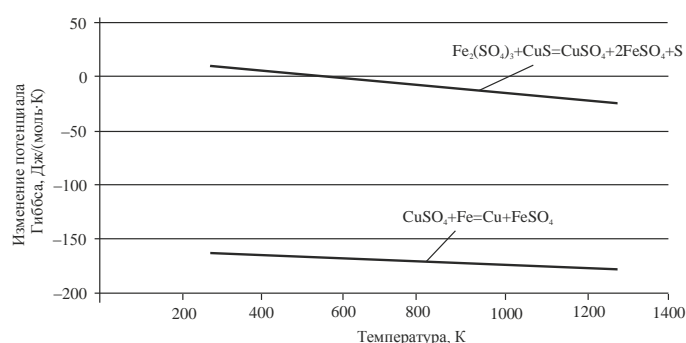


Рисунок – Зависимость изменения потенциала Гиббса от температуры реакций выщелачивания меди из руды

Наиболее дешевый осадитель меди – железо или материалы на его основе – лом, стружка, обрезь и т.п. Продуктом осаждения является цементная медь (65...75 % Cu, остальное железо), которую отправляют на конвертирование. Отработанные растворы возвращают на выщелачивание.

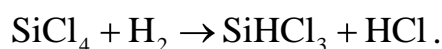
\* Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры МКМ Нестеренко Т.Н.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ ТЕТРАХЛОРИДА КРЕМНИЯ

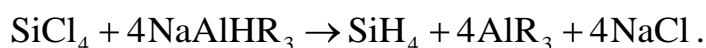
Гончаров Р.В., (МК-12-1 мз) \*

Запорожская государственная инженерная академия

Разработка и освоение электронных приборов на основе полупроводников, способствовали значительному подъему технологии основных полупроводниковых материалов – кремния. В настоящее время для получения кремния полупроводникового качества в промышленности применяют методы водородного восстановления тетрахлорида кремния ( $\text{SiCl}_4$ ) и трихлорсилана ( $\text{SiHCl}_3$ ), а также разложения моносилана ( $\text{SiH}_4$ ). Использование трихлорсилана при водородном восстановлении имеет ряд преимуществ по сравнению с  $\text{SiCl}_4$ . В то же время, при водородном восстановлении трихлорсилана, в качестве побочного продукта реакции образуется до 35 % тетрахлорида кремния. Целесообразным является разработка методов, обеспечивающих конверсию тетрахлорида кремния в трихлорсилан. В технологии конверсии применяют методы каталитического и высокотемпературного гидрирования  $\text{SiCl}_4$ , а также плазмохимические методы. При гидрировании  $\text{SiCl}_4$  при высоких температурах процесс гидрирования тетрахлорида кремния водородом характеризуется достаточно высоким выходом трихлорсилана.



В температурном интервале 1150...1360 К, реакция гидрирования тетрахлорида кремния идет наиболее полно. Гидрирование тетрахлорида кремния с использованием катализаторов является достаточно эффективным процессом. Например, при применении меди или ее соединений в количестве 0,1...5,0 % от массы кремния в виде порошка с насыпной плотностью 1,5...2,0 г/см<sup>3</sup> процесс гидрирования тетрахлорида кремния значительно ускоряется. Предполагаемый механизм действия катализаторов проявляется в протекании реакций



Увеличение давления до 3,0 МПа смещает равновесие реакции в сторону образования продуктов реакции. Выход трихлорсилана при данной организации процесса составляет 37 %. Однако способ имеет определенные недостатки. Процесс сопровождается загрязнением продукта веществами – катализаторами. Это вынуждает применение высоких давлений и сложного аппаратного оформления. Наиболее перспективными методами с точки зрения получения высокочистого вещества являются плазмохимические методы гидрирования.

\* Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры МКМ Червонный И.Ф.



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИ СЕЛЕНА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЕНИДА ЦИНКА

Глотко Н. А., (МК-12-1 мз)\*

Запорожская государственная инженерная академия

Для современной инфракрасной оптики широко используется селенид цинка. Изготовление мощных  $\text{CO}_2$ -лазеров не обходится без применения этого материала. В то же время накопление отходов производства селенида цинка приводит к ухудшению экологической ситуации, вследствие токсичности соединения. Важным и целесообразным является извлечение селена из отходов производства. В электронике и радиотехнике селен и селениды применяется для изготовления выпрямителей, детекторов, резонансных разрядников, люминофоров. Благодаря чувствительности селена к даже малым колебаниям интенсивности света, изменяется его электропроводность. Это позволяет использовать селен для изготовления фотоэлементов сигнальных установок и фототранзисторов.

В металлургии селен используется в качестве легирующей добавки при изготовлении специальных сортов стали. Незначительные добавки селена улучшают обрабатываемость нержавеющей сталей. При небольшом содержании селена в медных сплавах с магнием и марганцем улучшается их обрабатываемость. Наиболее эффективным методом извлечения селена является окисление селенида цинка. В работе выполнен физико-химический анализ процесса окисления селенида цинка.

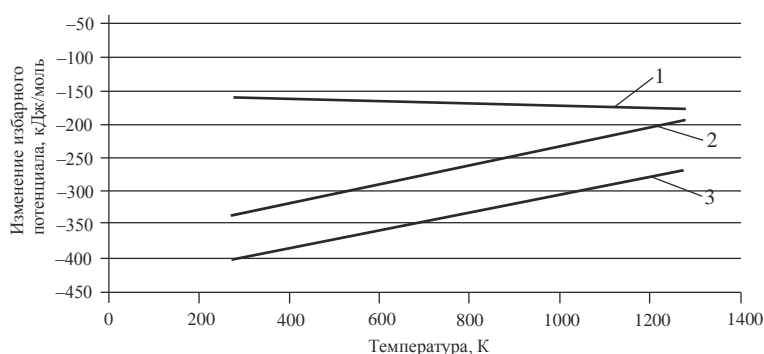
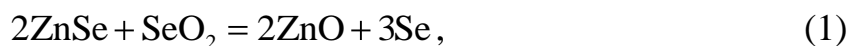


Рисунок – Изменение изобарного потенциала реакций окисления селенида цинка (номера кривых на рисунке соответствуют номеру реакции по тексту)

Наиболее предпочтительной является реакция окисления с применением атомарного кислорода.

\* Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры МКМ Червоний И.Ф.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Черкун С.И., (МК-12-2 сз)\*

Запорожская государственная инженерная академия

При переработке отходов меди и ее сплавов чаще всего получают бронзы и латуни. Плавку ведут в переходящей ванне, объем которой составляет 35...45 % объема печи. При плавке латуни в первую очередь загружают стружку и флюс. Выход годного металла составляет 23...25 %, выход шлаков – 3...5 % массы шихты; расход электроэнергии изменяется от 300 до 370 кВт·ч/т. При выплавке оловянной бронзы в первую очередь загружают также мелкую шихту – стружку, выштамповки, сетки; в последнюю очередь – крупногабаритный лом и кусковые отходы. Температура металла перед разливкой 1100...1150 °С. Извлечение металла в готовую продукцию составляет 93...94,5%.

Большинство вредных примесей из медных сплавов удаляют продувкой ванны воздухом, паром или введением медной окислы. В качестве раскислителя используют фосфор и литий. Раскисление фосфором латуней не применяют из-за высокого сродства цинка к кислороду. Дегазация медных сплавов сводится к удалению из расплава водорода и осуществляется продувкой инертными газами.

С целью изменения свойств сплавов меди ее легируют различными элементами. Примеси ряда элементов как попадающие при плавке, так и специально вводимые в качестве легирующих добавок в сплавы, в той или иной мере сказываются на физико-механических и технологических свойствах меди и ее сплавов и, в первую очередь, на понижении электропроводности (см. рис.).

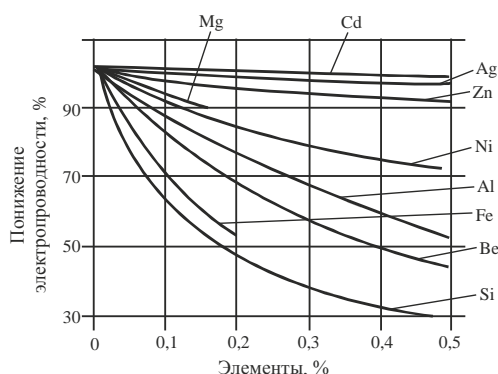
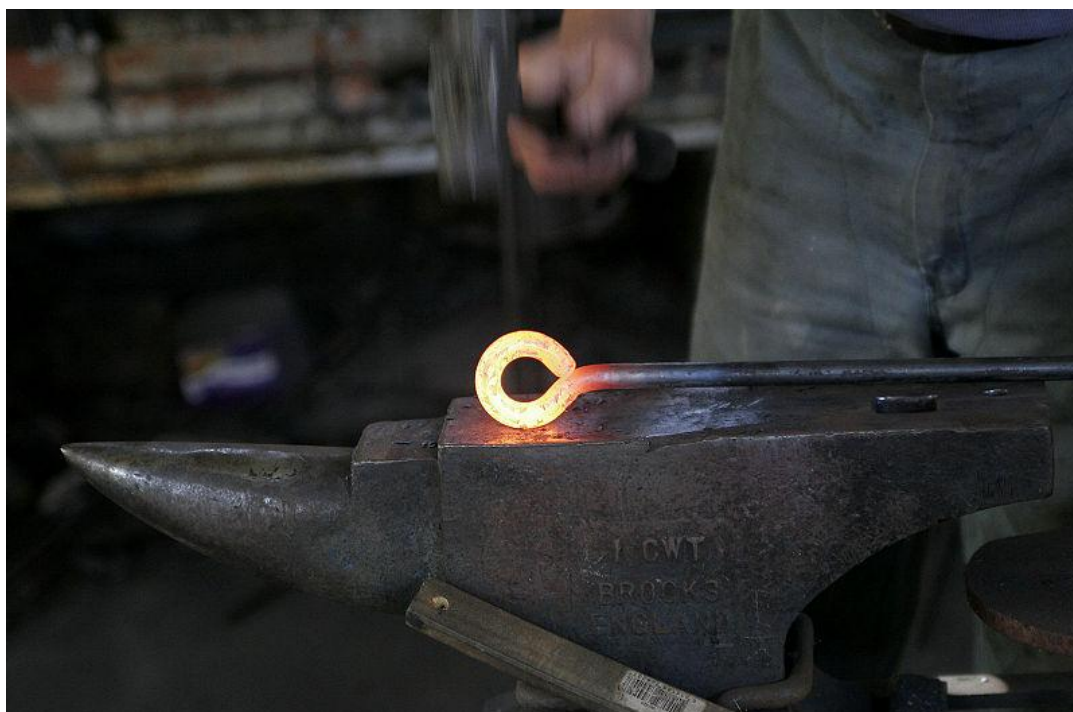


Рисунок – Влияние примесей на электропроводность меди

Незначительно снижают электропроводность меди малые добавки только некоторых элементов, например серебра, кадмия, магния, хрома, циркония и др. Эти же добавки, образуя с медью ограниченные твердые растворы, повышают ее прочность и твердость.

\* Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры МКМ Червоний И.Ф.

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



# ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ МІДНИХ ПРОФІЛІВ З ЗАДАНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЗАВДЯКИ ЦИКЛІЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

Дворников С.В. (ОМТ-12м) \*

Донецький національний технічний університет

Існує проблема у виготовленні мідних профілів безперервним пресуванням способом конформу з подальшим волочінням на готовий розмір. Проблема полягає у тому, що після волочіння мідні профілі мають твердість, яка перевищує твердість за ГОСТом. Для таких мідних профілів досліджувалася можливість використання циклічної деформації для одержання заданих механічних властивостей.

У ході дослідження проводився експеримент який складався з двох етапів: 1) знакозмінний вигин мідного профілю (20×40×800мм), з відповідним виміром твердості до і після вигину. Мідний профіль згинали на листозгинальній машині, сумарна деформація склала 12%; 2) на цьому етапі порівнювалися два зразки електротехнічної мідної катанки (Н×D=7,00×5,00мм), які мають однакову за величиною логарифметичну деформацію, але при цьому деформовані різними видами деформацій (осадка і гідропресування).. Порівняння полягало в тому, як зразки відносно один одного змінять свої розміри і твердість після завершення осадки якщо їх осаджувати як складене ціле.

На першому етапі експерименту було зафіксовано зниження твердості наданої мідної шини, відповідно початкова та кінцева твердість мідної шини показані в таблиці.

Таблиця– Початкова та кінцева твердість мідної шини

НВ0	НВ1	ДНВ
76,80±1,53	70,66±1,53	6,14±1,53

За результатами другого етапу експерименту були побудовані графіки залежності твердості від істинної деформації кожного зразку, вони наведені на рис.

\* Керівник – д.т.н., професор кафедри ОМТ Бейгельзімер Я.Ю.

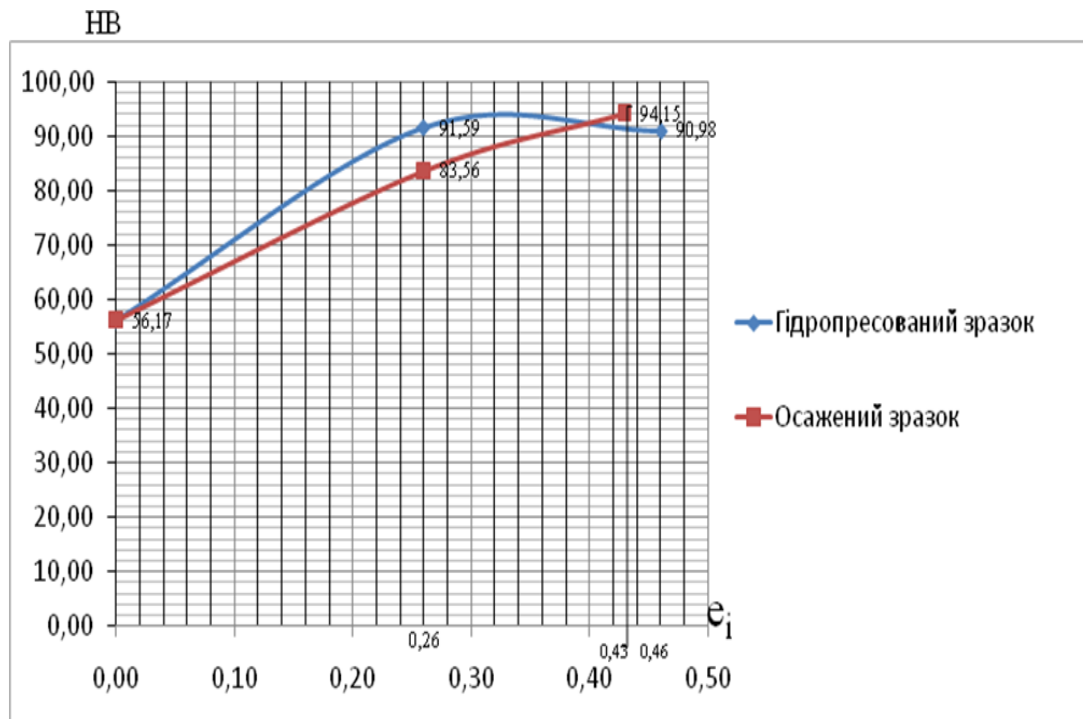


Рисунок – Графічне зображення результатів другого етапу експерименту

Перший етап експерименту показав, що циклічна деформація змінила твердість мідної шини, твердість зменшилась на 8%.

Таке не велике зниження твердості хоч і не дозволило досягти необхідної твердості за ГОСТом, але тим не менше послужила основою для подальшого детального вивчення впливу циклічної деформації на властивості мідної шини. Більш поглиблене вивчення впливу знакозмінної деформації було проведено на другому етапі експерименту, де вже була реалізована цікава ідея.

За результатами другого етапу експерименту можна судити про те, що при знакозмінному навантаженні спостерігається невелика різниця в висотній деформації зразків, продеформованих попередньо осадкою та гідропресуванням. Це говорить про те, що все таки зразки мали різницю в початкових межах текучості. Також спостерігається дуже мала зміна твердості міді, що свідчить про не випадковість зниження твердості мідної шини в першому етапі експерименту. Слід також відмітити, що при монотонній деформації (осадка) зразка міді твердість його зростала без спадів, в той час коли твердість зразка попередньо деформованого гідропресуванням після осадки мала спад це наявним образом видно з графіків. Цей спад свідчить про цікавий ефект не однаковості впливу монотонної і циклічної деформації на твердість електротехнічної міді. Такі результати експерименту послужили підставою для подальшого вивчення впливу циклічної деформації на властивості мідних профілів.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Скороходов Д.А. (ОМД-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

В современном мире все больше требований предъявляется к качеству готовой продукции. Для достижения высокого уровня качества и необходимых свойств непрерывнолитой заготовки создано и используется много различных машин и агрегатов, одним из которых является МНЛЗ. В настоящее время около 60% отлитых непрерывным литьем заготовок разливается на слябовых МНЛЗ. Этот агрегат позволяет получать слитки неограниченной длины.

Основными производителями непрерывнолитых слябов в мире является Япония, США, КНР, Германия, Корея и Россия. Сейчас в мире насчитывается более 500 слябовых МНЛЗ с общим числом ручьев свыше 700 шт. Постоянное повышение требований к качеству непрерывнолитой слябовой заготовки приводит к высокой конкуренции между ее производителями, поэтому они вынуждены постоянно искать способы, обеспечивающие решение задачи увеличения конкурентоспособности своей продукции.

На современных высокоскоростных слябовых МНЛЗ среди используемых подходов, которые обеспечивают требуемый уровень качества непрерывнолитой слябовой заготовки, наиболее эффективным является метод «мягкого» механического обжатия, заключающийся в дополнительном плавном обжатии (на несколько миллиметров) твердой оболочки непрерывнолитой заготовки в нижней части зоны вторичного охлаждения (ЗВО), т.е. в зоне, где наблюдается определенное соотношение твердой и жидкой фазы металла.

Опыт использования метода «мягкого» механического обжатия показывает, что при приложении обжатия, из-за возрастания гидродинамического (ферростатического) давления, жидкая ликвированная сердцевина вытесняется из зоны окончательной кристаллизации, что приводит к уменьшению осевой ликвации. Кроме того, при обжатии компенсируется усадка металла при кристаллизации, а также разрушаются перемычки, которые не позволяют жидкому металлу проникнуть в зону окончательного затвердевания, что уменьшает осевую пористость, а, следовательно, улучшает качество внутренней структуры металла.

Для эффективной реализации метода «мягкого» механического обжатия, необходимо изучение и совершенствование оборудования технологической линии МНЛЗ, среди которого выделяются тянуще-правильные машины (ТПМ) – устройства, предназначенные для ввода затравки в кристаллизатор, перед началом разливки, вытягивания сцепленной со слитком затравки из кристаллизатора и секций ЗВО в начале разливки, а в дальнейшем – слитка, и для правки криволинейного слитка в прямолинейный.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Ручко В.Н.

При изучении и анализе метода «мягкого» механического обжатия необходимо выявить недостатки в используемых способах его реализации и поставить ряд вопросов, касающихся исследования напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки, и влияние на него технологических параметров.

Особое внимание вызывает возможность управления уровнем деформации, которая реализуется непосредственно каждым роликом или парой роликов ТПМ. Кроме того, необходимо обоснованно принимать величину абсолютного обжатия, и на основании нее изменять давление рабочей жидкости, подаваемой в поршневую полость гидроцилиндра прижатия роликов ТПМ. Значительные колебания технологических параметров требуют оценки влияния на эффективность применяемого метода «мягкого» механического обжатия таких факторов, как: скорость разливки непрерывнолитой заготовки; температурного режима разливки стали; равномерности охлаждения непрерывнолитой заготовки в ЗВО; марки стали и т.д.

Современные методы изучения напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки базируются на использовании современных компьютерных средств моделирования. Среди программных продуктов, задействованных при исследовании различных процессов ОМД, популярностью пользуются такие программы, как Deform, Ansys, Abaqus - программные комплексы мирового уровня в области конечно-элементных прочностных расчетов, с помощью которых можно получать точные и достоверные решения для самых сложных линейных и нелинейных инженерных проблем (рис.).

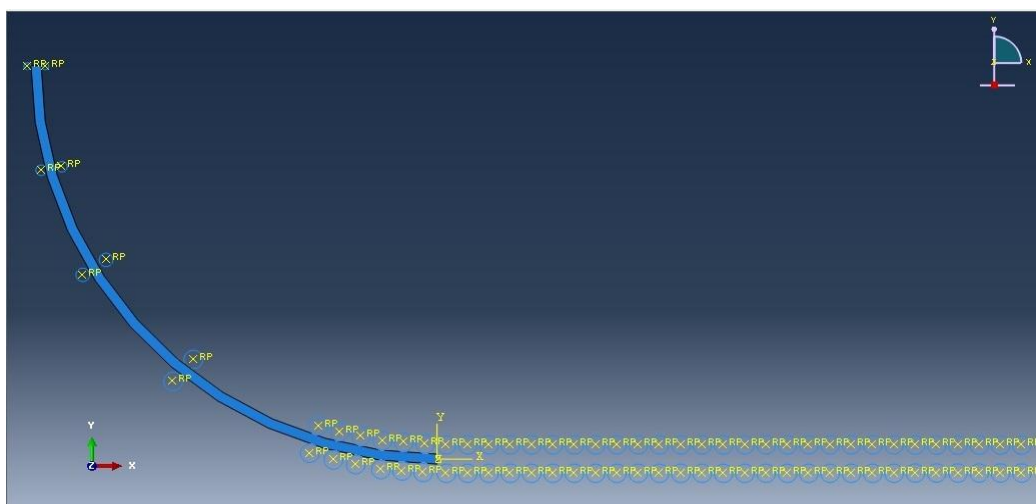


Рисунок – Начальный этап моделирования деформации непрерывнолитой слябовой заготовки при прохождении ТПМ МНЛЗ в программе Abaqus

При выполнении исследований планируется моделирование напряжений, возникающих в процессе правки и деформации заготовки роликами ТПМ.

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА ИЗ РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ МАРОК СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО СРЕДНЕСОРТНОГО СТАНА

Семенова В.Ю. (ОМД-12м)<sup>6</sup>

Донецкий национальный технический университет

Анализ мировых тенденций производства проката из рессорно-пружинных марок стали, разливаемых непрерывным способом, показал, что для получения качественного проката необходимо выполнение целого ряда дополнительных операций при жесткой регламентации температурно-деформационных параметров. В частности, обязательным является гарантированное обеспечение температуры подката перед чистой группой клетей на уровне 780-950°C (PQR-процесс), которое в большинстве случаев достигается за счет применения установки подстуживания проката как перед чистой группой, так и перед калибровочным блоком.

В соответствии с анализом литературных данных, выявлено две концепции обустройства линии подстуживания для обеспечения требуемой температуры самоотпуска раската:

1) увеличение расстояния от блока междеформационного подстуживания до чистой группы клетей (калибрующего блока), влекущее за собой увеличение длины стана;

2) создание петлевого стабилизатора (технология Multiline-LOOP) без увеличения длины стана.

К числу современных непрерывных станов в Украине, на которых целесообразна организация производства проката из рессорно-пружинных марок стали с использованием непрерывнолитой заготовки в качестве исходного сырья, следует отнести стан 390 Макеевского филиала ПАО «Енакиевский металлургический завод». Вместе с тем, в литературе существуют лишь фрагментарные сведения о проведенных исследованиях в этом направлении.

Целью исследований являлось определение необходимого времени температурной стабилизации по сечению подката, при котором разница температуры между его центром и поверхностью не превысит 50°C.

Для изучения температурного состояния подката и, в первую очередь, полей распределения температур на участке подстуживания была разработана конечно-элементная модель в программном комплексе ANSYS.

В ходе исследований принимали следующие исходные данные:

- охлаждаемый профиль – подкат из последней клетки промежуточной группы;
- температура подката – 970°C;
- характер распределения температуры по сечению – равномерный;

---

<sup>6</sup> Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Смирнов Е.Н.



- число секций подстуживания в линии стана – 2;
- схема охлаждения – секция 1 (вода) – воздух – секция 2 (вода) – воздух – деформация в клетях чистовой группы;
- протяженность секции водяного охлаждения – 2,5 м.

По полученным результатам строились графики зависимости температуры в различных точках сечения подката от времени нахождения в секции водяного охлаждения и на участке воздушной стабилизации (рисунок).

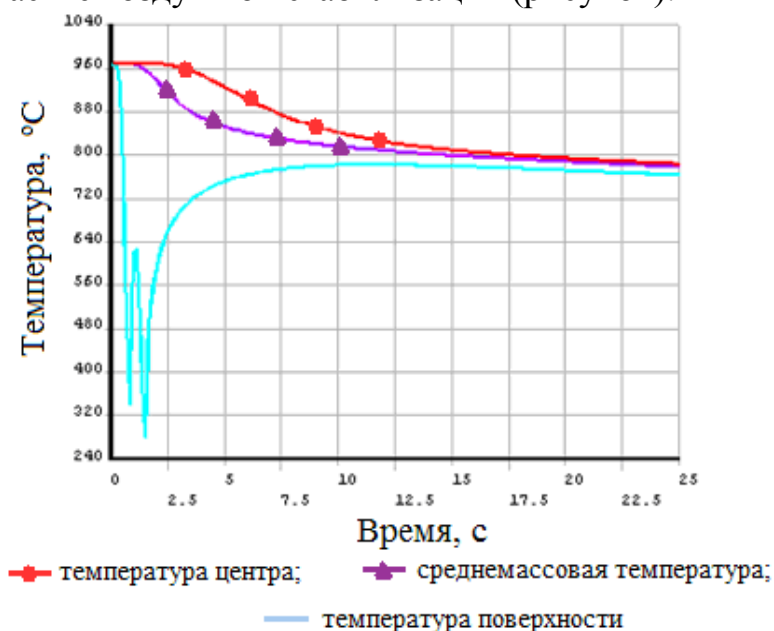


Рисунок – Изменение температуры в различных точках сечения подката при подстуживании в двух секциях (чистовой круг Ш 20 мм)

Из приведенных данных видно, что температура поверхности в первой секции падает с 970°C до 340°C, затем происходит разогрев до 630°C и снова охлаждение до 280°C. Далее происходит разогрев поверхности проката до 780°C. В дальнейшем начинается температурная стабилизация раската, которая достигает необходимой величины перепада температуры ( $\Delta t \leq 50^\circ\text{C}$ ) между поверхностью и центром только через 15 с, однако это требует наличия участка длиной не менее 75 м. Увеличение сечения подката (для других круглых профилей) требует еще большей длины участка температурной стабилизации. В этом случае требуется коренная реконструкция стана.

Учитывая вышеизложенный результат, в работе была рассмотрена возможность реализации процесса с использованием технологии Multiline-LOOP. Выполненные первичные расчеты и анализ особенностей расположения оборудования стана 390 ПАО «ЕМЗ» показали, что для реализации низкотемпературного процесса прокатки необходима длина петли самоотпуска в пределах от 67 до 72 м, при производстве круглого проката диаметром 20, 22 и 30 мм, и 90...96 м - для круглого проката диаметром 40 и 50 мм.

В целом, выполненные расчеты показали, что реконструкция стана с организацией участка подстуживания подката для чистовой группы по технологии Multiline-LOOP имеет большие перспективы.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ НАГРІВУ ЗЛИВКІВ З МЕТОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТРАНЗИТНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ

Савенко Є.С., (зр. ОМТ-12мд)<sup>7</sup>  
Запорізька державна інженерна академія

Вдосконалення температурно-швидкісних режимів деформації є однією з найважливіших умов, що забезпечує найбільш повне використання виробничих потужностей сучасних агрегатів і поліпшення якості гарячекатаних штаб.

Істотне підвищення продуктивності безперервних станів гарячої прокатки може бути повною мірою реалізовано при дотриманні умов одержання на них штаб ладаних властивостей і розмірів.

Одним з найважчих та складних чинників, які впливають на стабільність процесу та на умови тертя, є температура металу. Коливання температури обумовлює повздовжню різнотовщинність і коливання товщини в межах партії штаб одного номінального розміру. Пластичні характеристики металу поліпшуються зі збільшенням зерна фериту при дотриманні умов однорідності. Механічні властивості мало вуглецевих конструкційних сталей залежать від величини, форми і ступеня однорідності феритного зерна, а також від кількості і розподілу цементиту.

Температурні режими прокатки залежать від температури нагрівання і початкової температури розкату; зниження температури внаслідок контакту металу, що прокатується з навколишнім середовищем – повітрям, водою, валками і різними деталями стану, підвищення температури в результаті тепла пластичної деформації.

Для умов транзитної прокатки за схемою зливок –подвійний сляб – гарячекатаний рулон стабільність температурного поля прокатки забезпечується нагрівом зливок з рідкою серцевиною. При цьому зміна складу палива зі стовідсоткового природного газу на суміш природний газ + доменний газ призводить до деякої нестабільності температури розкатів на безперервному стані. Внаслідок цього має місце перевантаження окремих клітей по силі і моменту прокатки.

Освоєння транзитної прокатки супроводжувалося застосуванням різних засобів і прийомів для підвищення температури кінця прокатки слябів (підвищення температури нагрівання злитків) і зниження теплових втрат слябів між слябінгом і ШСГП і розкатів по технологічній лінії ШСГП (теплові екрани, ППУ і пр.).

В роботі проведено дослідження та оптимізація режимів нагріву зливок з рідкою серцевиною на сумішах з різним співвідношенням природний / доменний газу.

---

<sup>7</sup> Науковий керівник - доц., к.т.н. Прищип М.Г.

# АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ В ПРОЦЕСАХ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ СТАЛІ

Захарченко С.А., (ОМТ-12-1М)<sup>8</sup>  
Запорізька державна інженерна академія

Дослідження відносяться до галузі гарячої прокатки тонких штаб. Для таких специфічних умов деформації, ключовим моментом є питання прогнозування середнього контактного тиску і зусилля прокатки. Метою роботи був вибір і обґрунтування оптимальної теоретичної моделі розрахунку енергосилових параметрів, яка би у більшій мірі була наближена до практичних даних, отриманих в результаті експерименту. Теоретичні формули визначення середнього контактного тиску та зусиль прокатки, отримані за рахунок спільного рішення диференціального рівняння рівноваги поздовжніх сил прокатки і рівняння пластичності (методики Кармана, Екелунда, Орована).

Найбільш поширеною моделлю визначення опору металу деформації в процесі гарячої прокатки є метод термомеханічних коефіцієнтів, який запропонував В.І Бровмана.

Розрахунок визначення опору деформації  $\sigma_T$ , залежно від різних значень температури, ступеня і швидкості деформації визначаються за формулою:

$$\sigma_T = \sigma_{o.d.} k_t k_\varepsilon k_u, \text{ МПа} \quad (1)$$

Цей метод дає можливість розчленувати багатозначну функціональну залежність опору деформації  $\sigma = f(t, \varepsilon, u)$  на ряд залежностей між трьома змінними:  $k_t = f(t)$ ,  $k_\varepsilon = f(\varepsilon)$ ,  $k_u = f(u)$ , що представляють собою співвідношення:

$$k_t = \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{o.d.}}; k_\varepsilon = \frac{\sigma_{\varepsilon i}}{\sigma_{o.d.}}; k_u = \frac{\sigma_{ui}}{\sigma_{o.d.}}, \quad (2)$$

де  $k_t, k_\varepsilon, k_u$  – відповідно температурний, ступеневий та швидкісний коефіцієнти;  $\sigma_{ti}, \sigma_{\varepsilon i}, \sigma_{ui}$  – відповідно функції опору деформації в залежності від температури, ступеня і швидкості деформації;

$\sigma_{o.d.}$  – середнє або базисне значення  $\sigma$ , прийняте при постійних значеннях термомеханічних параметрів ( $T=1000^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon = 10\%$ ,  $u=10\text{c}^{-1}$ ).

Відомі також інші компактні моделі  $\sigma_T$ :

Модель В.І. Зюзіна:

---

<sup>8</sup>Науковий керівникт - доц., к.т.н. Прищип М.Г.

$$\sigma_T = s\sigma'_0(10)^a u^b \left(\frac{t}{1000}\right)^{-c} \quad (3)$$

де  $\sigma'_0$  - базове значення напруження текучості матеріалу штаби, відповідне  $T=1000^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon = 10\%$ ,  $u=10\text{с}^{-1}$ ;  $s$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постійні коефіцієнти, визначені індивідуально для кожної сталі.

Моделі типу (3) були запропоновані тільки для восьми, переважно складно легованих сталей. У зв'язку з цим вони мають локальну практичну цінність.

Практичний інтерес являють собою моделі Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленєва. Такі моделі були розроблені для 66 марок вуглецевих і легованих сталей, зокрема сталей спеціального призначення. Моделі (3) працездатні в районі температур  $800-1300^\circ\text{C}$

Для визначення середнього значення напруження текучості  $\sigma_{Tcp}$  при гарячій прокатці модель (3) записується у виді:

$$\sigma_{Tcp} = s\sigma_0(10\varepsilon_{cp})^a u_{cp}^b \left(\frac{t_{cp}}{1000}\right)^{-c} \quad (4)$$

де  $\varepsilon_{cp}$ ,  $u_{cp}$ ,  $t_{cp}$  - середні значення обтиску, швидкості деформації та температури у кліті.

Для розрахунку  $p_{cp}$  при прокатці штаб середньої товщини застосовують формулу М.Я. Бровмана, отриману з використанням варіаційних методів:

$$p_{cp} = \frac{\sigma_{фcp}}{2} \left( \frac{l}{h_{cp}} + \frac{h_{cp}}{l} \right) \quad (5)$$

Формула (5) дійсна при зміні фактора форми в границях від 0,5 до 2,0. При зміні  $\frac{l}{h_{cp}}$  у вказаних межах значення коефіцієнта напруженого стану складають:  $n_\sigma = 1,0 - 1,25$  тобто близькі до 1. Це узгоджується з приведеним вище затвердженням, що при прокатці штаб середньої товщини напруження тертя і зовнішні зони роблять незначний вплив на коефіцієнт напруженого стану.

В роботі розглянуті відомі методики розрахунку опору деформації при прокатці на безперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки. Встановлено, що для розрахунку зусиль прокатки найбільш доцільно використовувати методику термомеханічних коефіцієнтів. Порівняння розрахункових і експериментальних значень опору деформації сталей і сплавів, показало, що відхилення між цими даними в середньому не перевищують 10%. Також виявлено, що розраховані значення сили та моменту прокатки не перевищують допустимих показників, встановлених на виробництві гарячекатаних штаб.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ З'ЄДНАНЬ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

Назаров Г. О., (ОМТ-12-1м)<sup>9</sup>  
Запорізька державна інженерна академія

Одним з найбільш перспективних напрямків в області одержання нових композиційних матеріалів з високим рівнем взаємодоповнюючих експлуатаційних характеристик є створення інтерметалідних з'єднань системи Ni-Al. Ці з'єднання в найближчому майбутньому можуть скласти серйозну конкуренцію жаростійким та корозійностійким сплавам.

На даний час одним з найбільш прогресивних методів для синтезу інтерметалідів є саморозповсюджувальний високотемпературний синтез (СВС), що обумовлено простотою технологічного устаткування, економічністю процесу, прийнятним часом отримання продукції. СВС-компактування є одним з технологічних різновидів СВС, де синтез продуктів горіння поєднується з подальшим їхнім ущільненням з метою отримання щільного композиційного матеріалу.

З метою дослідження технологічних факторів при отриманні алюмінідів нікелю було створено експериментальну установку для СВС-компактування. Розглянуто та оптимізовано технологічні стадії проведення даного процесу. Для цього були знайдені залежності розмірів та щільності синтезованих інтерметалідів основних фаз від сили тиску при пресуванні. Встановлено, що ущільнення продуктів СВС у піщаній оболонці обумовлено в основному осьовою деформацією. Так, осадка включення становить близько 40%, а радіальна деформація на порядок менше й не перевищує 3%. Крім того, компактування досліджених матеріалів не залежить від вмісту Al і повне ущільнення відбувається при практично тому самому тиску  $p_k = 950$  МПа.

Важливе значення для технологічного проектування й оптимізації процесу СВС-пресування має інформація про закономірності ущільнення оболонки й силових параметрів. З метою вивчення структурних та фізико-механічних властивостей матеріалу були проведені металографічні та гравиметричні дослідження. Було виявлено структуру ущільнених алюмінідів нікелю. Випробування на жароміцність при 900 та 1150 °С у незахищеній атмосфері показав, що жароміцність отриманих матеріалів в двічі перевищує ВТ-1-00.

Таким чином, можна прийти до висновку, що запропонована технологія дає змогу отримувати заготовлі з високими фізико-механічними властивостями матеріалів, гомогених за структурою, з заданими службовими характеристиками правильної та контрольованої форми.

---

<sup>9</sup>Науковий керівник - проф., д.т.н. Серета Б. П.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ МАРКИ 08КП ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ ПУТЕМ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА

Кипко А.А. (ОМТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

На трубном заводе «Славсант» (г. Антрацит) для производства электросварных труб в качестве заготовки используется рулонный горячекатанный тонколистовой прокат. В процессе формовки трубных заготовок вкатываемая валками в металл окалина ухудшает качество готовой продукции, условия труда и состояние инструмента. Предложено выполнить удаление окалины путем упруго-пластического изгиба штрипса. В ходе выполнения работы были проведены испытания механических свойств исходных образцов штрипса и образцов штрипса, полученного после удаления окалины путем знакопеременного упруго-пластического изгиба. Важно было убедиться, что прочностные и пластические свойства металла изменятся в допустимых для стабильной работы трубоэлектросварочного агрегата (ТЭСА) пределах. Испытания проводились согласно ГОСТ 11701-804 (Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент). Испытывались плоские образцы с размерами, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры образцов

	$a_0$ , мм	$b_0$ , мм	$l_0$ , мм	$L$ , мм	$h$ , мм	$L$ , мм
С окалиной	2,28	20	168,82	178,82	45	268,82
Без окалины	2,75	20	185,405	195,405	45	285,405

В таблице 1 приняты следующие обозначения:  $a_0$  – наименьшая толщина, мм;  $b_0$  – наименьшая ширина, мм;  $l_0$  – начальная расчётная длина, мм;  $l$  – рабочая длина образцов, мм;  $h$  – длина участка, который захватывается, мм;  $L$  – длина образцов, мм.

Были проведены испытания (таблицы 2 и 3) и определены следующие величины:  $\epsilon$  – относительная погрешность,  $\Delta x$  – абсолютная погрешность,  $\bar{x}$  – среднее арифметическое значение.

Таблица 2 – Результаты проведения испытаний на растяжение исходных образцов из листовой стали 08кп с окалиной

№ опыта	Относительное сужение $\varphi$ , %	Относительное удлинение $\delta$ , %	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа
1	50,81	48,23	327,95	371,68
2	46,11	48,01	317,02	371,68

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Яковченко А.В.

Продолжение таблицы 2

3	56,78	48,63	282,61	358,70
4	46,49	38,68	334,45	367,89
5	53,64	47,01	281,39	344,16
$x \pm \Delta x$	$50,85 \pm 4,32$	$45,56 \pm 4,19$	$308,1 \pm 23,66$	$363,84 \pm 11,3$
$\epsilon, \%$	8,5	9,2	7,68	3,1

Таблица 3 – Результаты проведения испытаний на растяжение образцов из листовой стали 08кп после упруго-пластического изгиба

№ опыта	Относительное сужение $\phi, \%$	Относительное удлинение $\delta, \%$	Предел текучести $\sigma_T, \text{МПа}$	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B, \text{МПа}$
1	49,708	40,881	333,117	380,705
2	52,628	30,019	328,791	372,053
3	49,457	29,167	339,130	373,913
4	51,330	33,75	337,443	372,053
5	52,304	30,25	337,443	372,053
$x \pm \Delta x$	$51,09 \pm 1,81$	$32,8 \pm 6$	$335,18 \pm 5,23$	$374,16 \pm 4,65$
$\epsilon, \%$	3,54	18,3	1,56	1,24

Таблица 4 – Среднее относительное изменение прочностных и пластических свойств листовой стали 08кп

Относительное сужение $\Delta\phi, \%$	Относительное удлинение $\Delta\delta, \%$	Предел текучести $\Delta\sigma_T, \text{МПа}$	Временное сопротивление разрыву $\Delta\sigma_B, \text{МПа}$
8,42	28,23	9,22	3,03

Стабильная работа трубоэлектросварочного агрегата обеспечивается в том случае, если предел текучести  $\sigma_T$  не превышает 400 МПа, а временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$  не превышает 650 МПа. Установлено, что механические свойства стали 08кп в результате упруго-пластического изгиба штрипсов в процессе удаления окалины не превысили допустимые значения.

Вывод: в результате проведения испытаний установлено, что механические свойства стали 08кп после упруго-пластического изгиба штрипсов, выполняемого с целью удаления окалины, изменятся в допустимых для работы трубоэлектросварочного агрегата пределах и его стабильная работа не будет нарушена.

# АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА УСЛОВИЙ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ЗАГОТОВОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЁС

Яблуновский Н.Н. (ОМД-12м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В настоящее время при анализе процессов деформирования заготовок колёс широкое распространение получили методы математического моделирования, основанные на методе конечных элементов. Вместе с тем, в технической литературе отсутствует научно обоснованный метод расчёта условий контактного взаимодействия прокатных валков с колёсной заготовкой. На его создание и направлена настоящая работа.

В предложенном методе представлена схема нахождения толщины слоя металла с однородным напряженно-деформированным состоянием (НДС).

Примем, что при прокатке модель трения можно записать через напряжения в виде условия Амантона:

$$t_{cp} = fP_{cp}, \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – среднее значение контактного давления, полученное на основе экспериментальных данных с действующего КПС.

Модель трения в виде условия Э. Зибеля, как известно, записывается в виде:

$$t_{cp} = f_{\sigma} \sigma_s, \quad (2)$$

где  $f_{\sigma}$  – показатель сил трения;  $\sigma_s$  – напряжения текучести деформируемого металла, Н/мм<sup>2</sup>.

В предложенном методе учтено, что деформация не проникает через всю толщину прокатываемой полосы.

Расчёт напряжения трения металла ( $\sigma_s$ ) находим для слоя полосы, в котором напряженное состояние обжимаемого валком металла можно считать однородным.

Толщину вышеуказанного слоя примем равной XD (рисунок). Для нахождения XD была найдена следующая формула:

$$\text{Нодн} = XD = \cos(\gamma + \delta) \cdot BD, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – меньший угол криволинейного треугольника (представленного на схеме прямолинейным) выделенных из поля линий скольжения для случая прокатки высоких полос;  $\delta$  – угол, который равен  $\arcsin(\Delta h / ld)$ .

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Снитко С.А.



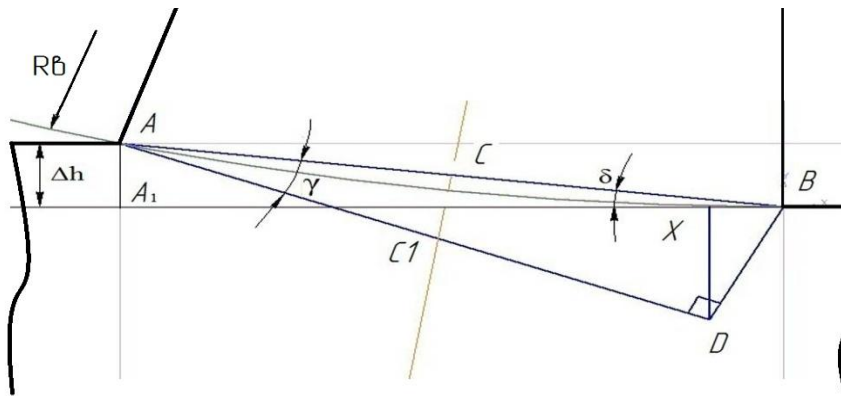


Рисунок – Схема контактного взаимодействия наклонного валка с заготовкой

$$\gamma = 0,5 \cdot \arccos(2n_{\sigma} \cdot f), \quad (4)$$

где  $n_{\sigma}$  – коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния металла на контактное давление, определяется по формуле Г.Н. Башилова;  $f_{cp}$  – коэффициент трения, определяемый из условия Амантона:

$$f_{cp} = 0,5(\operatorname{tg}(\alpha_{max}/2) + 1/2n_{\sigma}), \quad (5)$$

где  $\alpha_{max}$  – максимально возможный угол захвата.

Средняя по длине очага степень деформации металла при прокатке ( $\varepsilon$ ), при этом рассчитывалась с учетом рекомендаций Л.В. Андреюка по следующей формуле:

$$\varepsilon = (2/3) \cdot (\Delta h/h_0), \quad (6)$$

Расчет скорости деформации при прокатке ( $U$ ) выполняли по формуле Н.Н. Крейдлина:

$$U = (2/3) \cdot (V_b/l_d) \cdot \ln(h_0/h_1), \quad (7)$$

где  $V_b$  – окружная скорость валков, об/мин;  $h_0$ ,  $h_1$  – толщина полосы до и после прокатки соответственно, мм.

Таким образом, приравнивая правые части формул (1) и (2) и подставляя в них найденные значения  $f$ ,  $P_{cp}$ , и  $\sigma_s$ , получим экспериментально-теоретическую формулу для расчета показателя сил контактного трения:

$$f_{\sigma} = f \cdot P_{cp}/\sigma_s, \quad (8)$$

Установлено, что в диапазоне изменения технологических факторов, существующих на практике, используемых при расчете в качестве исходных данных, величина  $f_{\sigma}$  на контакте с верхним наклонным валком изменяется в пределах от 0,27 до 0,44, а величина  $f_{\sigma}$  на контакте с нижним наклонным валком изменяется в пределах от 0,21 до 0,32.

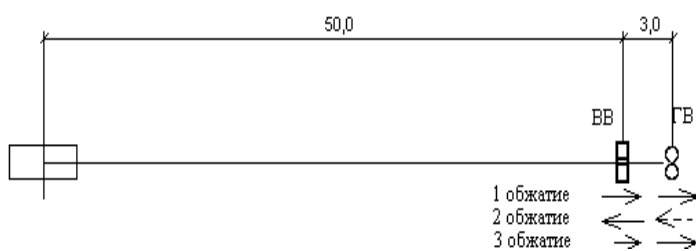
# ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЖАТИЙ ПО ПРОХОДАМ ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ СЛЯБОВ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ КЛЕТИ

Воропаева С.О. (ОМД-12 м)\*

Донецкий национальный технический университет

Редуцирование слябов на 200-300мм в первых черновых клетях широкополосного стана получила широкое распространение в мировой практике, так как позволяет весь сортамент широких полос по ширине получать из непрерывно литых слябов нескольких размеров по ширине и сократить число кристаллизаторов при их отливке. На металлургических предприятиях Украины горячекатаные широкие полосы производят по устаревшей схеме «слиток –обжимной стан (слябинг) - широкополосный стан». Переход на современную схему производства широких полос «машина непрерывной разливки заготовок – широкополосный стан с редуцирующей черновой клетью» позволит значительно снизить энергетические и материальные затраты. В этой связи внедрение технологии редуцирования требует решения актуальной задачи по деформационным режимам редуцирования слябов.

Технология редуцирования слябов в универсальной черновой клетии может включать одно-трехразовые последовательные обжатиия в вертикальных валках (ВВ) в реверсивных проходах с проглаживанием широких граней в горизонтальных валках (ГВ) до исходной толщины после первого и третьего проходов. На рисунке показана схема обжатия сляба по трем реверсивным проходам в ВВ и ГВ универсальной клетки.



→ проходы с рабочим обжатием; ---→ холостой проход; 50,0-расстояние от печи; 3,0 – расстояние между ВВ и ГВ

Рисунок – Схема обжатия в ВВ и ГВ универсальной черновой клетки

От характера распределения обжатия в ВВ по проходам во многом зависит эффективность процесса редуцирования. В качестве критериев рационального распределения обжатия выбрали: суммарные (за три прохода) значения величин: коэффициента эффективности уменьшения ширины  $\eta_{\text{сум}}$ , расхода металла в концевую обрезь  $M_o$ , расход энергии  $P_э$ .

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Руденко Е.А.

Исследование выполнили методом математического моделирования с использованием пакета программ «Универсал», разработанного в Дониксе и ДонНТУ. Моделировали редуцирование слябов толщиной 240 мм, шириной 1200 и 1800 мм, длиной 10 м в универсальной клетки. Катающий диаметр ВВ 1350 мм, горизонтальных – 1400 мм. Глубина ручья калибра ВВ 150 мм, выпуск 0,4. Суммарное обжатие в ВВ приняли равным 225 мм. Обжатия  $\Delta B_{в}$  по проходам устанавливали по трем режимам: №I - с возрастанием, №II – с уменьшением и №III -одинаковые. Определяли ширину после ВВ ( $B_{в}$ ), после ГВ в каждом прямом проходе ( $B_{г}$ ) и уменьшение после первого прохода ( $\delta B_{вг}$ ) и суммарное после третьего прохода ( $\delta B_{сум}$ ). Результаты представлены в таблице.

Таблица -Эффективность режимов редуцирования

$B_{с}$ мм	№ реж.	№ прох	$\Delta B_{в}$ , мм	$\Delta H$ , мм	$B_{в}$ , Мм	$B_{г}$ , мм	$\delta B_{вг}$ мм	$\delta B_{сум}$ мм	$\eta$	$\eta_{сум}$	$M_o$ , кг	$P_э$ КВтч/т
1216	I	1	50	14	1166	1181	15		0,7			
		2	75	-	1106							
		3	100	41	1006	1045	39	171	0,78	0,76	138	1,8
	II	1	100	26	1116	1146	30		0,7			
		2	75	-	1071							
		3	50	29	1021	1053	32	163	0,75	0,73	657	1,8
	III	1	75	20	1141	1164	23		0,69			
		2	75	-	1089							
		3	75	35	1014	1049	35	167	0,77	0,74	423	1,8
1824	I	1	50	11	1774	1791	17		0,66			
		2	75	-	1716							
		3	100	26	1616	1657	41	167	0,77	0,74	677	1,3
	II	1	100	18	1724	1757	33		0,67			
		2	75	-	1682							
		3	50	19	1632	1666	34	158	0,73	0,7	1419	1,4
	III	1	75	14	1749	1774	25		0,67			
		2	75	-	1699							
		3	75	22	1624	1662	38	162	0,75	0,72	1118	1,4

Из таблицы видно, что эффективность уменьшения ширины в первом проходе ( $\eta = \delta B_{вг} / \Delta B_{в}$ ) при редуцировании узких слябов выше, чем широких, но не зависит от величины обжатия (номера режима). Эффективность за два последних прохода и за три прохода ( $\eta_{сум} = \delta B_{сум} / \Delta B_{в сум}$ ) выше в режиме №I с увеличивающимися обжатиями и при редуцировании узких слябов выше, чем широких. Величина концевой обрезки также минимальная в режиме с увеличивающимися обжатиями по проходам и значительно ниже (в два-четыре раза) при редуцировании узких слябов. Меньшая величина расхода энергии при редуцировании широких слябов обусловлена большей их массой.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ПОЛОСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗГОННЫХ КАЛИБРОВ

Алексеевко С.С. (ОМТс – 08 д)\*  
Криворожский национальный университет

Расширение сортамента, повышение качества и снижение себестоимости горячекатаных сортовых полосовых и ленточных заготовок являются одними из основных задач, связанных с дальнейшим развитием металлургического комплекса Украины.

Решение задач по расчету процесса горячей прокатки в разгонных калибрах, было осуществлено на основе метода конечных элементов, а полученные результаты показали, что в этом случае имеет место не только продольное, а и поперечное течение металла, прогнозируемое количественно на основе полученных математических моделей.

На основе полученных теоретических решений разработаны схемы реализации процесса прокатки полосовых профилей в разгонных калибрах на мелкосортных станах. В табл. 1 показана калибровка валков и режимы прокатки полосового профиля 63,5×4 мм в условиях мелкосортного стана 250-5 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Таблица 1 - Калибровка валков и режимы прокатки полосового профиля 63,5×4 мм в условиях мелкосортного стана 250-5 ПАО «АМКР»

№ калитра	форма калибра	Размеры калибров				Размеры полосы				Коэф. вытяжки	Объем	Уширение	Угол заката	Диаметр валков		Обороты валков				Передаточное число	Число оборотов двигателя	Скорость прокатки	Длина раската	Константа калибровки		
		Ширина	Глубина реза	Зазор	Высота	Ширина	Стор. кв. или Ф пр.	Площадь сечения	По буртам					Каласный	Мин.	Макс.	Расчетные	об/мин	м/с					м	41 254 777	
																									мм	мм
Исходная заготовка					81	81	6400																	Суммарная вытяжка	10,39	
1		88	20,0	25,0	65	85,1	5391	1,19	16,0	4,1	17,1	400	361,7	8,8	52,5	21,2	11,4	241	0,97			11,2	Средняя вытяжка	1,17		
2		94	19,0	9,3	47,3	91,2	4153	1,30	17,7	6,1	17,9	400	363,8	11,4	58	27,3	11,4	311	1,26				Масса 1 метра профиля, кг	4,830		
3		60	23,0	11,2	57,2	57,8	3058	1,36	34,0	10,5	25,2	400	358,3	16,5	82,5	37,7	10,9	410	1,71				Маши. с	0,0		
4		72	13,0	16,3	42,3	68,7	2624	1,17	14,9	10,9	16,1	400	378,1	21,4	114	41,6	5,8	241	2,00				Пауз. с	1,5		
5		50	24,0	9,6	57,6	46,1	1982	1,32	11,1	3,8	14,1	400	366,6	31	155	56,8	5,8	329	2,64				Темп прокатки, с	1,5		
6		67	7,0	12,0	26	66,3	1425	1,39	20,1	8,7	18,5	400	390,5	40	200	74,1	4,5	334	3,67							
7		33	15,0	10,7	40,7	32,6	989	1,44	25,6	6,8	21,1	400	380,4	51	255	109,7	3,5	384	5,29							
8		46	7,0	8,0	22	45,5	801	1,2	10,6	4,8	13,7	400	370,4	78,5	318	139	2,55	355	6,54							
9		30	12,0	4,0	28	28	616	1,30	17,5	6,0	17,9	400	362,0	106	430	185	1,88	348								
10														146	590			1,37								
11														170	685			1,18								
12													380	170	680			1,47								
13					14	35,45	575	1,07	8,0	7,5	11,8	380	380	200	800			1,25								
14													380	250	1000			1,0								
15					6,5	47,9	395	1,46	7,5	12,4	11,4	380	380	330	1320			0,79								
16													380	330	1320			0,79								
17					4	63,5	254	1,56	9	15,6	12,5	380	380	417	1670	427	1,25	534	8,50							

Реализация предложенного технического решения способствует расширению сортамента, повышению качества, снижению себестоимости и, как следствие, повышению эффективности конкретных промышленных производств.

\* Руководитель – к.т.н., ст. преподаватель кафедры МТ Коренко М.Г.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БЕСКАЛИБРОВОЙ ПРОКАТКИ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Мироненко А.И. (ОМТ – 10 – 2 д)\*  
Криворожский национальный университет

Реализация процесса бескалибровой прокатки способствует расширению сортамента готового металлопроката при одновременном снижении эксплуатационных расходов за счет уменьшения парка рабочих валков и исключения необходимости в нарезке соответствующих калибров, что предопределило достаточно широкое использование данного процесса на ряде сортовых станов.

С учетом промышленных условий реализации процесса бескалибровой прокатки сортовых заготовок сечением 80×80 мм в рабочих валках диаметром 400 мм при проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях на стане 100×100 Г ДГМА (договор Тс-05-2012) прокатке подвергали свинцовые образцы сечением 20×20 мм. Что отвечает критерию физического моделирования исследуемой технологической схемы.

Экспериментальные распределения силы и суммарного момента прокатки в зависимости от величины относительного обжатия, а также аналогичные распределения соотношения конечной и исходной ширины представлены на рисунке.

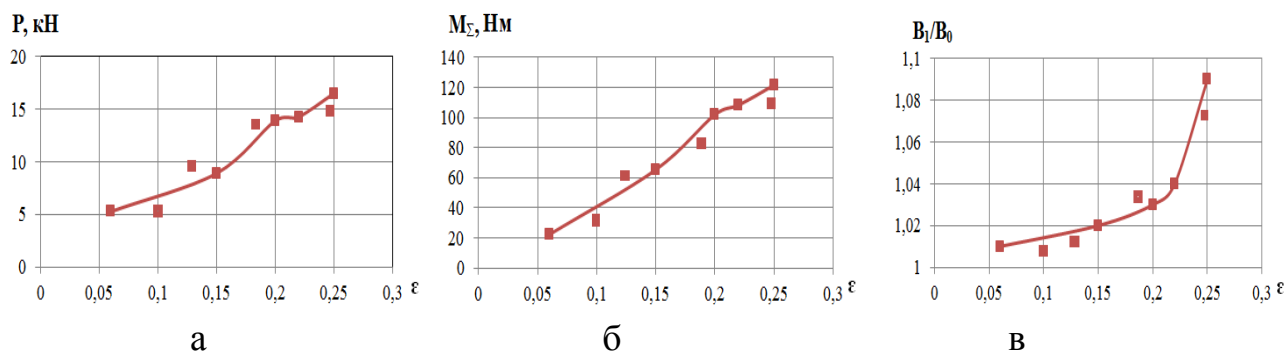
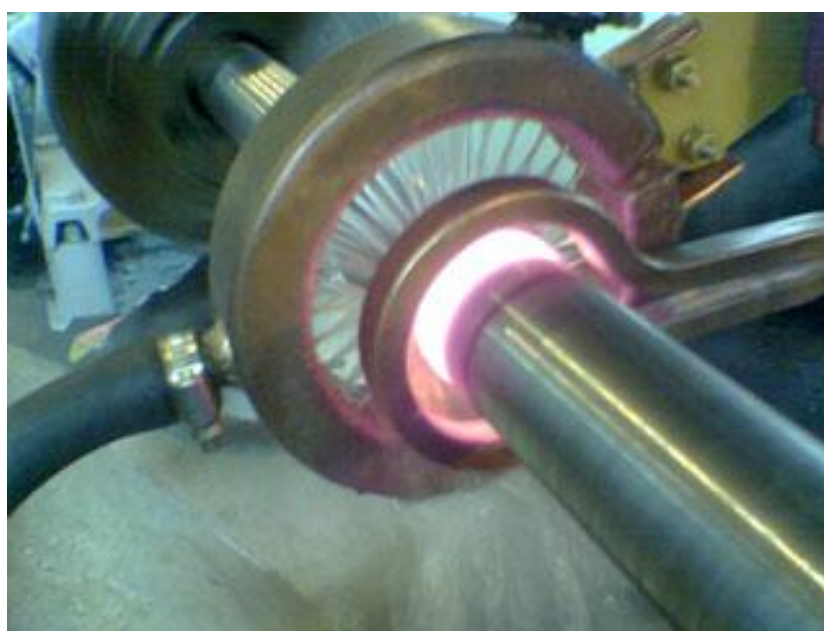


Рисунок – Экспериментальные распределения силы  $P$  (а), суммарного момента  $M_{\Sigma}$  (б) и соотношения ширины  $V_1/V_0$  (в), полученные применительно к бескалибровой прокатке свинцовых образцов (20×20), на лабораторном мини-стане 100×100 Г ДГМА

На основе полученных результатов экспериментальных исследований предложен вариант совершенствования технологии прокатки на мелкосортных станах сортовых профилей.

\* Руководитель – к.т.н., ст. преподаватель кафедры МТ Коренко М.Г.

**ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
МЕТАЛЛОВ  
И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**



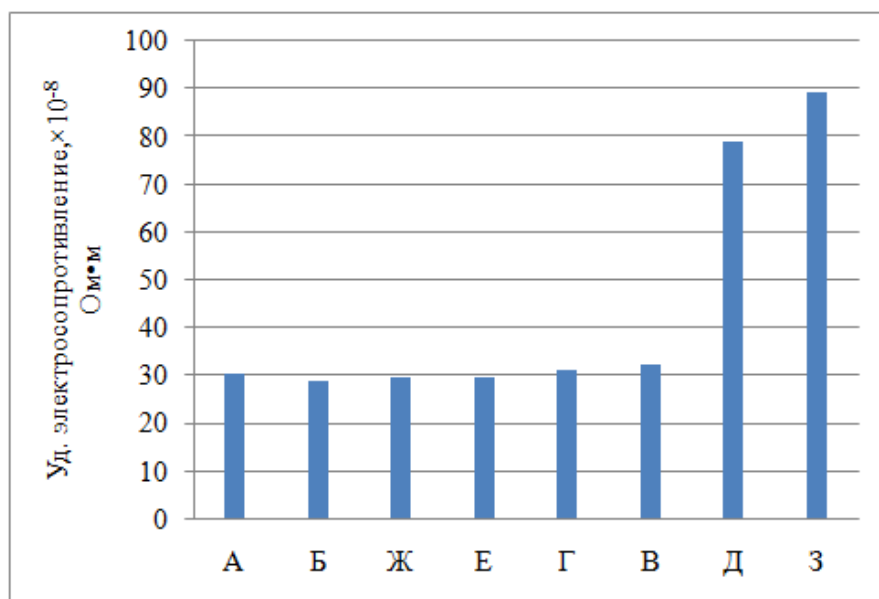
# СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

Пономаренко Д.В. (ТО-09)\*

Донецкий национальный технический университет

Стальную сварочную проволоку широко используют для сварки и наплавки металлоконструкций и изделий из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, для производства электродов и для полуавтоматической и аргонно-дуговой сварки, особенно нержавеющей сталей аустенитного класса в среде защитных газов.

Величина электросопротивления является важной характеристикой сварочной проволоки, определяющей силу тока и стабильность качества процесса и результатов сварки. В настоящей работе проводили оценку электросопротивления сварочной проволоки разных диаметров из отечественных марок сталей в сравнении с проволокой шведской компании ESAB (проволока А). Величину электросопротивления определяли с помощью моста Р4833 с последующим расчетом удельного электросопротивления (рисунок).



Сталь	$d_{пр}$ , мм
А	1,2
Б	1,54
В	1,25
Г	1,58
Д	1,18
Е	1,2
Ж	0,8
З	1,58

Рисунок – Удельное электросопротивление сварочной проволоки разных марок и производителей.

Видно, что сварочная проволока из отечественных углеродистых и низколегированных сталей мало отличается от проволоки компании ESAB; электросопротивление проволоки из высоколегированных сталей в 2-3 раза больше, чем у проволоки массового назначения.

\*Руководители – д.т.н., профессор кафедры ФМ Алимов В.И., асп. Пушкина О. В.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДРОБИ КАК СРЕДЫ ДЛЯ БЕЙНИТИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ

Паршикова В.А. (ПМ-09)<sup>10</sup>

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в качестве арматуры широкое применение находит арматурная проволока, которая эффективно используется в изделиях, конструкциях и сооружениях из предварительно напряженного железобетона. Такая проволока должна иметь достаточную прочность, пониженную склонность к хрупкому разрушению, хорошую свариваемость - всё это может обеспечить бейнитная структура в заготовке для проволоки.

В качестве среды для бейнитирования проволоочной заготовки для высокопрочной проволоки исследовали металлическую дробь (патент Украины №77019), которая имеет ряд преимуществ: уменьшение пыления среды, трудоёмкости, повышение качества получаемой из неё прочной проволоки.

Целью данной работы было изучение кинетики охлаждения проволоки в дроби, при этом моделью служила термопара ХА с диаметром спая 1,8 мм. В качестве охлаждающих сред в экспериментах использовали дробь из низкоуглеродистой (н/у) стали 08Г2С диаметром 1,2 и 1,6 мм, чугунную дробь диаметром 5 мм, медную дробь диаметром 1,3 и 2,2 мм и дробь из эвтектоидной стали диаметром 2,6 мм. Спай помещали в печь СНОЛ- 1,6.2,5.1/11, нагревали до 900<sup>0</sup>С, а затем охлаждали в дроби из н/у стали; кривая охлаждения приведена на рисунке.

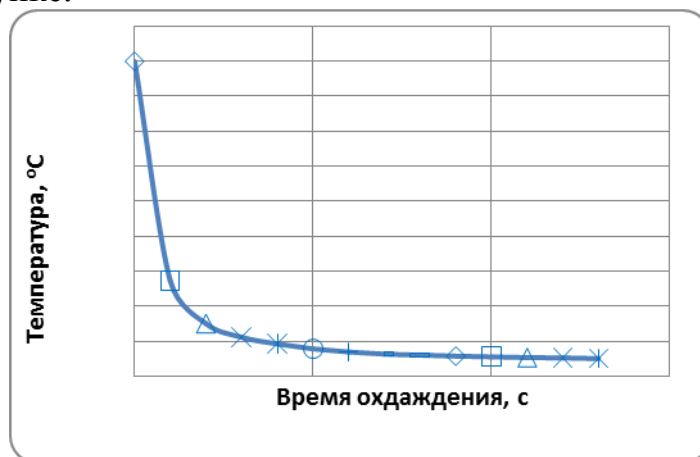


Рисунок 1 – Кривая охлаждения модельного спая диам. 1,8 мм от 900<sup>0</sup>С в дроби из низкоуглеродистой стали

Видно, что в интервале температур 450-350<sup>0</sup>С при охлаждении в дроби принципиально возможно получение бейнитной структуры в проволоке; установление технологических параметров бейнитирования является самостоятельной задачей дальнейших исследований.

<sup>10</sup> Руководители – проф. каф. ФМ, д.т.н. Алимов В.И., асп. Пушкина О.В.



# О ВЛИЯНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА СКЛОННОСТЬ К ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Ткач А.В. (ТО-12с)<sup>11</sup>

Донецкий национальный технический университет

Восстановительная термообработка сломанного инструмента, минуя стадию расплавления, является наиболее актуальным и экономическим методом повышения суммарной стойкости инструмента. Однако повреждения, накапливаемые при первичной эксплуатации инструмента, вызывают повышение степени неравновесности его структурного состояния.

Объектом исследования служила сталь Р6М5 в структурных состояниях после литья, деформации, отжига на зернистый перлит, механической обработки, эксплуатации натурального инструмента. Эксперименты с применением методов оценки скорости газовой коррозии выполняли в электрической печи СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2 в интервале температур (200 – 1130 °С) с выдержкой 10 мин и охлаждением на воздухе; взвешивание производили с помощью весов ВЛА – 200 М (рисунок).

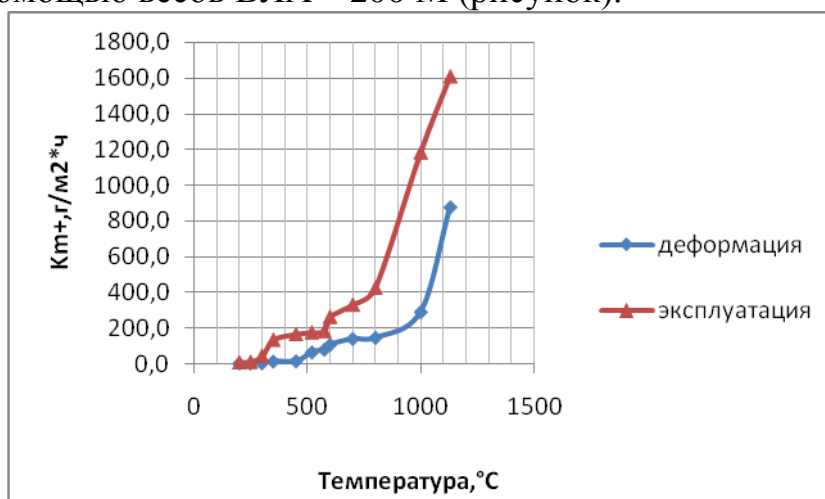


Рисунок – Зависимость показателя  $K_{m+}$  от температуры

Видно, что после эксплуатации скорость окисления резко увеличивается по сравнению с деформированным состоянием, что является следствием накопленных повреждений структуры под действием рабочих нагрузок; подобное неоднократно наблюдали в термоциклически нагруженных трубных конструкциях тепловых агрегатов.

Таким образом, при термическом восстановлении инструмента из быстрорежущей стали с целью продления его суммарного срока службы необходимо принимать меры для защиты от газовой коррозии с учётом размерного поля допуска, особенно радиального для осевого режущего инструмента.

<sup>11</sup> Руководители – д.т.н., профессор кафедры ФМ Алимов В.И., асс. Георгиаду М.В.

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА РОСТ ЗЕРНА АУСТЕНИТА ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОВОЛОКИ

Жук А.Н.(ИМ-09)<sup>12</sup>

Донецкий национальный технический университет

Проволока является востребованным продуктом металлопроизводства, имеющим высокие технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства. Ее уникальные свойства зависят, прежде всего, от исходных материалов, тепловой и деформационной обработки. Для изделий повышенной прочности используют проволоку из стали с содержанием углерода 0,6–1,2 % масс. Следовательно, актуален вопрос о влиянии различных режимов термообработки на свойства проволоки в связи со степенью деформации при переделе.

Целью настоящей работы было установление закономерностей роста зерна аустенита эвтектоидной стали от степени деформации при различных температурах аустенитизации. В экспериментах использовали проволоку, близкую по составу к эвтектоидной, деформированную со степенями 0–75 %, которую нагревали до температур 800 – 1000°С с шагом 50°С и выдерживали 10 мин с последующей градиентной закалкой. Для определения величины зерна использовали метод пересечения границ зёрен согласно ГОСТ 5639. Считают, что холодная деформация способствует зарождению зерна аустенита, но тормозит его рост; температурный интервал аустенитизации после предварительной деформации расширяется. Влияние деформации на размер зерна показано на рисунке.

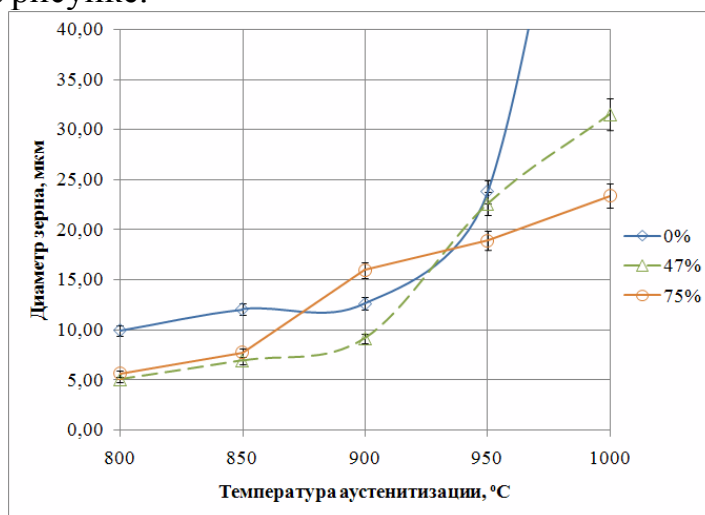


Рисунок – Зависимость размера поперечника зерна аустенита от степени предварительной деформации и температуры нагрева

Видно, что интенсивная холодная деформация при высокотемпературном кратковременном нагреве тормозит рост зерна аустенита, что следует учитывать при назначении режимов аустенитизации при патентировании заготовки.

<sup>12</sup> Руководители – проф. кафедры ФМ, д.т.н. Алимов В.И., асп. Пушкина О.В.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНОДИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА ТИТАНА

Шульдешова А. В. (ПМ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время внимание исследователей всего мира привлечено к изучению свойств пористых оксидных пленок, находящих широкое применение в качестве функциональных материалов. Интерес, проявляемый к оксиду титана, связан с его уникальными физическими и химическими свойствами, такими, как биологическая совместимость, сенсорные и оптические свойства. Кроме того, оксид титана обладает высокой фотокаталитической активностью, позволяющей реализовать процессы очистки поверхностей, воды и воздуха от загрязнений.

Для создания пористых материалов, структурированных на микро- или наноуровнях, применяют как современные нанотехнологии, так и традиционные методы. Наиболее интересной микроструктурой обладают пленки оксида титана, полученные путем анодного окисления металлического титана в присутствии растворяющего электролита (содержащего фторид-ионы — раствор фторида аммония или плавиковой кислоты).

Целью данной работы являлось получение пористых пленок  $TiO_2$  и исследование влияния параметров анодирования на структуру пористого оксида титана.

В ходе работы методом одностадийного анодирования в растворе плавиковой кислоты были синтезированы пленки пористого  $TiO_2$ . В качестве подложки для выращивания пленки использовали титановую пластину толщиной 0,5 мм и размерами 40×40 мм. Анодирование проводили при напряжениях 30, 40, 50 и 60 В, а также по двум температурным режимам (при поддержании на аноде 0°С и 18°С). Для охлаждения образца в процессе анодирования, использовался полупроводниковый элемент Пельтье. Микроструктура полученных пленок исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM 6490LV и просвечивающего электронного микроскопа JEM-200A. ИК спектр оксидных пленок определялся с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра Tensor 27.

В результате исследований было установлено, что все оксидные пленки, полученные методом анодирования, обладают пористой структурой с неоднородным распределением пор по размерам. В работе были получены плёнки с диаметром пор от 300 нм до 3 мкм, причём их стенки состоят из более мелких пор размерами 10 – 70 нм.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры “Физическое материаловедение” Власенко Н.Н.

## ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ СТАЛИ 40Х

Хачатуров А.А.(МТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Поверхностное упрочнение стальных деталей с помощью плазменного дугового разряда – перспективный, но недостаточно изученный метод. Прежде всего, это относится к вопросам распределения температурных полей в области нагрева, а также оценке скоростей нагрева и охлаждения металла в процессе перемещения локального высокотемпературного источника. Особый интерес представляет исследование влияния режимов и скорости перемещения зоны нагрева на формирование упрочненного слоя с целью получения оптимального сочетания прочностных свойств и износостойкости, обусловленного структурными и фазовыми превращениями, происходящими в металле.

Целью данной работы было изучение влияния режимов поверхностной плазменной обработки стали 40Х на структуру и свойства упрочненного слоя.

Предварительные оценочные результаты, были получены экспериментально. В качестве основного параметра процесса задавали скорость перемещения зоны нагрева и режим горения дуги.

Исследования проводились на микроплазменной установке “Мультиплаз 3500”, перемещения зоны нагрева осуществляли в диапазоне скоростей 1,5...4мм/с. Расстояние от сопла до обрабатываемой детали составляло 2-3мм. Расход плазмообразующей смеси (50% H<sub>2</sub>O + 50% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) - 0,25 л/час. Были взяты образцы круглого проката диаметром 80 мм и длиной 300 мм из стали 40Х, содержание химических элементов соответствовало требованиям ДСТУ для данной марки стали. Исходная структура стали 40Х - феррито – перлитная. После плазменной обработки торца проката нарезались образцы для дальнейших исследований.

Образцы обрабатывались в режиме MODE 2 (горение дуги происходит между металлом и соплом). Скорость перемещения зоны нагрева в процессе обработки составляла: V<sub>1</sub>=1,5 мм/с, V<sub>2</sub>=1,8 мм/с, V<sub>3</sub>=2 мм/с, V<sub>4</sub>=2,6 мм/с, V<sub>5</sub>=2,8 мм/с, V<sub>6</sub>=3 мм/с, V<sub>7</sub>=3,4 мм/с, V<sub>8</sub>=4 мм/с.

При макроструктурном анализе было выявлено, что при обработке образцов со скоростью V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>, происходит оплавление поверхности, зона термического влияния велика. Структуры таких зон обработки будут иметь мартенсит с дендритными включениями (рисунок 1). При обработке образцов со скоростью V<sub>6</sub>, V<sub>7</sub> и V<sub>8</sub> оплавление в зоне нагрева не наблюдается.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры “Физическое материаловедение” Власенко Н.Н.

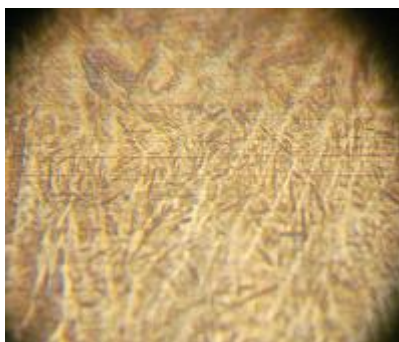


Рисунок 1 - Микроструктура поверхностного слоя с оплавлением ( $\times 400$ )

Металлографический анализ упрочненных образцов с использованием оптической микроскопии показал, что зона термического воздействия плазменной струи имеет форму сегмента (рисунок 2). При обработке без оплавления она состоит из закаленной зоны, в которой произошли мартенситные превращения, и пограничной (переходной к исходному материалу). При обработке с оплавлением возникает дополнительная поверхностная зона оплавления (закалка из жидкого состояния).



Рисунок 2 - Макроструктура зоны термического воздействия на стали 40X ( $\times 100$ )

Микроструктура закаленной зоны представляет собой весьма однородный высокодисперсный мартенсит + остаточный аустенит + карбиды. Формирование такой структуры обусловлено малыми размерами аустенитных зерен, образовавшихся при высокоскоростном плазменном нагреве. Несмотря на очень высокие температуры нагрева при оптимальных режимах обработки, близкие к температуре плавления, рост зерна аустенита, а также его гомогенизация не происходят из-за чрезвычайно малой длительности пребывания металла при данной температуре и последующего резкого охлаждения.

Проведенные эксперименты показали, что скорость перемещения зоны нагрева влияет на структурные и фазовые превращения на поверхности обрабатываемого металла. При варьировании скорости перемещения зоны нагрева, можно создать оптимальный режим обработки для достижения требуемой структуры.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОБМАЗОК НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНОГО КАОЛИНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОКИСЛЕНИЯ И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ

Баирова И.И. (ПМ-12с)<sup>13</sup>

Донецкий национальный технический университет

При деформационных и термических обработках стальных полуфабрикатов и изделий производят нагрев до температур 900-1300<sup>0</sup>С. В результате взаимодействия металла с кислородом в процессе нагрева поверхностные слои металла окисляются, на поверхности заготовок образуется слой окалины, что, кроме прямой потери металла, вызывает необходимость проектирования припусков на изделиях, что усложняет технологию и т.д.

Для снижения потерь металла с окалиной широко применяют обмазки, содержащие легко- и тугоплавкие оксиды. В то же время некоторые природные материалы содержат часть таких оксидов.

В связи с этим целью данного исследования является изучение свойств обмазок на основе природного щелочного каолина с массовым соотношением оксидов щелочных металлов (K<sub>2</sub>O:Na<sub>2</sub>O) более 20.

Для исследований использовали горячекатаную сталь 50 в виде образцов диам. 30 мм после контроля химического состава, твердости и микроструктуры. Далее образцы шлифовали перед нанесением обмазок. Для обмазок использовали: 1) Каолино-кварцевая смесь КНВ-1; 2) Калиево-полевошпатовая смесь марки Е-2013. Эксперименты включали в себя изготовление 6-ти обмазок на их основе. Обмазки наносили толщиной 1 мм, затем сушили в течение суток. Термическая обработка заключалась в нагреве образцов в электрической печи до температур 800, 900, 1000<sup>0</sup>С, с выдержками 20 и 60 мин при каждой температуре. После обработки все образцы подвергали визуальной оценке состояния обмазки и легкости ее удаления.

Микроструктура образца в обмазке с щелочным каолином представлена на рисунке.



Рисунок - Микроструктура образца, ×160

Видно, что обезуглероженный слой отсутствует и, таким образом, природный щелочной каолин предпочтителен для изготовления обмазок, для защиты поверхности стальных изделий от окисления и обезуглероживания.

<sup>13</sup> Руководитель - д.т.н., профессор кафедры физическое материаловедение Алимов В.И.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА АУСТЕНИТА В ПОРОШКООБРАЗНОЙ СРЕДЕ ГРАФИТА

Пономарёва И. В. (МТ – 12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Основным методом получения высоких пластических и вязких свойств проволоки при предельных прочностных свойствах на сегодняшний день остается патентирование заготовки в расплавах солей, вредных как для общей экологической обстановки, так и для здоровья работающих на данном производстве.

Целью настоящего исследования является изучение кинетики процессов, происходящих при охлаждении проволоки в среде серебристого графита как экологически чистой и менее дорогостоящей среды по сравнению с расплавами солей, применяемыми при термообработке проволоки.

Эксперименты по построению кинетической кривой проводили на проволоочных образцах из эвтектоидной стали (0,83% С) размерами ( $l = 30$  мм,  $d = 2$  мм) с исходной перлитной структурой. Образцы загружали в нагревательную электрическую печь МП-2УМ, предварительно нагретую до температуры  $900 \pm 10^\circ\text{C}$ . Общее время нагрева и выдержки при данной температуре составило 10 мин.

После окончания выдержки первый образец подвергали закалке в воде, а последующие по одному быстро переносили в тигель с серебристым графитом ( $T_{\text{гр}} = 25^\circ\text{C}$ ) во избежание потерь тепла и выдерживали в течение 1 – 120 с, а затем резко охлаждали в воде.

На шлифах исследуемых образцов измеряли микротвёрдость (рис.1), а также изучали микроструктуры (рис.2).

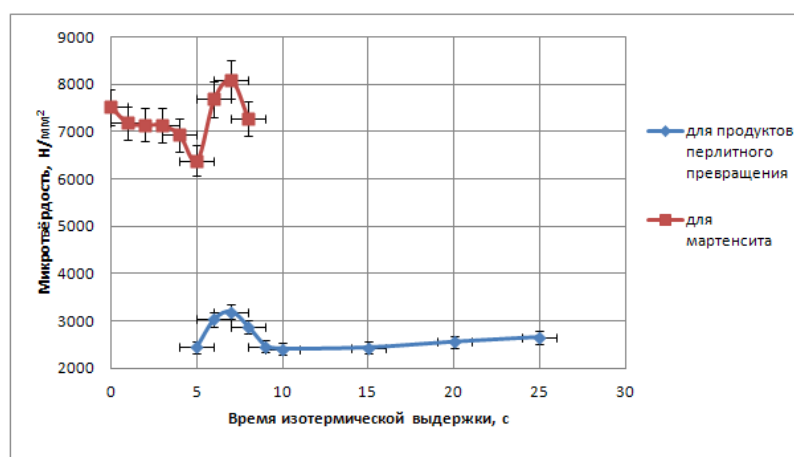


Рисунок 1 - Зависимость микротвёрдости структурных составляющих образцов от времени изотермической выдержки.

\*Руководители – д.т.н., профессор кафедры ФМ Алимов В.И., асп. Пушкина О. В.

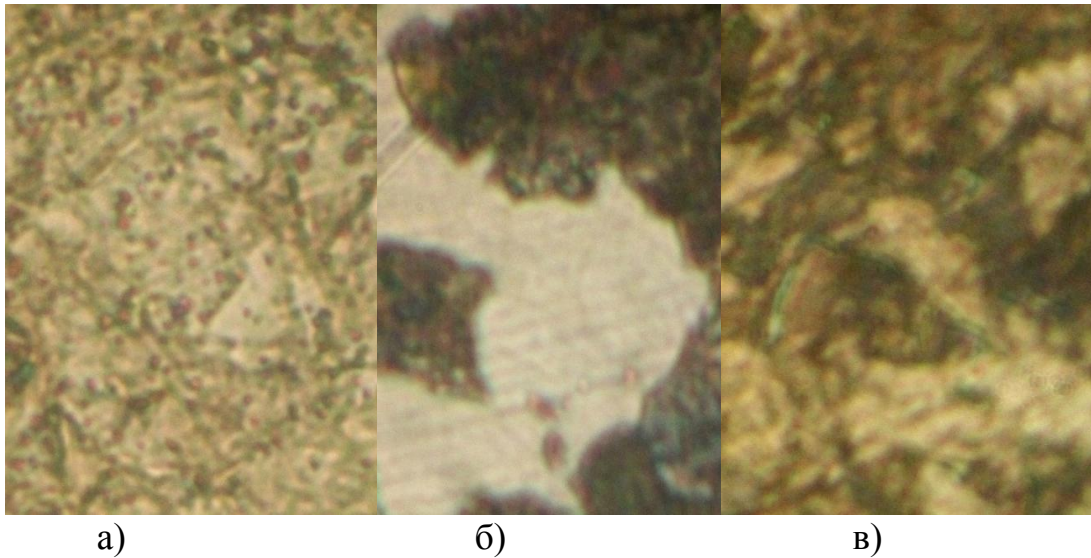


Рисунок 2 – Микроструктуры образцов после термообработки с выдержкой: а) 1с; б) 5с; в) 10с (продольное сечение,  $\times 476$ ).

По микроструктурам исследуемых образцов оценивали долю превращённого аустенита по методу секущих. Кинетическая кривая превращения аустенита в перлит приведена на рисунке 3.

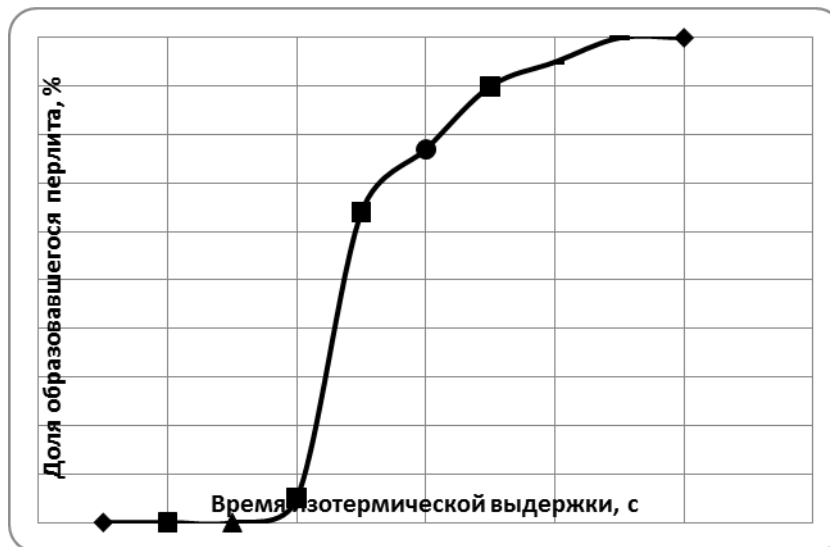


Рисунок 3 – Кинетическая кривая распада аустенита при охлаждении в графите.

Таким образом, экспериментальным путём получена кинетическая кривая превращения аустенита в перлитные структуры, что определяет возможность построения изотермических кривых с целью установления условий формирования сорбитной структуры в процессе сорбитизации проволоки в среде графита.



## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШВЕЙНЫХ ИГЛ ИЗ ПРОВОЛОКИ ТОВАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Зозуля А.П. (ТО-10)\*

Донецкий национальный технический университет

Швейные иглы относятся к изделиям массового производства, широко используемым в промышленности и в быту, спрос на которые имеет тенденцию к развитию. Изготовление игл является сложным процессом. Специальную проволоку диам. 0,25–5 мм производят из качественной высокоуглеродистой стали, выплавляемой в электропечах, после чего отжигают в печах с нейтральной атмосферой, не допускающей окисления и обезуглероживания поверхности, и поставляют потребителю в отожженном или нагартованном состоянии без трещин, плен, заусенцев и других дефектов. Готовые иглы испытывают на изгиб и твердость. Ручная игла должна ломаться только при изгибе на 30–40°; иглы могут быть с покрытиями, например, никелевым.

В последнее время участились случаи поломки и потери формы игл. В связи с этим целью настоящей работы является изучение структуры и свойств игл поставки предприятия ООО «Игольный завод» (Россия). Для исследований отобрали образцы иглы с предлагаемой на рынке структурой и образцы этой же иглы после полного отжига при температуре 900°С с кратковременной выдержкой. Образцы монтировали в шлифы по стандартной технологии и изучали микроструктуру на микроскопе МИМ-7 (рисунок) и микротвердость на приборе ПМТ-3. Видно, что микроструктура соответствует стали, содержащей не более 0,2 % углерода, твердость при этом составляет 1448 Н/мм<sup>2</sup>, что нецелесообразно для высококачественных игл.

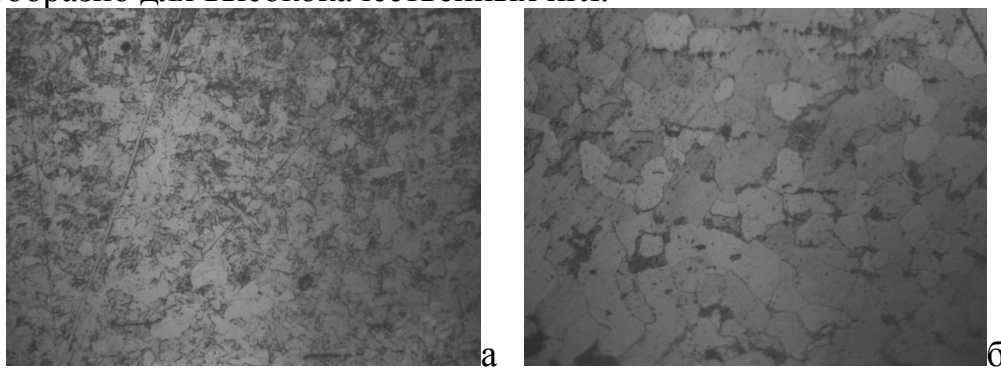


Рисунок – Микроструктура ручной швейной иглы в исходном состоянии (а) и после полного перекристаллизационного отжига (б),  $\times 450$

Таким образом, микроструктурно подтверждена информация о низком качестве ручных швейных игл, что, по-видимому связано со стремлением предприятий – изготовителей удешевить и упростить технологию их производства, что может быть оправдано лишь для единичного и разового производства.

\*Руководители – д.т.н., профессор кафедры ФМ Алимов В.И., асп. Пушкина О. В.

# ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОКАТА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЁРДОСТЬ СТАЛИ 40X ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Пустовит А.С. (ПМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Известно, что стали для холодной высадки должны иметь в своём исходном состоянии структуру зернистого перлита определённого бала. Такая структура в сравнении со структурой пластинчатого перлита характеризуется лучшей технологичностью в процессе формообразования изделия в холодном состоянии и обладает рядом достоинств. Основными из них являются: равномерное распределение карбидных частиц в ферритной матрице, низкая твёрдость, высокая пластичность, обеспечивающие хорошую штампуемость, чистовую вырубку, обрабатываемость резанием, получение после обработки резанием качественной поверхности, повышение стойкости режущего инструмента и экономичности холодной механической обработки; минимально возможная удельная поверхность карбидных частиц и, как следствие этого, медленная диссоциация их при аустенитизации, задержка роста зерна аустенита; меньшая склонность к перегреву и образованию трещин при закалке, более широкий интервал допустимых закалочных температур, отсутствие склонности к структурному наследованию (восстановлению крупного аустенитного зерна); получение при закалке меньшего количества остаточного аустенита и меньшей деформации изделий при последующем отпуске; получение после окончательной термической обработки (закалки с отпуском) наилучшего сочетания прочности и пластичности при высокой твёрдости, более высокого сопротивления контактной усталости и более высокой износостойкости.

Предшествующая отжигу холодная пластическая деформация стали существенно ускоряет оба этапа сфероидизации карбидов: деление пластин цементита и трансформацию пластин в глобулы. Она ускоряет также и коалесценцию карбидных частиц.

При производстве высокопрочных крепёжных изделий, в том числе и из стали 40X, их подвергают упрочняющей термической обработке – закалке с высокотемпературным отпуском. При этом исходная структура стали может оказывать заметное влияние на структуру закалённой стали и конечные свойства изделий.

Целью данных исследований явилось изучение влияния исходной структуры стали 40X на её структуру и твёрдость после закалки. При этом основное влияние было уделено именно влиянию степени сфероидизации цементита перед закалкой.

Образцы для исследований отбирали в условиях Дружковского метизного завода из бунтов, подвергнутых сфероидизирующему отжигу по заводскому

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФМ Горбатенко В.П.

режиму. Образцы из серии №№ 2 и 3 вырезали из бунтов стали, сфероидизирующему отжигу которых предшествовала калибровка на диаметр 21,6 мм. Серии отличались местом вырезки образцов по высоте бунта. Образцы серии №1 вырезали из бунта, не подвергавшегося калибровке перед отжигом. Образцы из серии №4, аналогичные по условиям отбора из серии №1, перед закалкой подвергались нормализации.

Далее образцы из этих серий подвергали закалке с нагревом до температур 850-860°C с последующим охлаждением в масле. Зернистый перлит является наиболее оптимальной исходной структурой перед закалкой. После сфероидизирующего отжига металлографическим методом определяли долю зернистого перлита в структуре стали. После закалки измеряли твёрдость (HRC) по сечению образцов и анализировали характер структуры стали. Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица – Результаты оценки степени сфероидизации цементита после отжига и твёрдости стали 40X после закалки.

Показатель	Единицы измерения	Серия 1	Серия 2	Серия 3	Серия 4
Степень сфероидизации цементита после отжига	%	80-85	95-100	85-90	0
Твёрдость стали после закалки	HRC	53±1	56±0,5	55±0,5	51±1

Анализ полученных результатов показывает, что предшествующая холодная пластическая деформация при калибровке способствует повышению степени сфероидизации цементита в процессе сфероидизирующего отжига. Установлено, что повышение степени сфероидизации цементита перед закалкой обеспечивает получение более высокой твёрдости закалённой стали и измельчение её структуры. Наиболее низкая твёрдость закалённой стали была получена в образцах, подвергавшихся предварительной нормализации, когда в структуре наблюдали более крупные иглы мартенсита.

Таким образом, сфероидизирующий отжиг является очень важным этапом в предварительной термической обработке многих сталей, которые в состоянии поставки должны иметь структуру зернистого перлита и максимальную степень сфероидизации цементита. Повышение доли зернистого перлита в структуре стали 40X способствовало увеличению твёрдости структуры после закалки.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ НА УПРОЧНЯЕМОСТЬ СТАЛИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

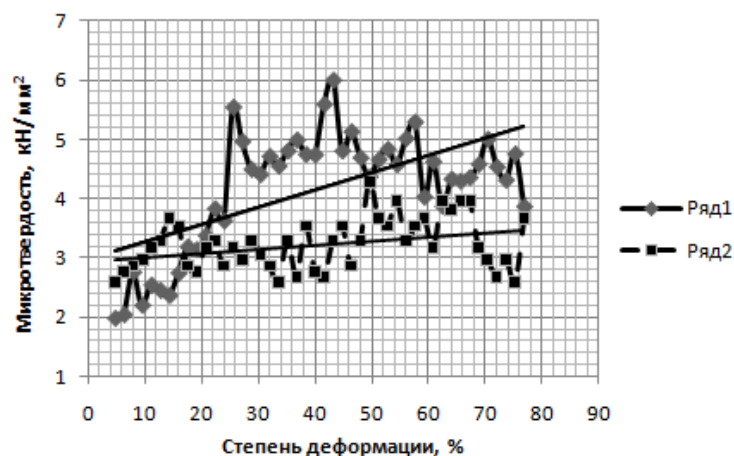
Сушко В.В. (ПМ-12с), Мигачёва А.Е. (ТО-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Холодная пластическая деформация (ХПД) приводит к изменению основных физико-механических свойств сталей, которое носит объединенное название – наклеп. Прямая зависимость упрочнения от степени деформации характерна для однородных структур, таких как твердые растворы. Известно, что наличие перлита вносит свой вклад в упрочнение ферритной фазы.

В работе изучили влияние ХПД на наклеп горячекатаной листовой стали с разным расстоянием между полосами перлитных колоний.

Клиновидные образцы с различным развитием полосчатости подвергали ХПД осадкой на гидравлическом прессе Г4614 с усилием 100т и со степенями деформации 0...77%.

Среднее измеренное расстояние между строками перлита для первой группы образцов до и после деформации составило 36 и 25мкм соответственно, а для образцов второй группы – 27 и 18мкм соответственно. Величину наклепа оценивали по результатам измерения микротвердости вдоль боковой поверхности деформированных клиновидных образцов. Результаты измерений представлены на рисунке.



Ряд1 – образец с «широким» межстрочным интервалом;

Ряд2 - образец с «узким» межстрочным интервалом

Рисунок – Распределение микротвердости в зависимости от ХПД

Видно, что с увеличением степени деформации микротвердость возрастает. Причем, на образце с «широким» межстрочным интервалом микротвердость увеличивается с 3,1 до 5,2 кН/мм<sup>2</sup>, а на образце с «узким» межстрочным интервалом микротвердость увеличивается с 3,0 до 3,5 кН/мм<sup>2</sup>.

\* Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ФМ Оноприенко В.Г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ СЛИТКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭШКП ПРЯМЫХ ОТХОДОВ МЕХОБРАБОТКИ

Кривошея И. А. (ПМ-12м)<sup>14</sup>

Донецкий национальный технический университет

Важнейшим направлением совершенствования и развития отечественного литейного производства в условиях рыночных отношений является максимальное снижение себестоимости производимых литых заготовок при обеспечении заданного качества. По долгосрочным прогнозам стоимость металла непрерывно растет. В связи с этим перед предприятиями встает проблема полного использования отходов, например стружки, доля которых составляет 25-50% при изготовлении деталей. Переплав стружки позволяет экономить значительное количество первичных шихтовых материалов. Металлургами разработаны процессы Redsmelt, Hismelt, Primus, и др. Большинство этих процессов предусматривают длительный цикл подготовки отходов к переработке: сушка сырья, брикетирование, нагрев и удаление загрязнений, предварительное восстановление в твердой фазе, плавление и рафинирование, и т.д. Электрошлаковая технология, характеризуется высокой экономичностью и широким диапазоном технических возможностей, обеспечивает высокое качество металла, получаемого переработкой металлоотходов, позволяет добиться сокращения затрат на всех стадиях переработки металлов и исключение некоторых стадий.

В работе изучили особенности макро- и микроструктуры и их распределение по высоте слитка, изготовленного методом электрошлакового кокильного переплава нерасходуемым (графитовым) электродом стружки сталей 45 и 40X, без предварительной промывки и сушки (то есть возможны включения СОЖ, масла, окислов и т. п.).

Химический состав верхней части слитка, который приведен в таблице.

Таблица – Химический состав слитка, % мас.

Зона слитка	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
Верхняя часть	0,57	0,63	0,11	0,024	0,021	0,32	0,229	0,18	0,052
Центральная часть	0,49	0,62	0,12	0,024	0,023	0,34	0,229	0,18	0,047

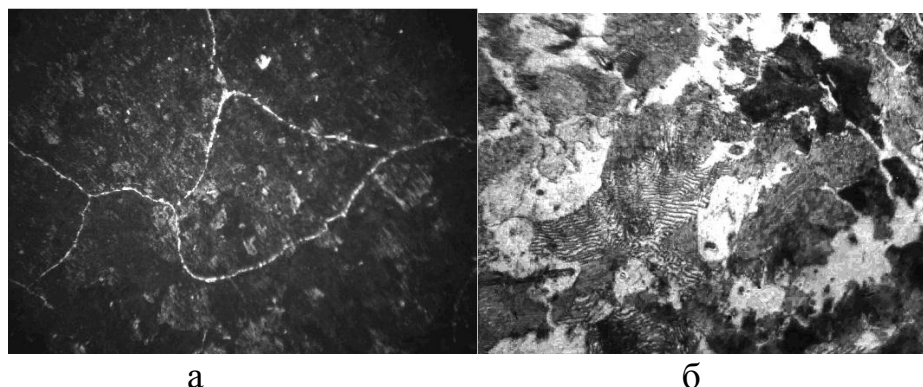
Как видно из таблицы верхняя часть слитка имеет более высокое содержание углерода, что связано с особенностями технологии ЭШКП, однако колебания содержания углерода не превышают 15%.

Для исследования были отобраны образцы из трех разных участков слитка: прибыльной, средней и нижней части слитка. Изучение микроструктуры

<sup>15</sup> Руководитель – к. т. н. доц. Оноприенко В. Г., к. т. н. доц. Пасечник С. Ю.

проводили на микроскопе Nu-2 при увеличении  $\times 100$ . Микроструктуру изучали на микроскопе Nu-2 при увеличениях  $\times 100$  и  $\times 200$ . Количественную оценку пористости проводили с помощью программы Image Tool.

Микроструктура образцов показана на рисунке 1.



а – верхняя часть слитка,  $\times 100$ ; б – нижняя часть слитка  $\times 200$   
Рисунок 1 – Микроструктура исследованных образцов

Частотные кривые распределения размеров пор по высоте слитка представлены на рисунке 2.

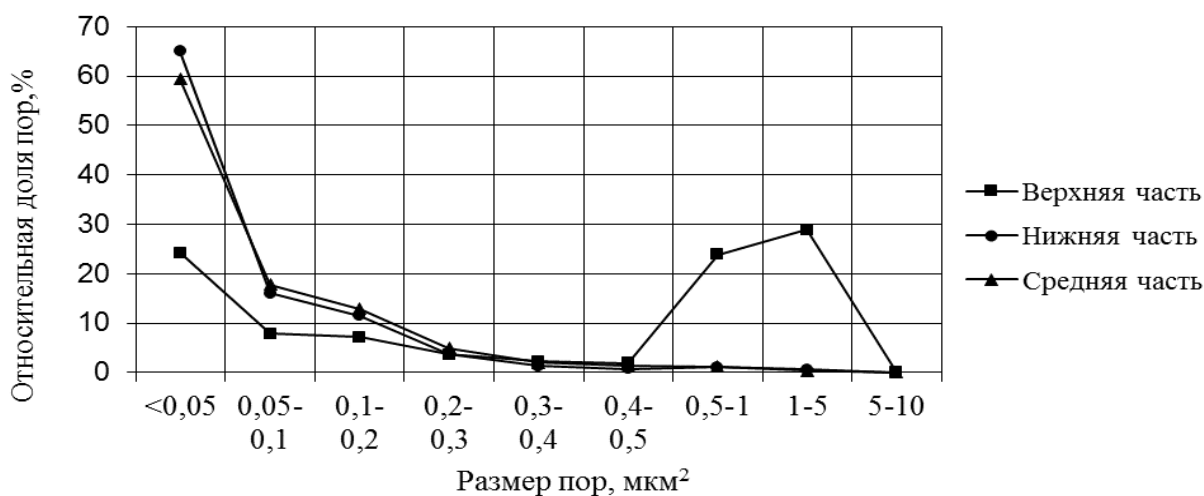


Рисунок 2 – Частотные кривые соотношения размеров пор и их количества

Как видно из рисунка, в верхней части слитка появляется большая доля пор со средней площадью  $5 \mu\text{m}^2$ . В нижней и центральной части таких пор не обнаружено. Установленный эффект можно объяснить тем, что вместе с газовыми пузырями в верхнюю часть слитка поднимаются присутствующие в шихте загрязнения.

В дальнейшем планируется изучение комплекса механических свойств стали, полученной методом ЭШКП прямых отходов мехобработки.

## АНАЛИЗ ОДНОРОДНОСТИ НЕПРЕРЫВНО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ВТОРИЧНОЙ БРОНЗЫ

Бостанжи Е.Ю. (группа МТ-09)<sup>15</sup>

Донецкий национальный технический университет

Вторичные цветные сплавы выпускаются в строгом соответствии с действующими стандартами, являясь во многих случаях полноценными заменителями первичных металлов, а цены на них на 20 - 30 % ниже цен на первичные. Вторичные литейные сплавы на медной основе, например, оловянные бронзы, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности; они обладают высокими литейными свойствами, хорошей антикоррозионной устойчивостью, а также высокими антифрикционными свойствами, широко применяются для производства фасонного литья, пароводяной арматуры и деталей, работающих на трение.

Целью данной работы является оценка однородности вторичных непрерывно литых бронз типа БрОЦС: для этого изучали изменение структуры (рис.1) и твердости (рис.2) по сечению заготовок диам. 50 мм.

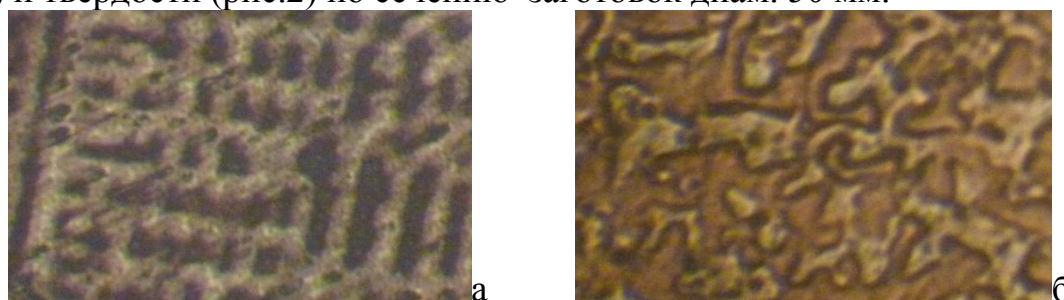


Рисунок 1 – Структура бронзы в центре заготовки (а) и у кромки (б),  $\times 160$



Рисунок 2 – Изменение твердости бронзы БрОЦС по сечению заготовки

Видно, что твердость непрерывно литой вторичной оловянной бронзы увеличивается от центра к кромке заготовки; при этом регулярная в центре дендритная структура к кромке слитка переходит в неупорядоченную.

<sup>15</sup> Руководители – проф. каф ФМ, д.т.н. Алимов В.И., асп. Пушкина О.В.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПУАНСОНОВ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ШТАМПА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Жариков А. Ю. (ТО - 10)<sup>16</sup>

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время для повышения производительности штампов холодного деформирования металлов, например, вырубки статорных и роторных пластин, производители все чаще используют для рабочих частей твердые сплавы различного состава. В условиях Мини-машиностроительного завода филиала АО «Норд» проектируют и производят многопозиционные штампы для холодного деформирования электротехнической стали, в которых матрицы и пуансоны, изготовленные из твердых сплавов, выходят из строя по причине поломки и износа.

Для исследования брали пуансоны различной формы в зависимости от позиции на штампе, изготовленные из твердого вольфрамо-кобальтового сплава ВК15. Микроструктуру определяли с помощью микроскопа МИМ – 7 при увеличении 500; травление производили в 3 % - м кипящем водном растворе перекиси водорода. Размеры карбидов измеряли и обрабатывали с помощью программы ImageTool 3, используя в качестве характеристики неравноосных частиц диаметр Феррета. Твердость измеряли на приборе ТК-2М по шкале А.

Внешний вид сломанного пуансона и его микроструктура, состоящая из зерен WC (светлая составляющая), связанных твердым раствором WC в Co (темная составляющая), представлены на рисунке. В центре видно скопление пор. Средний диаметр карбидных частиц находится в пределах 1 – 2 мкм; твердость составляет порядка 75-78 HRA.

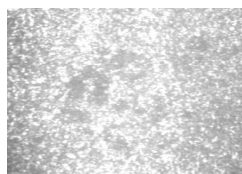
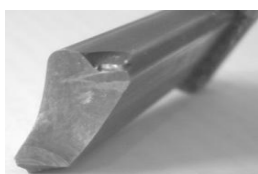


Рисунок – Вид излома пуансона(х 1) и его микроструктура (х500)

По внешнему виду излома пуансонов видно, что он носит хрупкий характер. При рассмотрении микроструктуры установлено скопление пор по всему сечению пуансона; поры имеют средний размер 5 – 7 мкм.

Таким образом, преждевременное разрушение пуансонов может происходить из-за наличия в микроструктуре значительной пористости, которая приводит к появлению очагов локальных напряжений, что при нагрузке в работе пуансонов играет роль катализатора хрупкого разрушения; с этим связана и заниженная твердость пуансона из данного сплава.

<sup>16</sup> Руководитель – докт. техн. наук, проф. каф. ФМ Алимов В. И., асс. Георгиаду М. В



## СТРОЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО ХРОМИРОВАННОГО СЛОЯ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАЛЯХ

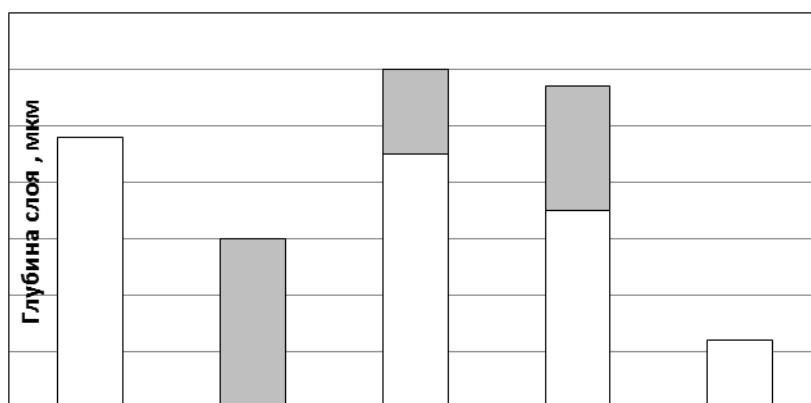
Мартыненко Ю.И. (ТО – 12с)<sup>17</sup>

Донецкий национальный технический университет

Диффузионное хромирование является наиболее эффективным покрытием, применяемым для повышения износо- и коррозионной стойкости. По комплексу свойств хромированный слой превосходит практически все диффузионные покрытия. Свойства слоя в значительной степени определяются исходным химическим составом материала изделия.

Целью работы являлось изучения влияния содержания углерода и легирующих элементов в стали на глубину и строение хромированного слоя. Хромирование выполняли в порошковой смеси, содержащей феррохром марки FeCr70 С03, оксид алюминия и хлористый аммоний. В качестве контейнера использовали стальную или алундовую трубку с герметично закрытыми отверстиями.

Изучение микроструктуры на поперечных шлифах показало, что толщина и строение хромированного слоя сложным образом зависят от исходного состава стали (см. рис.).



серый цвет – карбидный слой, белый цвет – диффузионный слой

Рисунок – Глубина хромированного слоя на разных сталях, полученная при 1100 °С за 6 ч

Увеличение содержания легирующих элементов способствует значительному снижению толщины слоя. Образование карбидной зоны с высокой твердостью определяется исходным содержанием углерода. При этом твердость этого слоя пропорциональна содержанию углерода и изменяется от 9000-15000 Н/мм<sup>2</sup> в среднеуглеродистых сталях до 21000 Н/мм<sup>2</sup> в стали 80.

<sup>18</sup>Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Крымов В.Н.

# МЕТОД ОЦЕНКИ КОРРОЗИОНО-АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ДЕРЖАВОК РЕЗЦОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ

Присич Д.И. (ТО-12с)<sup>1</sup>

Донецкий национально технический университет

Во время работы в угольных шахтах державки резцов горных комбайнов испытывают большие динамические и коррозионно-истирающие нагрузки, а следовательно, достаточно быстро изнашиваются, что приводит к их частой замене.

Целью работы является разработка метода оценки коррозионо-абразивной стойкости путем расчета удельного показателя износостойкости.

Материалом для исследований служила сталь 30ХГСА, широко применяемая для державок резцов. Эксперименты проводили на лабораторной установке для коррозионо-абразивного износа по патенту Украины № 17644, МПК G01N 3/56 (авт. Алимов В.И., Георгиаду М.В.) . В качестве рабочих сред использовали: воду, уголь, щебень, угольную пыль: эти среды моделируют среды, в которых эксплуатируются резцы. Цикл каждого исследования длился по 30 минут при скорости вращения маховика 93 об/мин. Результаты измерений и расчётов приведены в таблице.

Таблица – Результаты оценки удельного показателя износостойкости

№ опыта	Масса образца до испытаний, г	Масса образца после испытаний, г	Убыль массы, г	Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	Удельный показатель стойкости, г/м*с*мм <sup>2</sup>
1	5,48420	5,48090	0,00330	564	$4,6 \cdot 10^{-10}$
2	6,45700	6,45565	0,00135	556	$4,7 \cdot 10^{-10}$
3	5,39125	5,38375	0,00750	528	$4,9 \cdot 10^{-10}$
4	6,73510	6,72925	0,00585	580	$4,5 \cdot 10^{-10}$
5	8,36120	8,35890	0,00230	616	$4,2 \cdot 10^{-10}$
6	10,08900	10,0806	0,00840	792	$3,3 \cdot 10^{-10}$

Видно, что удельный показатель износостойкости учитывает длину пройденного пути, время работы и работающую поверхность державки.

Из таблицы следует, что разработанная методика обеспечивает воспроизводимость результатов и может использоваться для оценки износостойкости как при отработке режимов упрочнения, так и для натуральных резцов, работающих в шахтных условиях.

<sup>1</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Егоров Н.Т, асс. Георгиаду.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Бугаёва Т.А. (ПМ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Металлургия – важнейшее звено народного хозяйства страны, сердцевина всей тяжёлой индустрии. От уровня развития металлургии зависит производительность труда и качество продукции, выпускаемой многими отраслями народного хозяйства.

В настоящее время ведутся многочисленные разработки наиболее эффективных технологических процессов термической обработки для различных деталей и инструментов с использованием новейших достижений в этой области. Назначение и проведение необходимых режимов термообработки требует знания свойств металла в разных его состояниях.

Свойства, которые необходимо придать полученному металлу, в большинстве случаев, можно получить только с использованием термической обработки.

Свойства стали зависят от формы, размеров и распределения неметаллических включений. И, по мнению ряда исследователей, определяющим фактором является критический размер включений, который установлен для многих материалов.

Целью данной работы является исследование структуры и свойств заготовок углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода 0,60-0,65 % после горячей пластической деформации и последующей термической обработки. Для исследования были использованы образцы из сталей: 60С2А, 65Г и 6ХВ2С. Образцы из указанных сталей были вырезаны из сортового проката  $\varnothing 20 \div \varnothing 56$  мм для проведения в дальнейшем различных видов термической обработки. Исследование структуры начали с анализа неметаллических включений и производили по ГОСТу 1778-70 по шкале «б»: для образцов из стали 60С2А исследования позволили выявить неметаллические включения принадлежащие к 1-2 классу.

В ходе предварительных исследований также производили измерение твердости с использованием прибора ТК-2М. Установили, что образцы из сталей 65Г и 6ХВ2С имеют твердость в исходном состоянии после горячей пластической деформации прокаткой 11-14HRC и 13-15HRC соответственно. Образцы из стали 60С2А, полученные методом непрерывной разливки и последующей горячей пластической деформации прокаткой, имеют более высокую твердость (20-24HRC).

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Петрущак С.В.

## ОЦИНКОВАНИЕ ПРОВОЛОКИ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Чалый А.В. (группа ПМ-09)<sup>18</sup>

Донецкий национальный технический университет

Цинковые покрытия широко используются для защиты стальных изделий от коррозионного воздействия внешней среды. Наряду со всеми достоинствами (дешевизна, простота получения и т. д.) цинковым покрытиям присущи недостатки, заключающиеся в низком сопротивлении механическому воздействию и часто недостаточной, но необходимой, износостойкости. В мировой практике проводятся исследовательские работы, целью которых является упрочнение и увеличение износостойкости цинковых покрытий. Известные методы упрочнения, предложенные в данных работах, сложны и требуют дорогостоящего оборудования.

Целью настоящей работы является разработка более простого и экономичного метода нанесения и упрочнения цинкового покрытия.

Для проведения экспериментов отбирали образцы сильно деформированной проволоки (на 75 %), которые нагревали до 200<sup>0</sup>С в печи, далее их очищали и обезжировали. Затем их монтировали в специальное устройство, обеспечивающее вращение образца со скоростью 250-300 об/мин и контакт с кусковым технически чистым цинком: за счет сил трения происходило подплавление и нанесение цинка на поверхность проволоки.

Пример качественного по макроструктуре покрытия, полученного с помощью этого механического метода нанесения цинка, показан на рисунке.

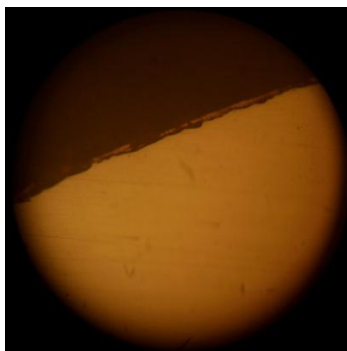


Рисунок – Цинковое покрытие, полученное механическим способом, х25

Таким образом, в данном исследовании установлена принципиальная возможность нанесения цинкового покрытия натиранием; для достижения упрочняющего эффекта целесообразно вводить в материал для цинкования армирующие частицы с регламентацией их размерного и качественного состава.

---

<sup>18</sup> Руководители – проф. кафедры ФМ, д.т.н. Алимов В.И., асп. Пушкина О.В.

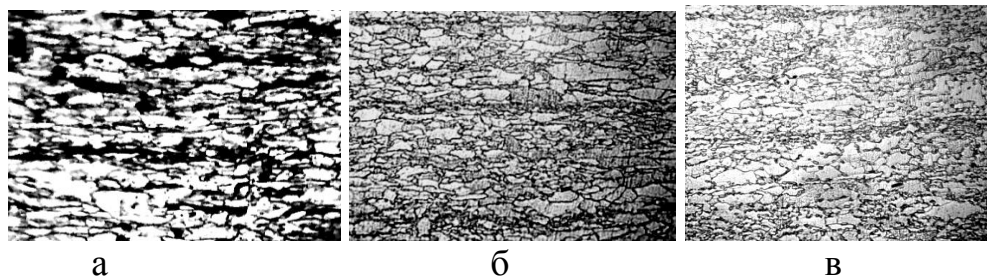
# ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ X70

Гнедаш Я.І.(МТ-09)<sup>1</sup>

Донецький національний технічний університет

Контрольована прокатка є найбільш розповсюдженим способом виробництва листів з малоперлітних трубних сталей. Вона забезпечує високий комплекс механічних властивостей і необхідну холодостійкість цих сталей. Разом з тим характерною особливістю листів, виготовлених методом контрольованої прокатки, є формування смугастої структури (рис.а) та анізотропія властивостей. Однак у ряді випадків ефективним методом підвищення механічних характеристик, а також однорідності структури і властивостей трубних сталей, є додаткова термічна обробка.

Нами досліджено вплив додаткового відпалу при 650-700°C після К.П. на структуру і властивості трубної сталі X70. Встановлено, що витримка протягом 2 годин при температурі 650°C та протягом 2 годин при температурах 680°C і 1,5-2год.при 700 °C дозволяє значно зменшити ступінь смугастості структури, призводить до часткової рекристалізації фериту та сфероїдізації цементиту (рис. б,в). При цьому рівень твердості практично відповідає і навіть перевершує твердості сталі після контрольованої прокатки. Наприклад, в разі відпалу при 680°C з витримкою 2 год. твердість становить 95±2 HRB, а після К.П.- 94±2 HRB.



а-після К.П. ,б-після витримки 650°C 2год.,в-після витримки 700°C 2год.

Рисунок – Мікроструктура сталі X70, ×500

З підвищенням температури відпалу пік твердості зміщується у напрямку до меншого часу витримки.

Таким чином додатковий відпал після контрольованої прокатки при температурах 680-700°C може забезпечити округлення більш однорідної структури при необхідних значеннях твердості сталі X70.

<sup>1</sup> Керівник – проф. каф. ФМ, д.т.н. Горбатенко В.П.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА

Стукало О.Р. (ИМ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Твёрдые сплавы — твёрдые и износостойкие металлические материалы, способные сохранять эти свойства при 900—1150 °С. Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) или керметы – материалы, основу которых составляет не карбид вольфрама, а иное тугоплавкое соединение – как правило, карбид или карбонитрид титана, цементирующей фазой служат металлы – никель и/или кобальт, с упрочняющими добавками переходных металлов 4, 5, 6 групп (Mo, W, Cr, Nb и т.д.). Эти материалы сочетают в себе как керамические свойства (исключительные твёрдость и износостойкость, устойчивость к окислению, низкую адгезию к обрабатываемому материалу), так и металлические свойства (прочность, сопротивление удару).

Для данного исследования были выбраны образцы твердого сплава никелида титана, с % мас: 50%TiC+50%(27%Ti+23%Ni) (состав 1), 50% TiC+50%(39%Ti+11%Ni) (состав 2). Образцы поделили на группы и подвергали отжигам при 850<sup>0</sup>С, при 1150<sup>0</sup>С и при 850<sup>0</sup>С+1150<sup>0</sup>С и закалке от 1150<sup>0</sup>С в воде. Образцы также подвергали шлифованию алмазной пастой различных классов зернистости. Далее исследовали структуры под микроскопом. На выбранных образцах измеряли микротвердость с нагрузкой 200г. Результаты представлены в таблице.

Таблица – Микротвердость образцов после режимов термической обработки

Состояние	Фаза	Обозначение образцов		
		Состав 1	Состав 2	Состав2
Исходные	Светлая	20273	19059	19059
	Темная	18580	19316	19316
	Светлая полоса	8973	7506	7506
После отжига 1150 <sup>0</sup> С	Светлая	22519	16423	
	Темная	18976	17298	
	Светлая полоса	8659		
Закалка от 1150 <sup>0</sup> С	Светлая			16970
	Темная			18217

Установлено, что после проведения отжига при 1150<sup>0</sup>С на образцах состава 1 микротвердость увеличилась, а состава 2 уменьшилась. После проведения закалки от 1150<sup>0</sup>С в воде на образцах состава 2 микротвердость также стала меньше.

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ИММ Пашинский В.В.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ НА СВОЙСТВА ЛАТУНИ Л63 ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Олиферчук А.А. (ПМ-12М) \*

Донецкий национальный технический университет

Объектом исследования является латунь Л63, которая подвергалась упрочняющей термической обработке с закалкой от различных температур с последующим старением.

Образцы были отобраны из прутка диаметром 25 мм, который предварительно подвергали рекристаллизационному отжигу. Для исследования латуни марки Л63 подвергали закалке от разных температур. Выбор температур нагрева под закалку (450-470 °С, 700-720 °С, 820-840 °С) был обусловлен желанием получить разный фазовый состав сплава. Первая температура является немного выше температуры упорядочения  $\beta$ -фазы, но при быстром нагреве можно ожидать растворение частиц хрупкой и твердой упорядоченной  $\beta'$ -фазы и образование небольшого количества пластичной  $\beta$ -фазы в нагретом состоянии. Нагрев до 700-720 °С позволяет получить в нагретом состоянии двухфазную структуру ( $\alpha+\beta$ ) с достаточно большим количеством  $\beta$ -фазы. При температуре нагрева 820-840 °С следует ожидать получения в нагретом состоянии однофазной структуры, которая состоит из кристаллов  $\beta$ -фазы. После закалки проводили старение при 230-250 °С разной длительности. Зависимость твердости от длительности выдержки при старении латуни Л63, закаленной от разных температур, представлена на рисунке 1.

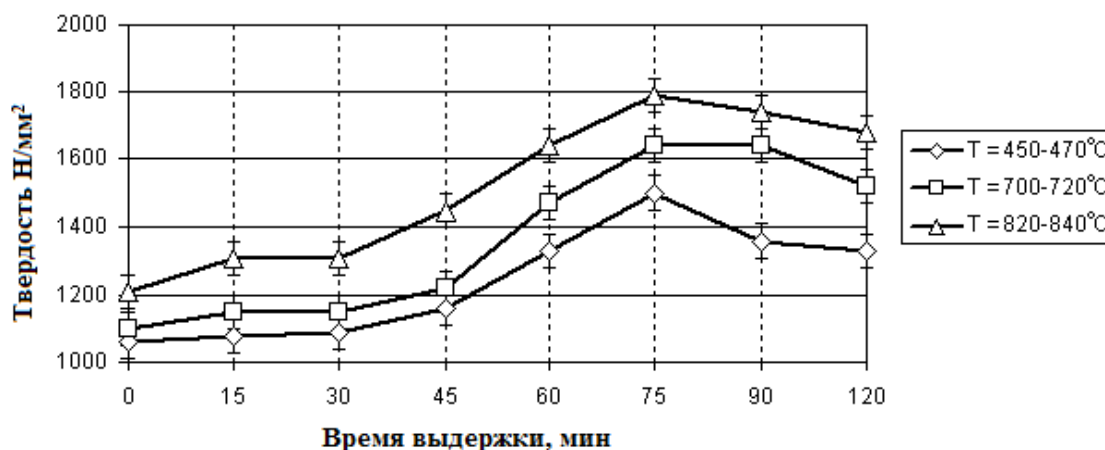


Рисунок 1 – Зависимость твердости латуни Л63 проведения закалки от разных температур (Т) от длительности выдержки на протяжении старения при 230-250 °С

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФМ Горбатенко В.П.

После проведения закалки от разных температур были выполнены измерения твердости, изготовлены микрошлифы и проведены металлографические исследования. Их результаты показывают, что после закалки от 450-470 °С получили преимущественно однофазную структуру с некоторым количеством  $\beta'$ -фазы, которая характеризуется разнотернистостью, обусловленной формированием по границам зерен  $\alpha$ -фазы зоны очень мелких зерен этой фазы и включений  $\beta'$ -фазы. При этом твердость сплава снизилась в сравнении с исходным состоянием (НВ 1250 Н/мм<sup>2</sup>) до НВ 1060±20Н/мм<sup>2</sup>. Закалка от 700-720 °С обеспечила получение твердости на уровне НВ 1100±20 Н/мм<sup>2</sup>, при этом наблюдалась структура, которая состояла из остатков исходной  $\alpha$ -фазы и участков двухфазной структуры, которая включает кристаллы метастабильной  $\beta$ -фазы с дисперсными выделениями  $\alpha$ -фазы в середине этих участков. Закалка от 820-840 °С с помощью быстрого охлаждения обеспечила получение однородной структуры мартенситного типа из кристаллов  $\alpha$ -фазы и остатков  $\beta$ -фазы. Кристаллы  $\alpha$ -фазы имели форму пластинок, на границах этих кристаллов находились остатки  $\beta$ -фазы (темные участки). Отдельные пластинки мартенситного типа были или тонкие с параллельными сторонами, или объединялись в блоки, которые состояли из двух или четырех пластинок. Полученные особенности структуры обусловили повышение показателей твердости до НВ 1210±20 Н/мм<sup>2</sup>.

Из рисунка 1 видно, что для всех образцов характер изменения твердости от времени выдержки при старении подобен. Но, независимо от времени выдержки, наблюдается сохранение разного уровня твердостей, обусловленного предыдущей обработкой. Образцы, закаленные от 820-840 °С имеют показатели твердости приблизительно на 15-20% больше, чем после закалки от 450-470 °С и являются более высокими, чем после закалки от 700...720 °С. После закалки от 700-720 °С получили показатели, находящиеся в интервале между вышеуказанными значениями. При увеличении времени выдержки при старении от 45 до 75 минут наблюдается резкое повышение твердости латуни. Максимальное упрочнение имеет место при выдержке на протяжении 75 минут. Следовательно, при температуре старения 230-250 °С оптимальной является выдержка 75±5 минут. Проведение такой обработки позволяет получать наиболее высокие показатели твердости.

Таким образом, проведение закалки латуни Л63 от различных температур приводит к снижению твердости латуни в сравнении с исходным состоянием. В результате закалки от 820...840 °С формируется структура мартенситного типа. Старение при 230...250 °С обеспечивает повышение твердости латуни. Максимум твердости фиксировали в случае старения длительностью 75 минут. Дальнейшее повышение длительности выдержки при старении приводит к некоторому разупрочнению сплава.



# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ДИАМЕТРОМ 981ММ ИЗ СТАЛИ 70ХЗГНМФ

Вислогозова Е.А. (*зр. МТ-12м*)\*

Донецкий национальный технический университет

В современной металлургии существует ряд задач, в которых необходимо прогнозирование структуры стали после термической обработки. Исследование структурных превращений ведется, в основном, по изотермическим и термокинетическим диаграммам. Однако они имеют ограниченное применение, так как справедливы только для определенного химического состава стали. Также термокинетические диаграммы не могут дать достоверных сведений о структуре стали, если режим охлаждения отличается от режимов охлаждения в экспериментах. По этой причине термокинетические диаграммы используются только для количественной оценки устойчивости аустенита при непрерывном охлаждении.

Целью данной работы является разработка лабораторных методов, позволяющих на основе результатов математического моделирования, осуществить физическое моделирование структурообразования прокатного валка из стали 70ХЗГНМФ диаметром 981мм и длиной 1866 мм на образцах малого сечения.

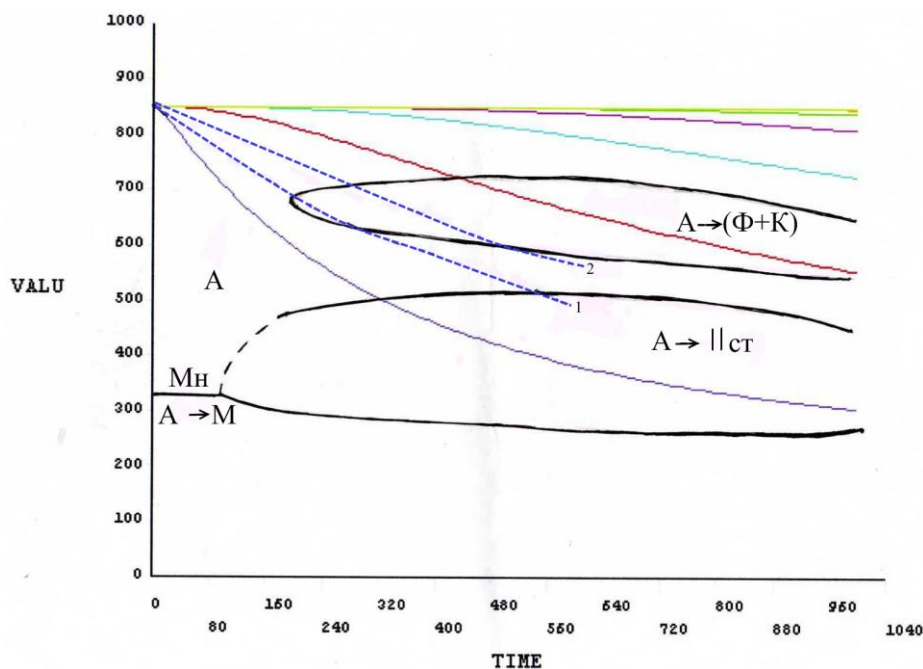
С помощью программы ANSYSED был построен график, показывающий изменение скорости охлаждения валка по его сечению после нагрева до температуры закалки, соответствующей 850°C, на который затем были нанесены линии термокинетической диаграммы для данной стали.

По методике, предложенной Е. И. Казанцевым в справочном руководстве для расчетов и проектирования «Промышленные печи», были построены кривые, характеризующие различные скорости охлаждения модельных образцов сечением 20мм путем изменения температуры окружающей среды. Выяснили, что охлаждение при 400°C, наиболее близко характеризует охлаждение поверхности прокатного валка, а охлаждение при 500°C дает представление о том, как будет происходить охлаждение на расстоянии 80мм от поверхности валка. Эти кривые были также нанесены на исходный график, общий вид которого представлен на рисунке 1.

Была выполнена термическая обработка на образцах из заданной стали сечением 20 мм, которая заключалась в нагреве образцов до 930°C с дальнейшим переносом в печь, нагретую до 400°C и 500°C и выдержкой там 30 минут. Окончательное охлаждение проводилось на воздухе.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФМ Пашинский В.В

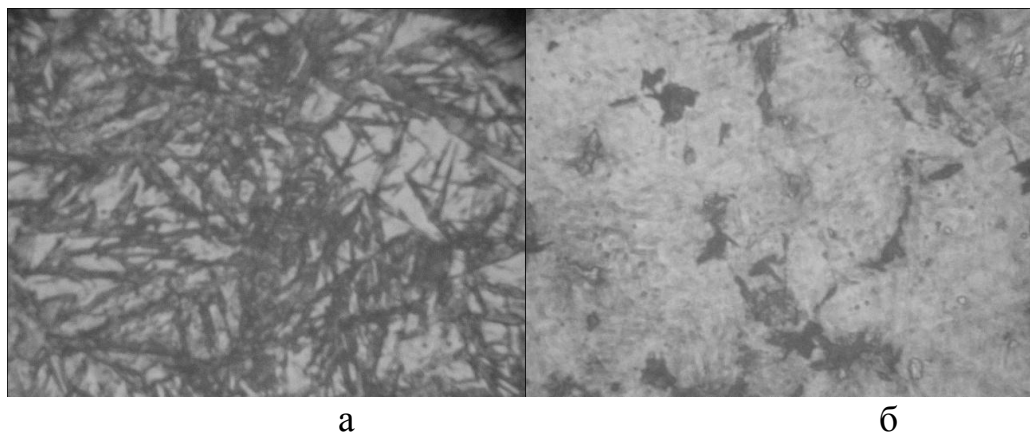


1-охлаждение при 400°C; 2- охлаждение при 500°C

Рисунок 1- Охлаждение валка из стали 70ХЗГНМФ с наложенными линиями термокинетической диаграммы и кривыми охлаждения образцов

После термической обработки была измерена твердость образцов и изучена их микроструктура. Твердость образца, после выдержки при 400°C составила 58HRC, а после выдержки при 500°C - 61 HRC.

Микроструктуры образцов приведены на рисунке 2.



а- выдержка при 400°C, ×200; б- выдержка при 400°C, ×200

Рисунок 2 – Микроструктуры образцов после нагрева до 930°C с последующей выдержкой при 400°C и 500°C

В дальнейшем планируется проведение более тщательного анализа полученных данных и проверка достоверности результатов.

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АРМИРОВАННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ПРИ ИХ СОЕДИНЕНИИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРУБОПРОВОДОВ

Рыбакова Д.С. (ПМ-12с), Паращевина А. В. (ПМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Наибольшее применение для систем водоснабжения и отопления в последнее время нашли металлопластиковые трубы связи с их низкой трудоемкостью, технологичностью и простотой монтажа по сравнению со стальными трубопроводами.

Металлопластиковые трубы представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из тонкой алюминиевой трубы (толщиной 0,5 - 2 мм), снаружи и изнутри покрытой сшитым полиэтиленом. Слой алюминия имеет две разновидности: со сквозными отверстиями и без них. На поверхности трубы, армированной «гладким» алюминием, с течением времени при эксплуатации «на горячей воде» могут появляться небольшие вздутия. Данный дефект не является критическим, поскольку деформация затрагивает лишь наружный слой полипропилена и алюминиевую фольгу, не разрывая их. Внутренний (основной) слой при этом остается нетронутым. Трубы, армированные перфорированной алюминиевой фольгой, данного эстетического недостатка лишены почти полностью.

Сварка является надёжным способом соединения металлопластиковых труб. Наиболее распространёнными являются методы сварки «встык» и «внахлест». Соединение фольги внахлест влечет за собой искажение формы проходного сечения трубы. Сварка встык позволяет получить идеально круглую трубу из металлопластика с постоянной толщиной стенки.

Целью работы является изучение расположения армирующей прослойки алюминия и его микроструктуры на прочность сплавления металлопластиковых труб при монтаже и их коррозионную стойкость при эксплуатации.

Исследования проводились на образцах металлопластиковых труб марки *stabi PN-20* с приповерхностным армирующим слоем и ТМ «Blue Ocean» PP-R с внутренним армирующим слоем, используемых для систем отопления.

В результате исследований было установлено, что при соединении металлопластиковых труб имеется вероятность оголения наружной армирующей прослойки, что приводит к значительному ее коррозионному разрушению, чего не наблюдали на трубах с внутренним армирующим слоем. Кроме того интерес для исследований представляет химический состав и структура соединения армирующего слоя для дальнейших исследований.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Штыхно А.П.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ В ПОТОКЕ ШАРОПРОКАТНОГО СТАНА

Анищенко М.А. (ПМ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Важное место в переработке руд на горно-обогатительных комбинатах занимают операции дробления и измельчения, которые поглощают больше половины всех материальных затрат производства. Эффективность работы шаровых мельниц, которые используются для помола и измельчения руд черных и цветных металлов, цементного клинкера, каменного угля, и других материалов, в значительной мере зависит от стойкости мелющих тел (шаров). Мелющие шары с повышенной глубиной прокаливаемости и высокой объемной твердостью востребованы во всем мире. Потери мелющих шаров на помол и дробления руд черных и цветных металлов составляют 0,3...0,6% от массы руды, которая перерабатывается.

Метод прокатки шаров на шаропрокатных станах является одним из наиболее современных методов производства и по сравнению с литьем и ковкой, имеет ряд существенных преимуществ. Повышение поверхностной и объемной твердости стальных шаров возможно как за счет изменения технологической схемы термообработки, так и за счет применения сталей с более высоким (по сравнению с обычно применяемыми сталями 45, 60, 65Г, М76 и др.) уровнем прокаливаемости.

Донецкий металлопрокатный завод в ближайшее время планирует освоить высокопродуктивную технологию получения стальных шаров повышенного класса прочности, которая включает поперечно-винтовую прокатку с последующим термоупрочнением с прокатного нагрева и самоотпуском. Самоотпуск является важнейшей составляющей технологии термоупрочнения металлопроката. На стадии самоотпуска происходит завершение структурообразования в шарах, а также релаксация напряжений, возникающих в изделиях в процессе закалки. Высокий уровень остаточных напряжений в шарах приводит к их растрескиванию по завершению термообработки, а также способствует раскалыванию шаров в процессе их эксплуатации.

Нами для исследований были отобраны образцы проката диам. 60 мм из стали 65Г, которая будет использована для изготовления мелющих шаров диам. 60 мм на шаропрокатном стане. Был изучен химсостав стали исходной заготовки, его макро- и микроструктура по сечению. Установлено, что имеющаяся неоднородность ликвации по сечению проката может существенно снизить эксплуатационную стойкость готовых изделий.

В дальнейшем планируется проведение исследований по влиянию упрочняющей термической обработки, а именно температуры и длительности самоотпуска с прокатного нагрева на микроструктуру и свойства мелющих шаров для улучшения их качества и увеличения работоспособности.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Штырно А.П.

## ВЛИЯНИЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ГШО

Бондаренко Н.О. (ТО-09), Пылева И.В. (ПМ-12с) \*  
Донецкий национальный технический университет

Наибольшее влияние на вероятность безотказной работы механизированного комплекса горно-шахтного оборудования (ГШО) оказывает забойный конвейер. На него приходится более 55% продолжительности простоев лавы, причем 53% простоев — на тяговую цепь. В зависимости от условий эксплуатации срок службы круглозвенных цепей на конвейерах типа СП составляют 5 — 8 мес. Задача улучшения эксплуатационных параметров тяговых цепей имеет важное значение и является одной из наиболее актуальных для эксплуатации комплекса ГШО.

Исследования проводились на образцах круглозвенных цепей из конструкционной стали 23Г2А Ø 18x64мм класса прочности «С» согласно ГОСТ 25996-02. Прежде всего изучили условия эксплуатации звеньев и предъявляемые требования: пробная нагрузка (330 кН); относительное удлинение при пробной нагрузке (не более 1,6%); разрушающая нагрузка (не менее 410кН); относительное удлинение при разрушающей нагрузке (не менее 14%).

В результате исследований установили, что круглозвенные цепи работают в условиях граничного трения, средой является влажная угольноабразивная смесь, выполняющая роль смазки и в тоже время агрессивной средой. Износ цепи, связанный с утончением опасных сечений, приводит к уменьшению прочности и оказывает большое влияние на эксплуатационные показатели цепи. Кроме того звенья в шарнирах осуществляют относительный поворот на звездочках, работая на изгиб. Технология изготовления звеньев предполагает порезку проката Ø 18 мм длиной 64 мм из стали 23Г2А, гибку, контактно-стыковую сварку и объемную термическую обработку, заключающуюся в закалке и отпуске при температуре 360-380°C для получения требуемых свойств и структуры. Однако микроструктурные исследования показали, что в зоне сварки даже после термообработки звенья имеют неравновесную микроструктуру, разнородность, неравномерное распределение твердости по сечению, что может способствовать преждевременному выходу их из строя, а также обезуглероживанный слой глубиной до 1 мм.

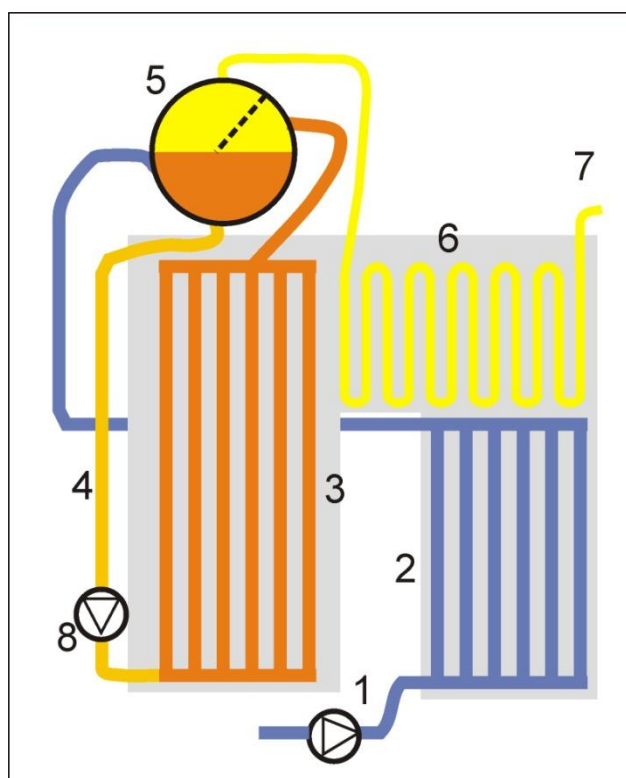
В дальнейшем планируется проведение исследований по влиянию различных режимов объемной и локальной термической обработки на микроструктуру и свойства звеньев для ГШО для улучшения их качества и увеличения работоспособности и снижения обезуглероживания, используя различные технологические приемы при термической обработке звеньев.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Штырно А.П.

# ПРОМЫШЛЕННАЯ

# ТЕПЛОТЕХНИКА



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ ПЕЧЕЙ КОЛЕСОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Набока К.В (ЭКМ - 07)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Металлургия является базовой отраслью хозяйственного комплекса Украины, обеспечивающей более 40% экспортного потенциала страны. Вместе с тем, это одна из наиболее энергоемких отраслей, где потребляется около 11% всего топлива, 10% электроэнергии, другие энергоносители. Основными потребителями топлива являются печи, отличающиеся при этом низкими показателями энергоиспользования. В связи со значительным дефицитом топливно-энергетических ресурсов энергосбережение в условиях Украины становится жизненно важным фактором. Остро стоит также проблема загрязнения окружающей среды промышленными выбросами. Одним из направлений комплексного решения задач энергосбережения и экологической безопасности является улучшение тепловой работы металлургических печей, в том числе совершенствование системы их отопления.

На ОАО ИНТЕРПАЙП «НТЗ» в колесопрокатном цехе установлено 29 вертикальных газовых печей для термообработки колец и бандажей после прокатки. Противофлокенная обработка в них выполняется при температуре  $650 \pm 10$  °С в течение  $6 \div 8$  часов; нагрев под закалку при  $800 - 920$  °С в течение  $3 \div 8$  часов.

Печь представляет собой футерованную цилиндрическую камеру с крышкой. По высоте она разбита на две зоны отопления. Сжигание природного газа выполняется с помощью 8 горелок типа ГТПЦ-3 производительностью  $30 \text{ м}^3/\text{час}$  каждая. Они расположены на четырех уровнях с противоположных сторон печи и обеспечивают тангенциальный подвод продуктов горения в печь. За счет энергии струи происходит подсосывание к факелу газов из рабочего пространства через каналы в футеровке с проходным сечением  $230 \times 750 \text{ мм}$ . Этим создается внутренняя рециркуляция продуктов сгорания. Воздух на печи подается вентилятором ВМ-15 производительностью  $38000 \text{ м}^3/\text{час}$ ; отвод продуктов горения из печи производится через отверстия в подине на дымопад и через дымопровод диаметром  $1160 \text{ мм}$  на дымовую трубу.

По результатам балансовых испытаний печей коэффициент использования топлива на них составляет около 65%, КПД –  $19 \div 19,2\%$ , удельный расход топлива  $42 \div 43 \text{ кг у.т./т}$ . Анализ показал, что для улучшения показателей тепловой работы вертикальных газовых печей целесообразно заменить холодный воздух, который подается на сжигание топлива и организацию внутренней рециркуляции, на дымовые газы, отбираемые из дымоотводящего тракта. Это обеспечивается созданием контура внешней рециркуляции продуктов сгорания. В предложенной системе отопления продукты сгорания отбираются из дымоотводящего тракта с температурой  $200 \div 220$  °С, концентрацией кислорода в них около 17% и по трубопроводу поступают на вход вентилятора ВМ – 15.

---

Руководитель – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и охраны труда Иванов И.И.

При необходимости дымовые газы разбавляются воздухом до температуры термической стойкости вентилятора ( $200^{\circ}\text{C}$ ). Он подсасывается через патрубок перед вентилятором, который оснащен регулирующей заслонкой. Затем рециркулят вентилятором подается в воздухопроводы печей на горение топлива. Для снижения потерь тепла по тракту отбора и подачи рециркулята в печи предусмотрена теплоизоляция трубопроводов.

Анализ показывает, что подача на горение вместо воздуха того же количества рециркулята с указанными параметрами обеспечивает полное и устойчивое сжигание топлива, снижение коэффициента расхода окислителя с 1,3 до 1,065 при сохранении аэродинамики в рабочем пространстве. Кроме того, сжигание топлива с рециркулятом сопровождается увеличением приведенного коэффициента излучения на  $3 \div 4\%$  за счет повышения содержания в дымовых газах трехатомных компонентов на  $30 \div 40\%$ . Приход физического тепла в рабочий объем с рециркулятом увеличивается до  $8 \div 8,5\%$  по сравнению с  $0,6 \div 0,65\%$  при подаче воздуха. Требуемый по технологии перепад температур «поверхность – центр садки»  $5^{\circ}\text{C}$  достигается уже через  $4,8 \div 4,9$  часа после начала нагрева (рисунок).

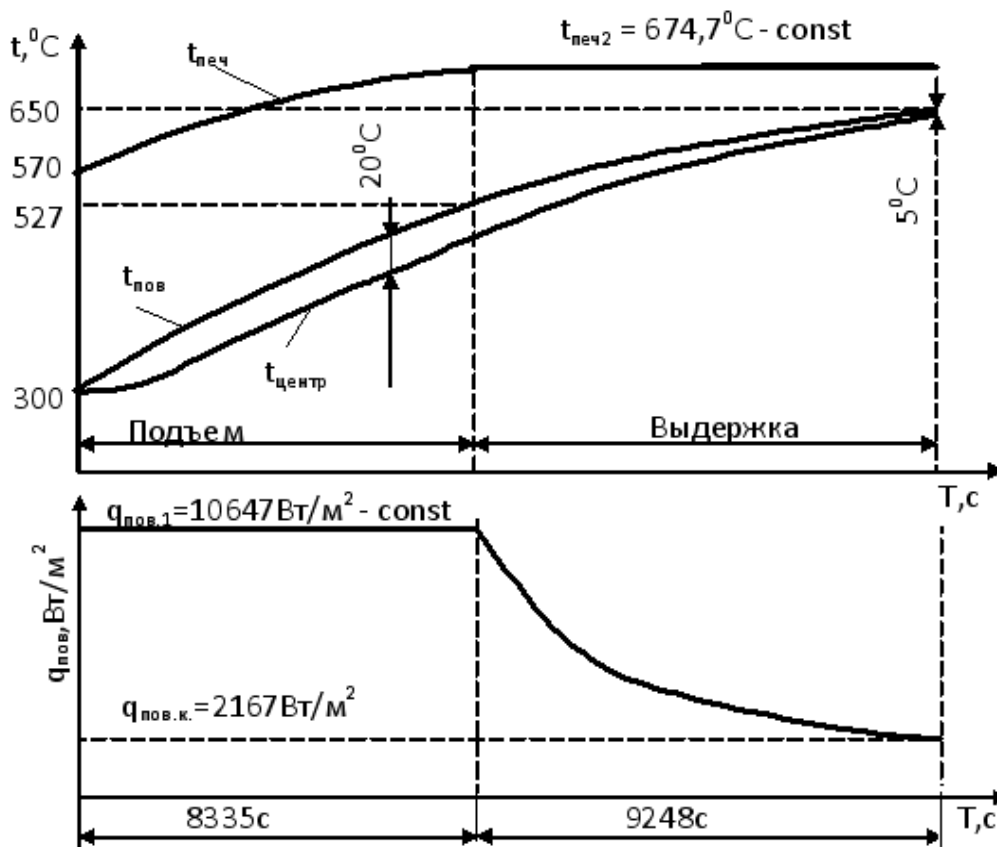


Рисунок - Температурная и тепловая диаграммы процесса нагрева садки в печи с усовершенствованной системой отопления

Совершенствование системы отопления вертикальных газовых печей позволяет при незначительных капитальных затратах повысить КИТ на  $9 \div 10\%$ , КПД на  $3 \div 4\%$ , снизить удельный расход топлива на  $6,4 \div 6,6$  кг у.т./т и средний расход топлива на термоучасток на  $240 \div 250$  м<sup>3</sup>/час или на  $14 \div 15\%$ .



# ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА ВОДОРОДА ИЗ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МЕЖФАЗНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ «ВАКУУМ-МЕТАЛЛ» ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Комиссарова Е.В. (ПТТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Исследования воздействия электростатического поля на расплавы металлов интенсивно начались в прошлом столетии и продолжаются до сих пор. Вместе с тем вопрос о степени ионизации атомов водорода в жидком металле остается открытым, хотя положительное влияние этого поля на металлургические технологии доказано экспериментальными исследованиями В.И. Явойского, Б.В. Линчевского, Э.В. Мюллера и других ученых. Логично предположить, что степень ионизации атомов водорода в расплаве металлов возрастает при повышении температуры. Современные представления о форме нахождения водорода в расплавах металлов должны включать предшествующий уровень знаний (электрически нейтральные атомы) как частный вариант, реализуемый при невысокой температуре легкоплавкого металла.

При компьютерном моделировании массопереноса водорода из расплава алюминия комплексным воздействием вакуума и электростатического поля умеренных напряженностей ( $0 < E < E_{кр}$ ) возникает проблема постановки граничного условия для уравнения диффузии на межфазной поверхности «вакуум-расплав алюминия». Закон Сивертса записывается следующим образом:

$$C_n = K_H \cdot \sqrt{P_{H_2}}, \quad (1)$$

где  $C_n$  - концентрация удаляемого водорода на этой поверхности;  $P_{H_2}$  - парциальное давление водорода в вакуум-камере;  $K_H$  - постоянная Сивертса для водорода в расплаве алюминия.

Однако данный закон не решает проблемы, т.к. не учитывает воздействие электростатического поля. Нами разработана обобщающая запись уравнения (1):

$$C_n(r) = K_H \cdot \sqrt{P_{H_2}} [(1-i) + i \cdot K_E(r)], \quad (2)$$

где  $i$  - степень ионизации атомов водорода на межфазной поверхности «вакуум-расплав алюминия» при заданной температуре;  $r$  - расстояние до оси симметрии системы;  $K_E(r)$  - безразмерная функция, определяющая степень возрастания  $C_n$  полностью ионизированных атомов ( $i=1$ ) в сравнении с аналогичной характеристикой при  $i=0$ .

Правильность формулы подтверждается следующим:

- при  $i=0$  (нет ионизации атомов водорода) выражение (2) переходит в (1);
- при  $E=0$ , т. е.  $K_E = 1$  имеет место аналогичный переход;
- наблюдается качественное соответствие результатам экспериментальных исследований проф. Д.А. Дюдкина и инж. А.А. Комарова по генерации электрического тока в этой системе при замыкании цепи. Эти исследования

---

\* Руководитель - к.т.н., доцент Н.И. Захаров

подтвердили наличие максимума в распределении  $C_n(r)$  путем фиксации сгустков (областей повышенной плотности свободных зарядов) на поверхности алюминиевого проводника при его движении в электростатическом поле умеренных напряженностей.

Как показали исследования на компьютере, величина максимума возрастает при повышении как степени ионизации атомов водорода на межфазной поверхности «вакуум-расплав алюминия», так и напряженности электростатического поля. Известно, что возрастание концентрации частиц удаляемого водорода приводит к росту во второй степени скорости химической реакции объединения ионов в молекулы на этой межфазной поверхности. В этом случае усиливается кинетическое звено многоступенчатого процесса дегазации расплава алюминия, что имеет решающее значение, если оно является лимитирующим. Безразмерная функция  $K_E(r)$  показана на рис. 1.

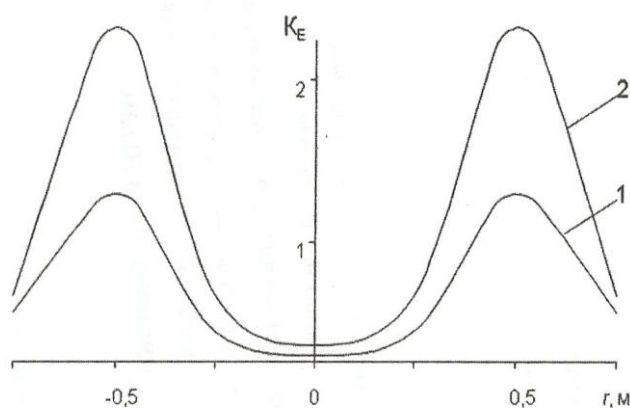


Рисунок 1 – Распределение концентрации ионизированной части атомов водорода по межфазной границе: 1- $E'_z = 1 \cdot 10^5$  В/м; 2-  $E'_z = 2 \cdot 10^5$  В/м

С учетом  $K_E(r)$  по формуле (2) нами был построен график распределения безразмерной рассматриваемой концентрации  $\tilde{C}_n = C_n / C_n^0$  по координате  $r$  поверхности (рис. 2).



Рисунок 2 – Распределение безразмерной концентрации  $\tilde{C}_n$  атомов водорода на межфазной поверхности «металл-вакуум»: 1- $i=0$ ; 2- $i=0,5$ ; 3- $i=1,0$ ;  $E = 2,0 \cdot 10^{+5}$  В/м

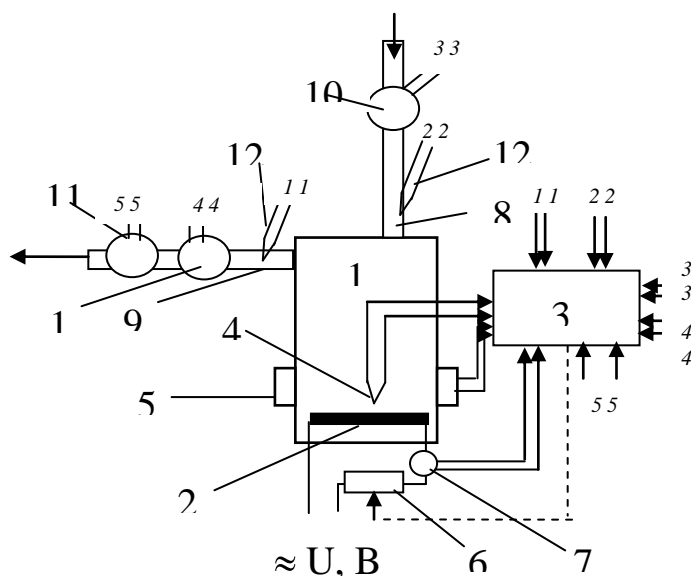
# ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОЙ РАБОТЫ РЕАКТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОГРАНИЧЕННОГО ЧИСЛА ДАТЧИКОВ

Заика А. А. (ПТТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Нанонаука и нанотехнологии представляют собой новый революционный путь мышления и производства, используя традиционный научный подход, основанный на прогрессивно уменьшающемся масштабе.

Известно множество методов производства углеродных наноматериалов (электродуговое осаждение, СД-синтез, каталитический пиролиз на поверхности подложек с катализатором и т.д.), однако для выбора наиболее оптимальных условий работы каждого реактора, необходимо проводить исследование влияния различных технологических параметров на интенсивность протекания базовых реакций разложения углеводорода. В данной работе усилия сосредоточены на разработке алгоритма работы экспертной системы для анализа тепловой работы реакторов пиролитического синтеза УНМ, не имеющей в своем составе газоанализатора и расходомера для определения содержания компонентов в газообразной среде, покидающей реактор.



(1 – реактор; 2 – электрический нагреватель; 3 – контроллер; 4 – термопара в реакционной зоне; 5 – датчики диэлектрической проницаемости реакционного пространства; 6 – реостат; 7 – прибор для замера мощности, потребляемой нагревателем; 8 – патрубок подвода углеводорода; 9 – патрубок отвода газообразных продуктов; 10 – расходомеры; 12– термопары; 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5– сигналы от соответствующих чувствительных элементов).

Рисунок - Структурная схема системы диагностики тепловой работы реактора УНМ

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Бирюков А. Б.

На рисунке представлена одна из традиционных схем реактора полунепрерывного действия для синтеза УНМ на подложках с катализатором: цилиндрический реактор (1) имеет патрубки для подвода и отвода газообразных сред, в нижней части реакционной зоны установлен электрический нагреватель (2), позволяющий поддерживать заданную температуру, которая контролируется при помощи специальной термопары (4). Кроме того имеется следующий набор контрольно-измерительного оборудования: расходомеры на каждом из патрубков газообразных сред (10), термопары в каждом из патрубков (12), газоанализатор для определения состава среды, покидающей реактор (11). Сигналы от всех датчиков передаются на контроллер.

Основным компонентом газовой смеси, покидающей реактор, является водород, остальные компоненты представлены недоразложенными углеводородами. Для значительной части существующих реакторов стационарный газоанализатор для изучения состава газообразной среды, покидающей реактор, не установлен.

В данной работе создан алгоритм, позволяющий определять величину теплового потока для реакторов, не имеющих в составе КИП стационарного газоанализатора и расходомера, в которых пиролитическое разложение исходного углеводорода протекает по следующей схеме:  $C_m H_{2n} \rightarrow m C_{\text{УНТ}} + n \cdot H_2$ .

Сущность алгоритма заключается в сопоставлении расходов исходного и покидающего реактор газов.

В общем случае, полагая, что каталитическому разложению подвергается только часть углеводорода, а остальная в своем начальном состоянии переходит в конечный состав газов, покидающих установку, имеем следующий процентный состав исходного углеводорода и водорода:

$$\% C_m H_{2n} = \frac{1 - \chi}{1 + \chi \cdot (n - 1)} \cdot 100; \quad \% H_2 = \frac{\chi \cdot n}{1 + \chi \cdot (n - 1)} \cdot 100.$$

Доля прореагировавшего углеводорода определяется как:

$$\chi = \frac{V_k - V_n}{(n - 1) \cdot V_n},$$

где  $V_n, V_k$  – расход газового потока на входе и выходе из реактора.

Таким образом, анализ состава уходящих газов, позволяет судить о количестве выделившегося в реакторе углерода и оценивать возможные пути использования этих газов: повторное направление в реактор, сжигание, заправка баллонов.

Мы разрабатываем модель реактора, в которой будут отсутствовать газоанализаторы и расходомеры, что в свою очередь снизит его стоимость, но полученные результаты будут иметь значения близкие к значениям полученными при стандартном наборе датчиков.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА РАЗЛИЧНОГО СОРТАМЕНТА В МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Сибирцева Ю.С. (ПТТ-12м)<sup>19</sup>

Донецкий национальный технический университет

Методические печи толкательного типа работают непрерывно только при полном заполнении рабочего пространства нагреваемыми заготовками. На некоторых заводах при выполнении заказа на небольшие партии мелкосортной прокатной продукции возникает необходимость нагревать металл различного сортамента без остановки печи. Для таких условий работы печи трудно определить на практике переходной режим, т.е. частоту проталкивания заготовок, температуру в каждой зоне рабочего пространства, расход газа и другие параметры. В связи с этим возникает задача – разработать математическую модель переходного режима нагрева, который обеспечивал бы нагрев заготовок до заданного качества.

Одна из проблем, которая возникла в последнее время в прокатном цехе при нагреве квадратных заготовок сечением от 50 до 200мм, это необходимость нагревать в непрерывно работающей методической печи малые партии заготовок различного поперечного сечения без остановки нагревательной печи. Например, при производительности печи 40 т/ч и при заказе на данный вид металлопродукции в объеме 240 т печь должна работать чуть больше 6 часов, после чего должна перейти на нагрев заготовок большего или меньшего сечения, чтобы выполнить заказ по другому профилю металлопродукции.

В этом случае возникает проблема, какой тепловой режим необходимо устанавливать в каждой зоне печи, если в рабочем пространстве находятся одновременно заготовки различного поперечного сечения? Если сохранять прежний режим нагрева, то заготовки одного сечения будут не догреваться, а заготовки другого сечения перегреваться, что приведет к увеличению потери металла из-за брака после прокатки. Для решения этой проблемы необходимо было разработать промежуточный тепловой режим, который бы решал проблему качественного нагрева заготовок.

В нашей математической модели мы можем изменять марку стали, толщину заготовки и при этом получать определенную температуру и время нагрева.

Результаты моделирования нагрева заготовок толщиной 0,21м и температуре пластичности 500°С приведены на рисунке.

---

<sup>19</sup>Руководитель – проф. кафедры ТТ Гинкул С.И.

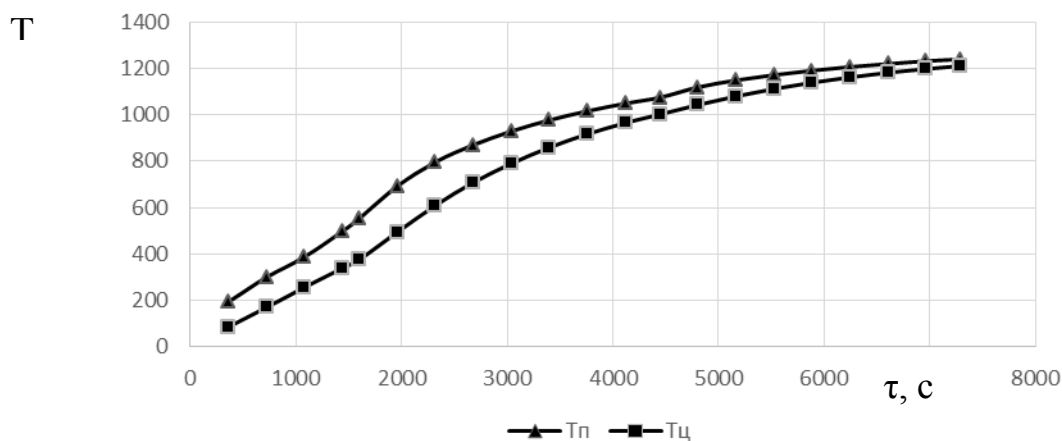


Рисунок - Нагрев заготовки толщиной  $0,21$  м.

Для нагрева заготовок толщиной  $S=0,21$  м необходим такой режим: на входе в методическую зону температура дымовых газов равняется  $t_r=980^\circ\text{C}$ , по всей длине сварочной зоны температура газов  $t_r=1300^\circ\text{C}$ . Такой режим обеспечивает получить температуру поверхности заготовки в конце методической зоны  $t_n=503^\circ\text{C}$ , а в конце сварочной зоны температура поверхности  $t_n=1240^\circ\text{C}$ , что соответствует технологии нагрева.

Также были проведены расчеты нагрева заготовок различного сечения при одновременном нахождении их в нагревательной печи и получены следующие данные (таблица).

Таблица – Изменение температуры поверхности металла при постоянном температурном режиме по длине печи и различной толщине заготовок.

Толщина заготовок, м	Температура поверхности по зонам печи, °C			
	Методическая		сварочная	
	начало	конец	Начало	конец
0,21	0	547,8	547,8	1259
0,18	0	554	554	1263
0,24	0	544	544	1255

Как видно из приведенного выше анализа нагрева заготовок различного поперечного сечения, заготовки меньшего сечения по сравнению с исходными будут перегреваться, а большего сечения – не догреваться при условий их совместного нахождения в печи и при тепловом режиме нагрева исходной заготовки.

Эффективность практического применения переходных тепловых режимов может быть повышена при установке на печи плоско-пламенных горелок (полностью или частично), а математическая модель будет составной частью АСУ методической печи.

## ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАСКИСЛЕНИИ ЖИДКОЙ МЕДИ

Ригунов Р.С. (ИТТ-12с)<sup>20</sup>

Донецкий национальный технический университет

В зависимости от способа получения меди, она содержит то или иное количество кислорода. В расплаве меди часть кислорода находится в растворённом виде.

Один из современных способов раскисления меди обработка её расплава порошковой проволокой (ПП). В качестве наполнителя ПП используют литий с температурой плавления 250°C. Оболочка ПП медная, с температурой плавления меди 1084°C.

При вводе ПП в жидкую медь сначала плавится литий, имеющий существенно меньшую температуру плавления, чем медная оболочка. Таким образом, к моменту полного расплавления оболочка ПП у дна рафинировочной ёмкости, литий внутри ПП находится в жидком состоянии и внедряется в расплав меди в виде капель.

Капли лития, всплывая в жидкой меди, растворяются в ней. Далее образуются зародыши включений  $Li_2O$ . По окончании обработки жидкой ванны ПП, расплав меди продувают аргоном. Пузыри аргона перемешивают медь, гомогенизируя её, увеличивая вероятность как, ассимиляции включений синтетическим шлаком, который прорывает межфазную поверхность “медь-атмосфера”, так и столкновения включений друг с другом и их слипания. Укупленные включения  $Li_2O$  могут всплывать в шлак. Часть мелких включений прилипают к поверхности всплывающих пузырей аргона и выносятся ими также в шлак. Собирая шлак по окончании обработки меди, добиваются раскисления меди.

На ПЭВМ исследована зависимость времени плавления оболочки ПП от удельного теплового потока, направленного на поверхность оболочки из расплава меди.

Как показали результаты компьютерного моделирования, рассчитываемая зависимость монотонно убывающая, и определяется толщиной оболочки ПП и её диаметром.

---

<sup>20</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.И.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ФУРМЕННОЙ ЗОНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА (ПУТ)

Моторина Т.А. (ПТТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Для снижения расхода дорогостоящего кокса в доменном процессе используют заменители кокса (мазут, природный газ, ПУТ). Вдувание ПУТ, как показывает практика, способствует интенсификации теплообмена излучением, однако этот вопрос на данном этапе изучен недостаточно.

Целью данного исследования является разработка методики расчета теплообменных процессов в фурменной зоне (ФЗ).

Между горновыми газами и материалами на периферии ФЗ происходит теплообмен путем конвекции и излучения. Тепловой поток, передаваемый посредством конвекции, определяется по закону Ньютона-Рихмана. В исследовании принята модель конвективного теплообмена (рис.1). На внутренней сферической поверхности ФЗ можно выделить зону интенсивного теплообмена, которая расположена напротив фурмы, и остальную часть, с рециркулирующими потоками фурменных газов. В исследовании принято, что площадь интенсивного теплообмена равна 12% от общей поверхности ФЗ.

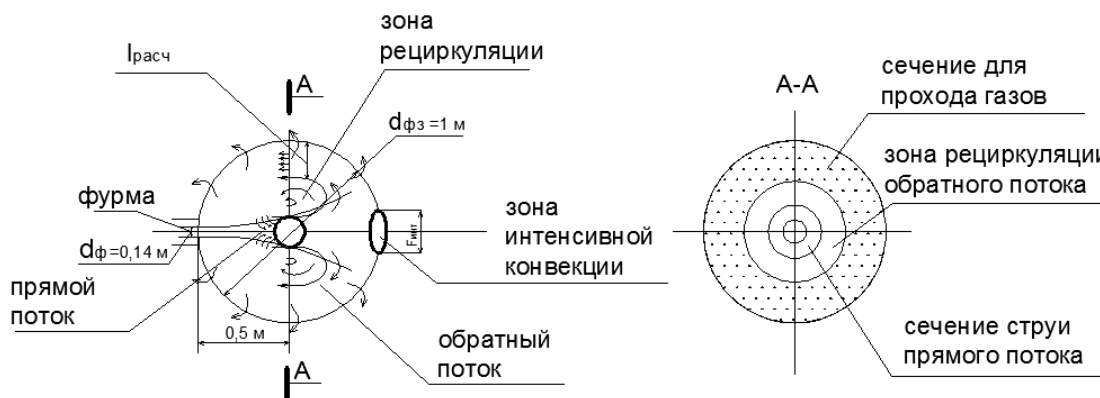


Рис.1 – Зоны теплообмена в фурменной зоне

Средний коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{ср}$  в формуле Ньютона-Рихмана может быть представлен данным выражением:

$$\alpha_{ср} = 0,12 \cdot \alpha_{инт} + 0,88 \cdot \alpha_{рец}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где  $\alpha_{инт}, \alpha_{рец}$  -коэффициенты, соответственно, в зонах интенсивного теплообмена и рециркулирующего потока.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Курбатов Ю.Л.



Коэффициенты теплоотдачи определяются по эмпирической критериальной зависимости:

$$Nu = \varphi \cdot 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43},$$

где  $\varphi$  - коэффициент, зависящий от угла атаки струи; Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля.

При расчете  $\alpha_{инт}$  за скорость и линейный размер в формуле  $Re=(w \cdot d)/\nu$ , принимались значения, рассчитанные по формулам Г.Н.Абрамовича. Скорость и линейный размер для расчета  $\alpha_{рец}$  определялась из схемы потоков (рис.1).

Числовое значение среднего коэффициента теплообмена  $\alpha_{ср}$  для условий:  $d_{ф}=0,14$  м; скорость выхода дутья из фурмы равна 167м/с;  $d_{ФЗ}=1$  м – составляет 40 Вт/(м<sup>2</sup>·К), а плотность теплового потока для  $t_r=2000$  °С и  $t_{пов}=1500$  °С,  $q=20000$  Вт/м<sup>2</sup>.

Плотность теплового потока излучения определяется по закону Стефана-Больцмана, где приведенная степень черноты ФЗ -  $\varepsilon_{пр}$ , определяется из выражения  $\varepsilon_{пр} = 1/(1/\varepsilon_{ст} + 1/\varepsilon_2 - 1)$ , где  $\varepsilon_{ст}$  - усредненная степень черноты внутренней поверхности ФЗ  $\varepsilon_{ст} \approx 0,47$ , а степень черноты газового объема ФЗ  $\varepsilon_2$  определяется по разработанной в данном исследовании методике, в основе которой заложен принцип излучения запыленного потока. В общем случае величина  $\varepsilon_2$  зависит от степени запыленности газового потока в г/м<sup>3</sup>, от удельной поверхности пыли, м<sup>2</sup>/кг, от размеров частицы пыли, кокса, и от размеров ФЗ. Зависимость степени черноты газового потока от размера частицы и расхода ПУТ представлена на рис.2, откуда видно, что  $\varepsilon_2 = 1,0$  при достаточно

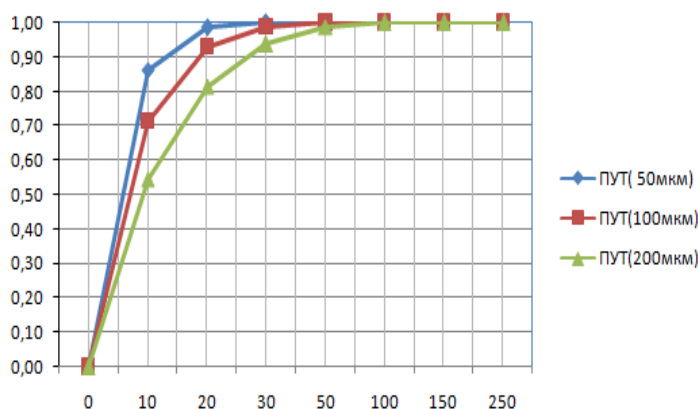


Рис. 2.- Зависимость  $\varepsilon_2 = f(G_{путь})$

малой подаче ПУТ и любом размере частицы.

При сжигании кокса без ПУТ степень черноты  $\varepsilon_2 = 0,01$ .

Приведенная степень черноты с применением ПУТ находится в пределах 0,47-0,51, а плотность теплового потока  $q$  достигает 450 000 Вт/м<sup>2</sup>, что составляет 95% от суммарного теплового потока.

Т.о. в исследовании разработана методика расчета приведенной степени черноты ФЗ при использовании ПУТ и показано, что 95% тепла передается излучением.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА СЛЯБОВ ПОД ПРОКАТКУ В ЛИСТОПРОКАТНОМ ЦЕХЕ

Колесникова И.В. (ПТТ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Современные нагревательные печи представляют собой высокомеханизированные агрегаты, удовлетворяющие технологическим и экологическим требованиям, однако развитие научно-технического прогресса не стоит на месте и требует модернизации печной техники.

Основой технологического процесса нагрева заготовок (слябов) в методической печи является нагрев металла перед дальнейшей обработкой давлением. Конечной целью процесса является равномерное прогревание металла по сечению и получение необходимых свойств готового проката.

Усовершенствовать данный процесс можно путем реконструкции печи для нагрева слябов заменив двухпроводные горелки, работающие на природном газе или на смеси (коксовального и доменного газов) плоскопламенными или осуществить рециркуляцию продуктов сгорания, отбирая последние после рекуператора и подавая их через горелочное устройство, в газовый или воздушный канал горелки.

В рамках первого этапа реализации программы инновационного развития прокатного передела в прокатном цехе успешно введена в эксплуатацию первая в Украине новая трехзонная нагревательная печь производства итальянской фирмы «Forni e Combustione». Печь оснащена 48 беспламенными двухпроводными сводовыми горелками низкого давления, двухпетлевым рекуператором, современной системой АСУ и комплексом оборудования предварительного раскроя заготовки и раската перед чистой линией прокатного стана. Это позволит сократить расход газа и снизить окалинообразование, что в свою очередь снижает расходный коэффициент металла и дает возможность уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу.

В мировой практике распространение получили плоскопламенные двухпроводные горелки (с принудительной подачей воздуха), в которых необходимый для горения воздух подается вентилятором. Горелки работают на газе низкого, среднего давления. Они имеют малые габариты, обладают большой производительностью при бесшумной работе.

Их можно применять в топочных устройствах с различной величиной противодавления и беспрепятственно регулировать соотношение газа и воздуха. Для сокращения длины факела пламени газовый, а иногда воздушный поток дробят на отдельные тонкие струйки, закручивают потоки газа и воздуха под углом друг к другу (рис. 1).

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Парахин Н.Ф.

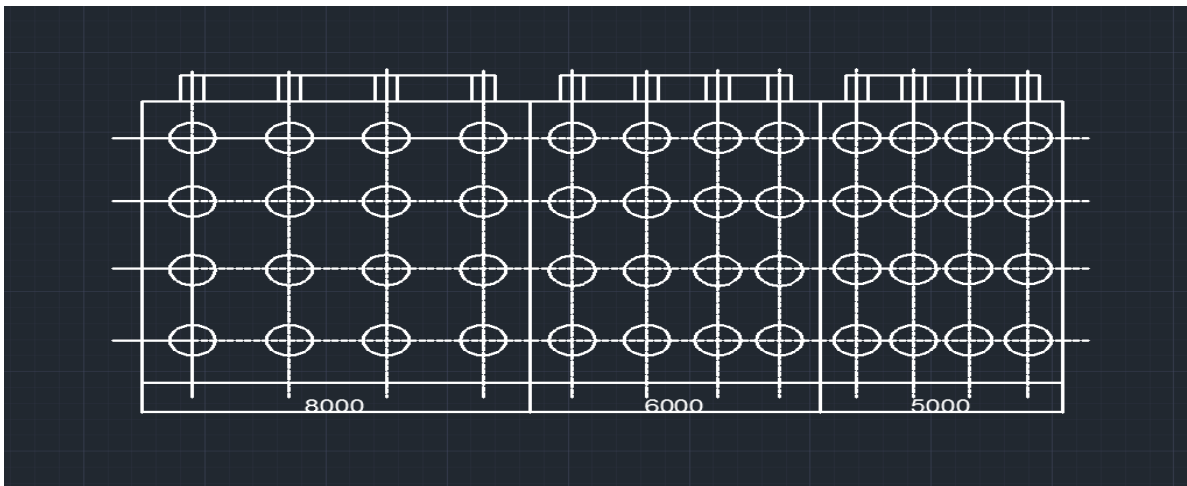


Рисунок 1- Схема расположения плоскопламенных в верхней зоне нагрева и длиннопламенных горелок в нижней зоне нагрева нагревательной печи

Процесс нагрева металла осуществляется путем создания равномерного температурного поля в печи, нагревая свод 48 сводовыми беспламенными горелками в зонах верхней части нагрева и 12 стандартными длиннопламенными горелками в нижней зоне нагрева по 4 штуки в каждой (рис.2).

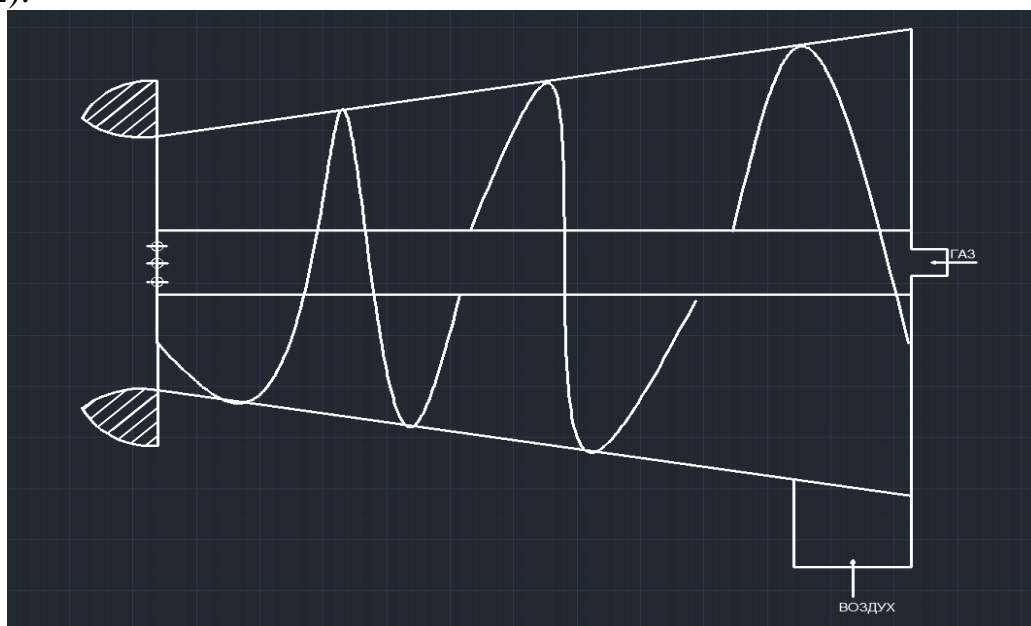


Рисунок 2 – Схема плоскопламенной горелки

Внедрение данной разработки позволит снизить удельный расход условного топлива примерно на 20% и повысить выход годного проката за счет сокращения потерь металла с окалиной при нагреве, снижая его угар до 1% за счет регулирования атмосферы в нем, уменьшить количество вредных выбросов оксидов  $NO_x$ , так как  $NO_x = f(CO_2, CN_2, t_{пр})$ .

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА АЗОТА В ЖИДКОЙ ВАННЕ ПРИ ДЕАЗОТАЦИИ СТАЛИ КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Черный С.В. (ПТТ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Деазотация стали комплексным воздействием вакуумирования в ковше с одновременной рассредоточенной продувкой расплава аргоном через пористое днище ковша обусловлена конвективным массопереносом атомов азота в жидкой ванне к межфазным поверхностям «вакуум – металл» и «аргон – металл».

По причине существенно более низкого значения коэффициента диффузии азота в расплаве стали по сравнению с водородом, за период времени обработки жидкого металла (10 – 20 мин) достигается и меньшая степень деазотации стали.

Как следует из рис.1, вклад в деазотацию расплава продувки аргоном в сравнении с вакуумированием растет с увеличением интенсивности продувки и зависит от глубины вакуума.

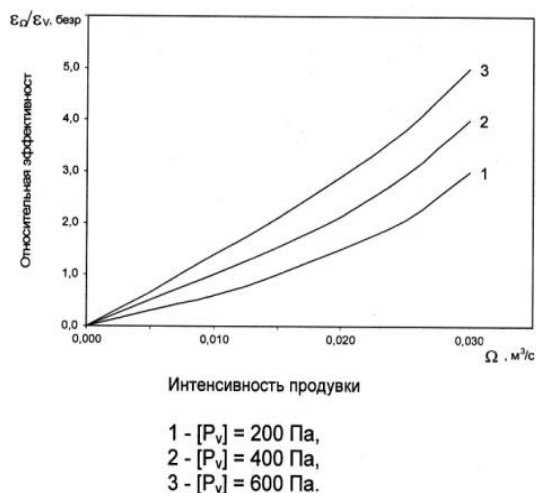


Рисунок 1

При оптимальном значении интенсивности продувки для рядовых марок стали можно отказаться от одновременного вакуумирования с целью экономии материальных и энергоресурсов. Это обусловлено существенно большей площадью межфазной поверхности «аргон – металл» (вследствие огромного количества всплывающих в жидкой ванне пузырей аргона) по сравнению с аналогичной характеристикой границы «вакуум – металл». В этих условиях конвективный массоперенос атомов азота в жидкой ванне первой межфазной поверхности существенно преобладает над второй.

\*Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.И.

## ПЕРЕВОД БЛОКА №5 КУРАХОВСКОЙ ТЭС В ТЕПЛОФИКАЦИОННЫЙ РЕЖИМ

Сиряк Е. Е. (ИТТ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Тепловая энергия, используемая Кураховской ТЭС для теплоснабжения города Курахово, является побочным продуктом генерации электрической энергии, реализация которого повышает показатель степени использования энергии первичного топлива органического происхождения — каменного угля.

При общей установленной мощности сетевых подогревателей 793 МВт, подключенная тепловая нагрузка, с учетом собственных нужд станции, составляет, по данным предприятия, 64 МВт, т.е. только 8,16% от установленной мощности.

В связи с отсутствием системы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого квартала города предлагается установить двухходовые пластинчатые теплообменники с целью повышения коэффициента использования установленной мощности. Для теплофикации предлагается разделить 6-ой отбор, чтобы одна часть пара шла на подогрев сетевой воды, а другая в ПНД. Для решения этой проблемы предлагается частично перевести блок №5 Кураховской ТЭС в теплофикационный режим. Полностью компьютеризованный блок будет работать не только для выработки электрической энергии, но и тепловой. Такая конструкция теплообменника обеспечивает эффективную компоновку теплообменной поверхности и, соответственно, малые габариты самого аппарата. Сейчас единственным источником теплоснабжения является блок №8 Кураховской ТЭС, работающий в теплофикационном режиме. На блоке установлены трубчатые пароводяные теплообменники. Преимуществом пластинчатого теплообменника является экономичность и простота обслуживания; низкая загрязняемость поверхности теплообмена вследствие высокой турбулентности потока жидкости, образуемой рифлением пластин; гибкость: в случае необходимости площадь поверхности теплообмена в пластинчатом теплообменнике может быть легко уменьшена или увеличена простым извлечением или добавлением пластин; снижение расхода электроэнергии на питательные насосы, стоимость монтажа пластинчатого на порядок ниже, чем кожухотрубчатого теплообменника.

Таким образом применение нового технологичного оборудования — пластинчатых теплообменников — позволяет наряду с экономией первоначальных затрат переходить на другие режимы работы. Достигается более эффективное использование источников энергии, повышение их КПД. Отпадает необходимость в сооружении дополнительных районных отопительных котельных и теплопунктов, электроэнергии на привод насосов, капитальных затрат на строительство и оборудование отопительных котельных и теплопунктов, улучшению экологической ситуации в районе города.

---

\* Руководитель – старший преподаватель каф. ТТ Волкова О.Г.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

Халаджи М. А. (ПТТ-12с),<sup>21</sup>

Донецкий национальный технический университет

На большинстве тепловых электростанций Донецкого региона используется твердое угольное топливо, которое сжигается в мелкодисперсном состоянии. Такой способ сжигания считается наиболее эффективным, так как позволяет значительно увеличить площадь соприкосновения окислителя (кислорода) с мелкодисперсными частицами угольного топлива.

На тепловых электростанциях, а так же на некоторых металлургических заводах, где вдувается пылеугольное топливо в доменные печи, в качестве агрегата для измельчения угля используются шаровые мельницы различных модификаций. Способ измельчения угля в таких устройствах имеет существенные недостатки, связанные с необходимостью применять стальные или чугунные шары диаметром от 50 до 100 мм, которые быстро изнашиваются, что приводит к большому их удельному расходу на тонну измельченного угля. Кроме того, при вращении барабана шаровой мельницы шары, падая с высоты 1,5-2 м, разрушают броневую защиту внутренней поверхности мельницы, что требует частых ремонтных работ.

В настоящее время разработаны новые принципы измельчения угольного топлива в вибро-центробежных установках, позволяющие получать ультрадисперсную угольную пыль с размерами частиц близких к наноизмерениям.

В представленной работе исследуются теплотехнические особенности сжигания ультрадисперсной пыли в котельных агрегатах. Проведя расчеты концентрации частиц единицы объема на основе чего определили удельную поверхность всех частиц отнесенное к 1 кг всего топлива, которое составило  $2272,5\text{ м}^2$ , что больше чем для шаровых мельниц. Большая концентрация частиц пыли значительно повышает радиационные свойства факела и степень черноты для сжигания такого топлива составит 0,95. При такой степени черноты излучательная способность факела рассчитанная по формуле Стефана-Больцмана увеличивается на 5%.

Увеличение радиационной способности факела приведет к более интенсивному теплообмену в топочной камере котла и уменьшению расхода топлива. Применение ультрадисперсной угольной пыли повышает эффективность улавливания ее в электрофильтрах, что существенно улучшает экологическую обстановку в районе ТЭС.

---

<sup>21</sup> Руководитель –к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА БКЗ-70

Федотова Д.В. (ПТТ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время на энергетических котлах, используется только один вид вторичных энергоресурсов – это физическое тепло продуктов сгорания для нагрева питательной воды в экономайзерах и для нагрева воздуха в воздухоподогревателях, что позволяет существенно повысить технико-экономические показатели работы котельной установки.

В представленной исследовательской работе показана возможность использования других вторичных энергоресурсов, в частности, использования физического тепла атмосферного воздуха, подогретого внешней поверхностью обмуровки котла и подачи его в воздухонагреватель и тепловой энергии воздуха, адиабатно сжатого турбокомпрессором, расположенного в машинном отделении паровых турбин и подачи его в воздухонагреватели доменных печей. Как показали прямые измерения температуры внешней поверхности обмуровки котла, средняя температура может достигать  $40^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре возникает конвективный теплообмен и при огромной теплоотдающей внешней поверхности котла атмосферный воздух нагревается до  $35^{\circ}\text{C}$  в верхней части котла. Здесь же расположен и бак-сепаратор, передающий дополнительное тепло окружающему воздуху. На основе формул свободной конвекции и теоретического определения скорости подъема нагретого воздуха, общий расход воздуха, омывающий поверхность котла, достигает  $(40 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3)$  м<sup>3</sup>/ч. Для сбора нагретого воздуха устанавливается зонт размерами 3\*5 м под верхней частью котла, и воздух при помощи опускного воздухопровода подается на всасывающее устройство вентилятора, с дальнейшей подачей его в воздухонагреватель котла.

Расчеты показывают, что такой способ использования тепла атмосферного воздуха позволяет экономить от 3 до 5 % топлива. Один из перспективных методов использования ВЭР в системе паровой котел-турбокомпрессор является термодинамический эффект резкого подъема температуры при адиабатном сжатии воздуха компрессором до давления 0,1-0,12 МПа. По термодинамическим расчетам температура воздуха повышается примерно до  $300^{\circ}\text{C}$ . Нагретый воздух подается в водо-воздушный теплообменник, через который прокачивается питательная вода. Выполнены расчеты теплообменника, определены его параметры, получена величина подъема температуры питательной воды, которая составила  $30^{\circ}\text{C}$ , что позволяет экономить 4-6% топлива.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

## РАЗВИТИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОПОРОШКОВЫХ СТРУЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

Чиж В.В. (ЭТ-10)\*

Приазовский государственный технический университет

В последние годы вдувание технологических порошков в расплавы и агрегаты позволяет усовершенствовать технологию производства чугуна и стали. Масштабы использования порошков на меткомбинатах очень внушительные. Например, только на ММК им. Ильича через ~ 90 форсунок в 5 доменных печах будут вдувать ~ 1 млн т угля в год (~ 16 тыс. вагонов).

Цель исследования – используя современные модели, включающие системы дифференциальных уравнений, показать каким образом концентрация порошка, диаметр частиц и коэффициент их формы, теплоподвод через стенку фурмы, коэффициенты восстановления нормальной и тангенциальной скорости частиц при ударах о стенку, массовая доля частиц разного диаметра влияет на заглубливание газопорошковой струи в расплавы чугуна и стали.

Так, например, на рисунке показано влияние плотности  $\rho_2$  порошка-десульфуратора на заглубливание двухфазной струи в металл. Видно, что чем меньше плотность частиц, тем больше  $h_{стр}$  при любой температуре несущего

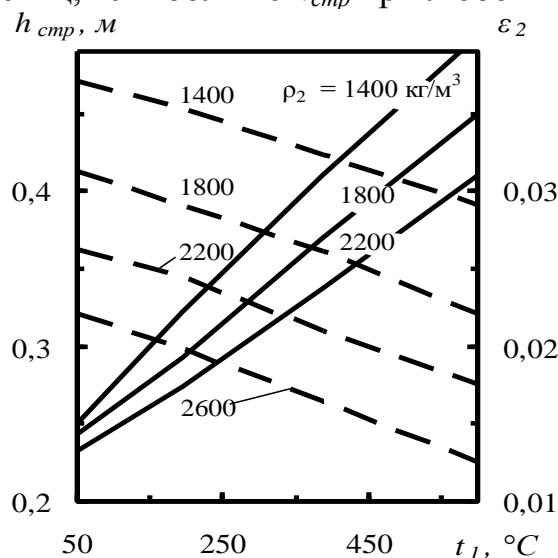


Рисунок – Зависимость длины струи  $h_{стр}$  (—) и объемной доли несущего газа  $\varepsilon_2$  (---) от плотности  $\rho_2$  порошка, а также от температуры газонесителя  $t_1$  на выходе из фурмы.

газа  $t_1$ . Это объясняется тем, что с повышением плотности  $\rho_2$  уменьшается скорость как газовой фазы  $w_1$ , так и частиц  $w_2$ . Это приводит к тому, что объемная доля  $\varepsilon_2$  существенно снижается, что увеличивает плотность смеси  $\rho_{12}$ . Но снижение скорости смеси  $w_{12}$  в квадрате влияет на число Архимеда. В итоге глубина проникновения струи уменьшается. Аналогичным образом решена задача по влиянию целого ряда факторов на заглубливание струи в металл.

\* Руководитель – к.т.н., доц. каф. теплофизики и теплоэнергетики металлургического производства Куземко Р.Д.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА ОТ ОКИСЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Усов А.С. (ПТТ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Основным недостатком методических печей, отапливаемых газообразным органическим топливом (природный, коксовый газ), является то, что в процессе сгорания топлива и нагрева металла образуются такие окислительные газы как  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Их общая концентрация достигает 20 - 22%. Так же в газовой атмосфере присутствует свободный кислород, который поступает в продукты сгорания при  $\alpha > 1$  кроме этого и за счет подсосов атмосферного воздуха. Для различных печей концентрация свободного кислорода составляет 2 - 4%. При этом окислительные газы взаимодействуют с металлом и с ростом температуры образуется трехслойная окалина, состоящая из различных оксидов железа:  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ , что приводит к необратимой потере металла. Потеря металла при нагреве в окислительной атмосфере рабочего пространства методической печи, как показывает практика, может достигать 2%, что при годовой производительности печи 300 тыс. т составляют 6 тыс. т (около 15 млн. грн. в год).

На методической печи ОАО “Донецксталь – металлургический завод” для уменьшения окалинообразования были предприняты попытки по защите металла путем покрытия заготовок раствором жидкой извести, жидким стеклом и др. Как показала практика, это нетехнологично и затрудняет процесс нагрева металла. В работе исследуется возможность применения защитной атмосферы для снижения концентрации окислительных газов. Защитный газ, в качестве которого применяется азот кислородной станции, подается в рабочее пространство через специальные сопла. Для более эффективного использования всего объема поступающего в печь чистого азота, его целесообразно подавать на отдельном участке сварочной зоны, где развиваются наиболее высокие температуры и высокая скорость окисления поверхности металла. При расходе дымовых газов  $20000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , общий расход азота составит  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расчеты, проведенные при использовании азота как защитной атмосферы, показали, что концентрация окислителей в газовой среде печи понижается приблизительно в 2 раза (так, концентрация  $\text{O}_2$  с 2% понижается до 1,19%). Это, в свою очередь, приводит к значительному снижению окалинообразования. Охлаждающее действие азотной струи, оказываемое на температуру заготовок, незначительное.

Такой метод защиты металла от окисления можно использовать на любых методических печах, а так же печах подобных методическим.

---

\* Руководитель – к.т.н., проф. кафедры ТТ Туяхов А.И.

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



## ПЕРСПЕКТИВА СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ ЦКС

Григоренко Е.С. (ЭНМ – 12м)<sup>22</sup>

Донецкий национальный технический университет

Поскольку национальных запасов угля Украине хватит еще на несколько столетий, то вполне объяснима активная разработка новых технологий по его использованию. Уголь, прежде всего, применяют при производстве электроэнергии на ТЭС и КЭС, и одним из новых этапов развития методов его термической переработки стала разработка технологий сжигания твердого топлива в агрегатах с циркуляционным кипящим слоем (ЦКС) при атмосферном давлении.

Согласно с «Техническим решением по модернизации энергоблока № 4 Старобешевской ТЭС», от 15.04.1997 апреля 1997 г., энергоблок № 4 в апреле был выведен из эксплуатации для реконструкции с заменой существующего пылеугольного котла производительностью 640 т / ч, на котел с циркулирующим кипящим слоем производительностью 670 тонн пара. Котлоагрегат АЦКС фирмы Lurgi Lentjes AG (Германия) электрической мощностью 210 МВт и с коэффициентом полезного действия в среднем составляет 88,5%. в час был введен в эксплуатацию 25.05.2011 г. В качестве основного топлива на данное время используется шлам антрацита. Отличительной особенностью данной технологии является организация процесса горения как в кипящем слое, так и в надслоевом пространстве с возвратом и многократной циркуляцией топливных частиц в реакционной зоне.

Котел с ЦКС имеет ряд преимуществ над пылеугольным котлом, среди которых можно выделить следующие:

- 1) эффективное сжигание топлива любого качества без газовой или мазутной подсветки за счет турбулизации двухфазной системы в слое;
- 2) возможность сжигания разного по качеству топлива в одном и том же котле при упрощенной схеме топливоподготовки и высокой изотермичности во всем объеме слоя;
- 3) возможность глубокой разгрузки без применения вспомогательного топлива (до 25 %) и быстрый пуск из горячего состояния;
- 4) данные установки обладают большей маневренностью. В них разделены области горения и интенсивного тепло- и массообмена между фазами;
- 5) ввиду специфики организации процесса горения котлы с ЦКС не требуют установки дополнительного газоочистного оборудования и сводят к минимуму эксплуатационные затраты, идущие на то, чтобы энергоблок смог отвечать самым жестким европейским требованиям по выбросам вредных веществ.

Основные разработчики ЦКС – технологий для сжигания углей и изготовители котельного оборудования: фирмы Lurgi, Steinmueller, Deutsche

---

<sup>22</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Гридин С.В.

Babcock (Германия), Foster Wheeler Energia Oy (ранее Ahlstrom Pyropower; Финляндия - США), Riley Stoker (США), а так же Stein Industrie (Франция) и Mitsubishi (Япония) по лицензии Lurgi.

Рассмотрим более подробно технологию сжигания твердого топлива фирмой «Lurgi». На рисунке представлена принципиальная схема ЦКС - котлоагрегата этой системы.

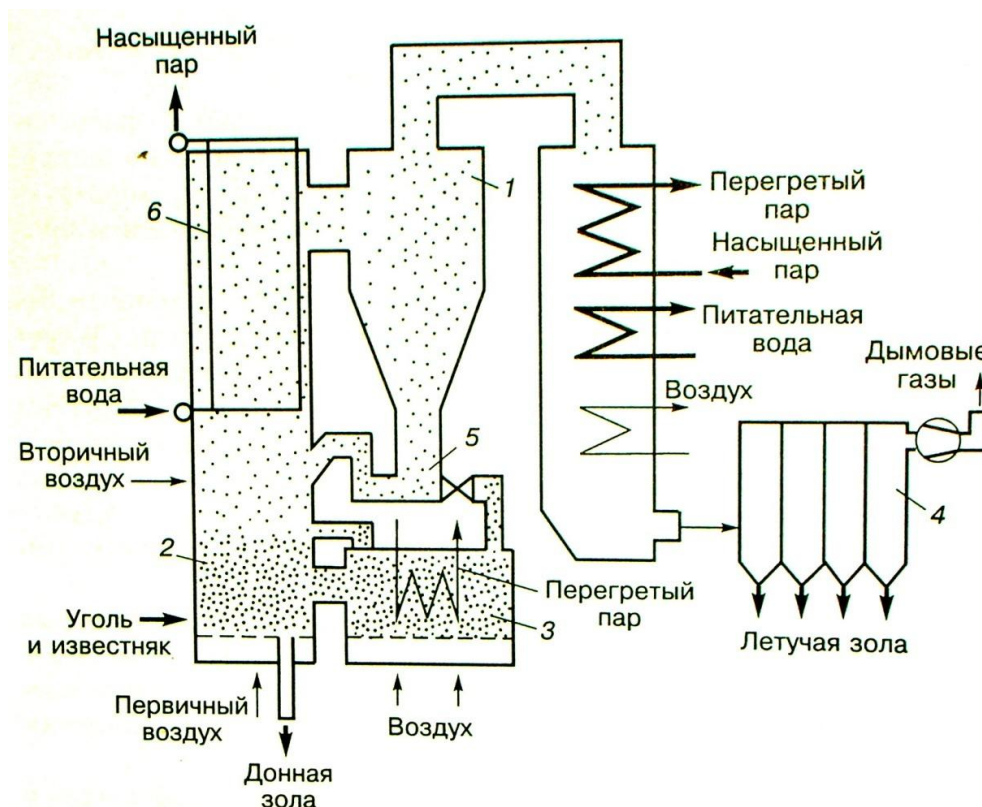


Рисунок – Принципиальная схема ЦКС – котлоагрегата системы «Lurgi»: 1 – циклон; 2 – топка; 3 – теплообменник кипящего слоя; 4 – рукавный фильтр; 5 – L – клапан; 6 – испарительные поверхности нагрева.

Котлы системы «Lurgi» оснащены выносными циклонами и содержат выносной теплообменник кипящего слоя. Выводимые из топки твердые частицы улавливаются в циклонах, возвращаясь в ее нижнюю часть по внешнему тракту циркуляции. В следствие многократной циркуляции топливных частиц обеспечивается необходимое время их пребывания в реакционной зоне, а также равномерное напряжение всего топочного объема. Процесс горения угольных частиц происходит при температуре 850°C – 900 °C, скоростях газа в топке 4 – 7 м/с.

Подводя итоги данной статьи, следует заметить необходимость интенсивного внедрения технологий сжигания топлива с циркулирующим кипящим слоем на теплоэнергетических установках Украины, в связи с необходимостью улучшения технико-экономических показателей работы ТЭС, а так же снижения вредных выбросов оксидов серы и азота.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ДВУХБАРАБАННОГО КОТЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Стрельцов Р.В. (ТТМ – 12)\*

Донецкий национальный технический университет

Целью исследования является влияние изменения схемы движения теплоносителей на энергоэффективность пароперегревателя двухбарабанного парового котла.

Пароперегреватель – один из наиболее ответственных элементов котла, так как из всех поверхностей нагрева он эксплуатируется в наиболее тяжёлых температурных условиях.

В зависимости от направления движения дымовых газов и пара различают три основные схемы включения пароперегревателя в газовый поток: прямоточную, противоточную, смешанную.

В случае прямоточной схемы пароперегревателя в котле наиболее высокая температура дымовых газов соответствует наиболее низкой температуре перегретого пара. При такой схеме движения теплоносителей температурный напор минимален, что требует увеличения необходимой поверхности нагрева пароперегревателя.

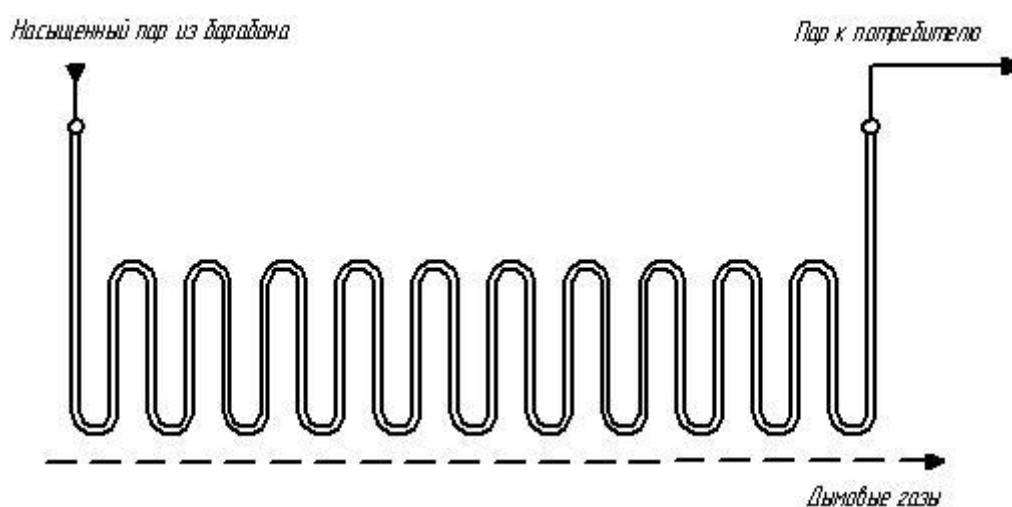


Рисунок 1 – Прямоточная схема включения пароперегревателя в газовый поток

При противоточной схеме движения в отопительном котле змеевики, обогреваемые продуктами горения с наиболее высокой температурой, встречают уже перегретый пар и охлаждаются при этом недостаточно. При такой схеме движения теплоносителей температурный напор максимальный,

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

что позволяет делать пароперегреватели с такой схемой движения весьма компактными.

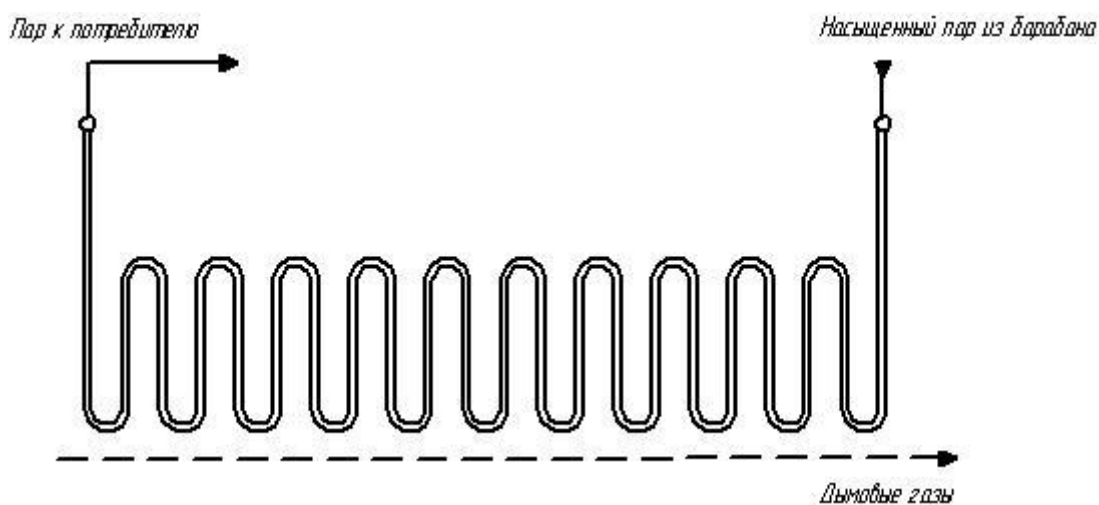


Рисунок 2 – Противоточная схема включения пароперегревателя в газовый поток

Оптимальной по условиям надежности работы является смешанная схема включения пароперегревателя, при которой первая по ходу пара часть пароперегревателя выполняется противоточной, а завершение перегрева пара происходит во второй его части при прямоточном движении теплоносителей. При такой схеме движения теплоносителей мы наиболее полно используем достоинства прямоточной и противоточной схем, нивелируя их недостатки.

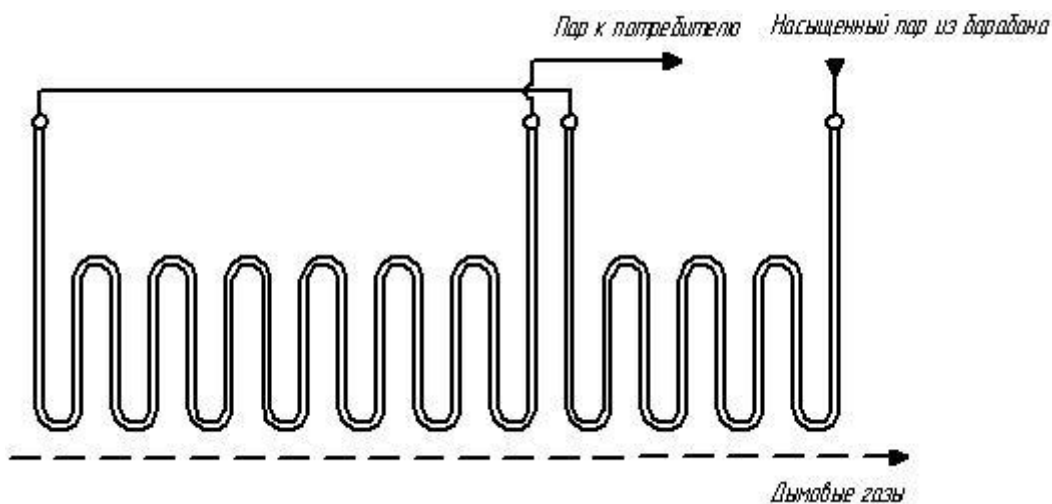


Рисунок 3 – Смешанная схема включения пароперегревателя в газовый поток

Таким образом оптимальной является смешанная схема включения пароперегревателя в газовый поток позволяющая достичь таких же высоких температур перегретого пара как и при других схемах включения пароперегревателя при увеличении срока его эксплуатации.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ КОНВЕРТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Дремов А.Н. (ЭНМ-12э)<sup>23</sup>

Донецкий национальный технический университет

Современный кислородно-конвертерный процесс представляет собой сочетание проверенной годами технологии, современных средств управления технологическим процессом и защиты окружающей среды. Как известно, любой металлургический процесс ведет за собой образование не только требуемого продукта, но и значительное количество жидких, твердых и газообразных отходов.

Так, например, кислородно-конвертерный цех ПАО «АМК» включает в себя два конвертера, производительностью 2,5 млн. т стали в год каждый. К отходам этого конвертерного производства относятся вторичные огнеупорные материалы, шлаки, шламы и пыль, газообразные отходы. Особое внимание следует уделить конвертерному газу, в котором содержится до 60-80% CO. На данный момент конвертерный газ на комбинате не используется, а сжигается на газосборном устройстве в количестве до 60 тыс. м<sup>3</sup>/ч, что приводит к потере тысяч тонн условного топлива и постоянным выбросам в окружающую среду вредных веществ.

По условиям технологии производства на Алчевском меткомбинате дефицит потребления коксового газа компенсируется увеличением потребления природного газа (при передаче 20 тыс. м<sup>3</sup>/ч коксового газа потребление природного газа увеличивается на 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч). Поэтому одним из основных резервов экономии ТЭР является использование энергетических отходов в качестве вторичных энергоресурсов, а именно использование газов сталеплавильных конверторов.

Основными предпосылками для реализации проекта строительства газгольдера конвертерного газа является то, что в результате строительства появляется возможность практически полной утилизации избыточного конвертерного газа до 90% (до 60 м<sup>3</sup>/ч) и передача его на газотурбинную электростанцию комбинированного цикла (ГТЭС КЦ) при улучшении экологической ситуации за счет снижения выбросов вредных веществ и тепла от сжигания конвертерного газа.

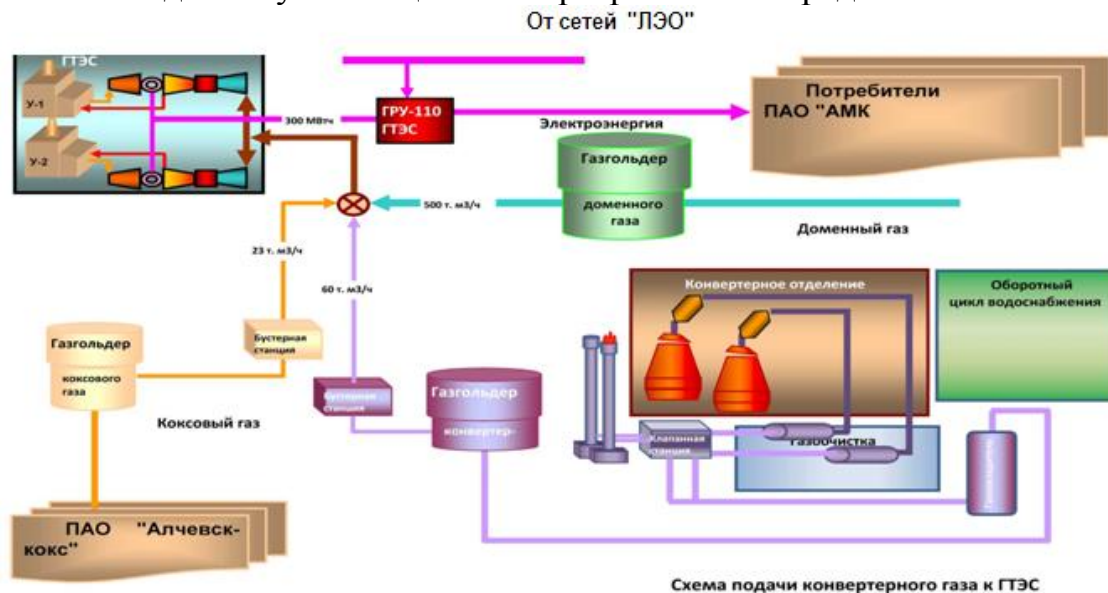
Конвертерный газ - высококачественное технологическое и энергетическое топливо. Его технологическая ценность определяется большим содержанием CO и возможностью использования газа в качестве восстановителя. Энергетическая ценность конвертерного газа определяется высокой теплотой сгорания и малым выходом продуктов сгорания на единицу получаемой теплоты.

---

<sup>23</sup>Руководитель – к.т.н. доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Гридин С.В.

Технология подготовки к использованию конвертерного газа в условиях ПАО «АМК» выглядит следующим образом. Очищенный в электрофильтрах до конечной запыленности  $30 \text{ мг/м}^3$  конвертерный газ периодически (при продувках конверторов) подается через систему клапанов в газоохладители, где температура его снижается до  $60^\circ\text{C}$ , после чего поступает в газгольдер объемом  $80 \text{ тыс.м}^3$ . В газгольдер поступает не весь газ, а только та часть, которая имеет высокое содержание CO (более 30%), остальная низкокалорийная часть газа сжигается на свече. Для переключения подачи газа в конвертер или на свечу применяются клапанные станции. В газгольдере поддерживается давление газа  $2,5 \text{ кПа}$  за счет поршня газгольдера и напора, создаваемого дымососами газоочисток. Из газгольдера газ с температурой  $55^\circ\text{C}$  поступает на вход газодувок (бустер-компрессоров), где давление его повышается до  $20 \text{ кПа}$  для передачи в сеть. Далее по газопроводу конвертерный газ поступает в район расположения газгольдера доменного газа, где смешивается с доменным газом на смесителе и подается на ГТЭС КЦ.

Схема подачи и утилизации конвертерного газа представлена ниже.



Ожидаемым результатом от реализации проекта является создание эффективной газотранспортной системы, которая обеспечит сбор и транспортировку вторичных энергоресурсов (конвертерного газа) для газотурбинной электростанции.

В результате реализации проекта появляется возможность использования до  $55 \text{ тыс.м}^3/\text{ч}$  ( $13,7 \text{ т.у.т./ч}$ ) конвертерного газа с характеристиками, приведенными в таблице ниже.

Расход, мах, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	Давление, кПа	Температура, $^\circ\text{C}$	Теплотворная способность, $\text{кДж/м}^3$ (ккал)
55	20	55	7275 (1736)

Учитывая режимы работы конвертера согласно производственной программы, возможно получить в качестве топлива около  $448000 \text{ тыс.м}^3$  в год конвертерного газа.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Копейка Д.В. (ЭНМ-09)\*

Донецкий национальный технический университет

Сегодня во всём мире наблюдается тенденция к сокращению использования невозобновляемых источников энергии и переход к использованию альтернативных источников энергии.

Одним из альтернативных источников тепла является тепловой насос. Его основное отличие (и одновременно преимущество) – это возможность использования низкотемпературной энергии окружающей среды (например, тепла шахтных вод) для нужд отопления и горячего водоснабжения.

Шахтная вода обладает серьёзным энергетическим потенциалом утилизации (от  $Q=4,5$  МВт зимой до  $Q=7$  МВт летом при охлаждении ее на  $5^{\circ}\text{C}$ ) для использования в качестве низкотемпературного источника тепла в тепловых насосах. На Донбассе существует множество шахт, выведенных из эксплуатации, где ежегодно накапливаются и сбрасываются в открытые водоемы большие объёмы шахтной воды (от 600 до 865 м<sup>3</sup>/ч), имеющей температуру от 18 до 25 $^{\circ}\text{C}$ . Используя воду с такой температурой, тепловой насос может получить во вторичном контуре с сетевой водой системы теплоснабжения температуру 60-70 $^{\circ}\text{C}$ . Охлаждённая вода сбрасывается обратно в шахту, но в другую выработку, чтобы избежать смешения и снижения температуры шахтной воды.

Принцип действия теплового насоса в нашем случае будет следующим: низкотемпературный теплоноситель (шахтная вода) поступает в испаритель теплового насоса и отдаёт тепло во внутренний контур теплового насоса. Внутренний контур заполнен хладагентом, имеющим очень низкую температуру кипения. Хладагент, проходя через испаритель, принимает газообразное состояние. Газообразный хладагент попадает в компрессор, где он сжимается до высокого давления и температуры. Далее газ поступает в конденсатор, где отдаёт тепло теплоносителю систем отопления или горячего водоснабжения, и затем переходит в жидкое состояние. Цикл повторяется.

Использование таких систем позволяет сократить расходы на отопление и горячее водоснабжение, снизить зависимость от импорта топлива, сократить загрязнение окружающей среды, увеличить производство тепловой энергии, повысить надёжность обеспечения потребителей теплом и горячей водой.

Особенно целесообразно в Донецком регионе использовать тепловые насосы как для замещения нагрузки горячего водоснабжения, так и для использования получаемой горячей воды для подпитки котлов и тепловых сетей котельных, расположенных наиболее близко к месту установки тепловых насосов.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСОСНОЙ ГРУППЫ ПРИ ПРОКАЧКЕ ВОДЫ ПРЕДПРИЯТИЕМ ПУВКХ ГОРОДА ДЗЕРЖИНСКА

Коваленко А.А, Половина М.С. (ст. гр. ЭНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Производственное Управление водопроводно-канализационного хозяйства г. Дзержинска обслуживает 478,1 км водопроводных и 100,5 км канализационных сетей, 5 канализационных и одна водопроводная насосная станция, центральный водопроводный узел, Дзержинские и Новгородские очистные сооружения, проведено документальное обследование общепроизводственных расходов по водоподведению и водоотведению. Водоканал обслуживает 232 человека. Направление деятельности: обеспечение потребителей питьевой водой, сбор и очистка стоков.

Сравнение расходов электроэнергии предприятием за 2011 – 2012 гг. показало, что они возросли на 7,9% до 19,1 млн. грн. против 17,6 млн. грн. в 2011г., что связано в том числе и с перерасходом электроэнергии на прокачку воды 1,5 млн. грн. против 1,3 млн. грн. в 2011 г., т.е. на 12,3%.

В эксплуатации находятся 2 водопроводные насосные станции: «Водопроводный узел», проектной производительностью 40 тыс.м<sup>3</sup>/сут., и «Красные колодцы», проектной производительностью 3,6 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Хлорация обеспечивается в количестве 1,2 кг хлора в час. Проектная производительность очистных сооружений- 20 т. м<sup>3</sup>/сутки с биологической очисткой и доочисткой сточных вод. В настоящее время установлено 8500 ед. водомеров, в том числе госсектор – 7687 ед., частный сектор – 753 ед., групповые – 60 ед., что при росте цены на воду положительно скажется на экономике предприятия.

При проектировании водопроводные насосные станции были рассчитаны на расход электроэнергии, который превышает фактический на 21%, что указывает на нерациональном использовании мощностей в первую очередь насосной группы.

На канализационных сетях имеются 5 насосных перекачивающих станции, три из которых принадлежат г. Дзержинску, а две пгт. Новгородск. При рассмотрении проектного и планового потребления электроэнергии следует отметить, что канализационные станции пгт. Новгородска эксплуатируются не рационально, т.к. факт потребления меньше на 84% планового. Для обеспечения рационального потребления возможны два варианта:

1. Замена насосного оборудования на оборудование меньшей производительностью.
2. Вывод из эксплуатации канализационной станции №1, т.к. ее задачей является лишь перекачка сточных вод на другую канализационную станцию.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

## ПРОИЗВОДСТВО СИНТЕЗ - ГАЗА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Вертела С.А. (ЭНМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Развитие современных промышленных предприятий сопровождается постоянно возрастающим потреблением топливно-энергетических ресурсов, вследствие чего затраты на энергоресурсы в структуре себестоимости выпускаемой продукции составляют более 20%.

Общемировая тенденция к увеличению цен на углеводородные топлива подталкивает потребителей искать альтернативные более дешевые энергоносители. Зависимость Украины от импортного топлива требует детального пересмотра политики использования собственных энергоресурсов, в первую очередь угля. Одним из путей поддержания конкурентоспособности ряда производств является газификация твердых топлив. Многие технологические процессы требуют большого количества тепловой энергии, которую можно легко получить путем сжигания синтез - газа, полученного газификацией угля. Кроме того, генераторный газ может быть использован в газопоршневых электроагрегатах, что является актуальным для автономного энергообеспечения отдаленных производственных и гражданских объектов. Основным вопросом о нерентабельности шахт Донбасса так же может быть решен за счёт использования метода подземной газификации.

Технология подземной газификации угля (ПГУ) – нетрадиционный способ разработки угольных месторождений, открывающий новые возможности в отработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания, совмещающий добычу, обогащение и переработку угля. Сущность технологии подземной газификации угля заключается в бурении с поверхности земли скважин до угольного пласта, со сбойкой (соединением) их в пласте одним из известных способов, в последующем розжиге угольного пласта и обеспечении условий для превращения угля непосредственно в недрах в горючий газ и в выдаче произведенного газа по скважинам на земную поверхность. На поверхности газ очищается и служит топливом для газотурбинных электрогенерирующих установок либо используется другим образом. Таким образом, все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с земной поверхности, без применения подземного труда работающих, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом. Особенности технологии позволяют использовать даже те месторождения, разработка которых традиционными способами неэффективна. Принципиальная схема ПГУ представлена на рисунке, где 1 – буровые скважины; 2 – реакционные каналы; 3 – газоходы.

---

\* Руководитель – доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

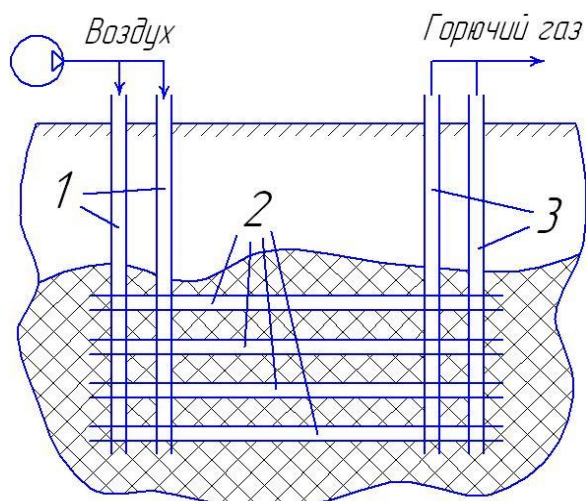


Рисунок – Принципиальная схема подземной газификации угля

В процессе газификации угля выделяют две стадии. Первая - стадия термического разложения, при которой из угля выделяются влага и летучие парогазовые вещества, и остается коксовый остаток, горючую часть которого составляет углерод. Вторая - стадия газификации, при которой, во-первых, углерод коксового остатка с помощью свободного или связанного кислорода превращается в горючие газы, и, во-вторых, эти газы взаимодействуют с кислородом и водяным паром. Именно стадия газообразования является главной, определяющей состав газа подземной газификации.

Многообразие разрабатываемых и действующих процессов позволяет использовать твёрдые топлива разных месторождений, обладающих различными физическими и химическими свойствами. А также позволяют получить различный состав образованного конечного продукта : генераторный газ - теплота сгорания - 3800-4600 кДж/нм<sup>3</sup>; синтез-газ для химической технологии - 10 900 - 12 600 кДж/нм<sup>3</sup>; восстановительный газ (для металлургических и машиностроительных производств) - 12600 - 16800 кДж/нм<sup>3</sup>; городской газ (отопительный) - 16800- 21000 кДж/нм<sup>3</sup>; синтетический природный газ (богатый газ) для транспортировки на дальние расстояния – - 25 000 - 38 000 кДж/нм<sup>3</sup>.

Экологические преимущества подземной газификации углей перед традиционными способами разработки угольных месторождений заключается главным образом, с одной стороны в экологической чистоте газов подземной газификации как топлива, а с другой - метод ПГУ позволяет не нарушать растительный слой, и после окончания газификации угольного пласта наземный участок может быть без какой-либо рекультивации передан для сельскохозяйственного употребления. На стадии добычи исключается выброс в атмосферу угольной пыли (0,3-15 кг/т.у.т.) и уменьшается сброс взвешенных веществ в сточные воды (с 0,452 до 0,044 кг/т.у.т.). На стадии сжигания исключается выброс золы, сернистого ангидрида и уменьшается в 1,5-2 раза выход окислов азота (с 2-5 до 1-1,5 кг/т.у.т.).

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Петренко А.Ф. (ЭНМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Силовые трансформаторы имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия. Однако более эффективное использование энергии при ее трансформации возможно путем утилизации части тепловых потерь трансформаторов, которые обычно отводятся в окружающую среду. Для этой цели наиболее пригодны масляные трансформаторы, в которых масло служит не только диэлектриком, но и охлаждающей средой, отводящей тепло от обмоток и магнитопровода к радиаторам системы охлаждения. Выделяемое при этом тепло может быть использовано для целей теплоснабжения подстанций (ПС).

Существуют различные способы использования тепла выделяемого силовыми трансформаторами, – с подачей в систему отопления масла, воздуха или воды.

Прямое использование трансформаторного масла в качестве теплоносителя для системы отопления нецелесообразно из-за возможной его утечки из контура отопления, опасности возгорания или загрязнения. Кроме того, требуется большое количество масла из-за его относительно низкой теплоемкости.

Используя в качестве теплоносителя воздух, можно равномерно изменять температуру отапливаемых помещений, отказаться от дополнительной установки отопительных приборов, совмещать отопление с вентиляцией и т.д. Однако относительно большое снижение температуры по длине воздухопроводов и низкая теплоаккумулирующая способность воздуха ограничивают его применение как теплоносителя.

Использование воды как теплоносителя, напротив, позволяет не только уменьшить объем теплоносителя и увеличить дальность транспорта тепла, но и применять существующие водяные отопительные устройства. Поэтому водяное отопление наиболее приемлемо.

## 1. Общие условия применения

Нагрузка подстанционных трансформаторов подвержена сезонным и суточным изменениям, поэтому, согласно, наиболее целесообразно использование теплоты нагрева силовых трансформаторов на подстанциях напряжением 220 кВ и выше.

Обусловлено это следующими причинами: все автотрансформаторы этих классов напряжения оснащены системой охлаждения типа ДЦ, наиболее удобной для отбора тепла от трансформаторов; в холодное время года

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

необходимо обогревать служебные помещения ПС; часть тепловых потерь трансформаторов на таких ПС, которая может быть утилизирована, соизмерима с имеющимися потребностями в тепле; такие ПС, как правило, значительно удалены от централизованных источников тепловой энергии.

2. Принципиальные схемы присоединения устройств отбора тепла к системе водяного отопления

При использовании потерь тепла трансформаторов в системе водяного отопления электрической ПС возможны следующие варианты технических решений: утилизация потерь при помощи теплообменника, посредством парокompрессионного теплового насоса или их комбинации с применением в качестве пикового или резервного источника «традиционных» для ПС источников тепла – электродкотлов, бойлеров или ТЭНов (для двухкомпонентных систем отопления).

В случае подачи масла (или воды) в испаритель теплового насоса его входная температура, как правило, должна составлять около 20–30 °С, в противном случае необходимы или возврат части холодного теплоносителя с последующей его подачей на вход испарителя, или применение тепловых насосов с холодильными агентами, допускающими более высокие температуры испарения, а также работающих по принципу сорбции.

Для новых или реконструируемых подстанций в качестве альтернативы можно предложить низкопотенциальную систему отопления на основе одного из рассмотренных ниже вариантов технических решений. Кроме того, возможны технические решения с применением двухкомпонентных систем комбинированного отопления (систем прерывистого отопления).

3. Влияние трансформаторов на окружающую среду

Трансформаторы являются источниками физических, химических загрязнений (тепловых, электромагнитных и т.д.) для окружающей среды. Электрическое поле, создаваемое трансформатором, оказывает неблагоприятное влияние на живые организмы. На изолированном от земли проводящем объемном теле наводится потенциал, зависящий от соотношения емкости тела на землю и на провода высоковольтных линий. Чем меньше емкость на землю (чем тоньше, например, подошва обуви), тем больше наведенный потенциал, который может составлять несколько киловольт и даже достигать 10 кВ. При приближении тела к заземленному пролету происходит искровой разряд, сопровождающийся звуковым эффектом (потрескивание) с протеканием импульса тока через тело. В этих условиях максимум импульса тока через человека может достигать 100-200 мА. Такие импульсы тока безопасны для здоровья человека, но могут привести к вторичным травмам вследствие испуга и непроизвольного движения.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОАО «РАЙАГРОТЕХНИКА»

Половина М. С., Коваленко А. А. (ЭНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Площадь сельскохозяйственных угодий ОАО «Райагротехника» в 2010 году составляла 2085 га, в том числе 1348 га пашни. Биоклиматические условия роста растений, а также биологические возможности возделывания культур при оптимальных метеорологических показателях, позволяют получать в хозяйстве высокие урожаи сельскохозяйственных культур. К числу отрицательных основных явлений, которые ухудшают условия произрастания и могут понизить их урожайность, следует отнести неравномерное выпадение осадков и залегание снежного покрова, особенно на повышенных и открытых местах.

Анализ изменений в структуре использования с/х угодий ОАО «Райагротехника» за 2009-2010 гг. показал, что их площади увеличились в некоторых направлениях, в том числе: под зерновые и зернобобовые на 26,9 %, под плодовые на 43,7 %. Но осталась неизменной площадь под фермерское хозяйство (так как свиноферма уже не функционирует).

При этом в финансовой деятельности ОАО «Райагротехника» затраты на производство продукции в 2010 г. по сравнению с 2009 г. возросли на 59,8 % и составили 9717 тыс. грн., а полная с/с реализованной продукции возросла на 76 % и составила 3869,3 тыс. грн., что сказалось на прибыли от реализации, возросшей на 63 % (1652,4 тыс. грн.).

Абсолютное повышение затрат произошло по трем элементам: материальные затраты, затраты на оплату труда и амортизационные отчисления. Наибольший темп роста отмечен по материальным затратам. Их удельный вес возрос с 14,1 п.п. в 2009 г. до 14,2 п.п. в 2011 г. Преобладание материальных затрат над иными затратами указывает на материальный характер производства.

В структуре выручки от реализации сельскохозяйственной продукции доля зерновых составляла в 2009 году 38,53 % (592,5 тыс. грн), а в 2010 году 55,42 % (3059,9 тыс. грн). Поэтому делаем вывод, что объём производства пшеницы и ячменя постоянно растет (так, например, в 2010 г. производство увеличилось на 50 % сравнительно с 2009 г.).

Анализ ТЭБ показал на нулевое расхождение прихода и расхода ТЭР (2,002 тут = 2,002 тут), что наталкивает на вывод о том, что деятельность предприятия рентабельна, ежегодно предприятие получает доход, размер которого полностью покрывает производственные затраты, а также приносит прибыль. ОАО «Райагротехника» не имеет проблем с реализацией продукции. Экологическая ситуация в целом положительна.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент. каф. ПТ Сафонова Е. К.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВИДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ТЭС

Дужих С.А. (ТЭС-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования определяет техническую возможность и экономическую эффективность реализации большинства технологических процессов. Проблема энергосбережения является актуальной, так как значительная часть энергии расходуется на производство, передачу и сохранение тепла.

Материалы, применяемые для теплоизоляции характеризуются прежде всего свойствами теплопроводности, которая определяет требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а следовательно, и нагрузки на изолируемый объект. Чем меньше теплопроводность материала, тем лучше он сохраняет тепло. Поэтому теплопроводность является паспортной характеристикой.

В настоящее время наиболее широкое использование на тепловых электрических станциях в качестве теплоизоляционного материала получила минеральная вата. Она применяется при температурах изолируемых поверхностей до 600°C. Теплопроводность минеральной ваты, Вт/(м·°C), не должна превышать при температуре: 25±5°C — 0,045; 125±5°C — 0,064; 300 ±5°C — 0,105.

Одним из видов изоляции, которое может прийти на смену изделиям из минеральной ваты являются известково-кремнеземистые (ИКИ). Они также предназначены для условий эксплуатации до 600°C. Теплопроводность ИКИ зависит от марки изделия и приведена в таблице.

Таблица - Показатели физико-механических свойств известково-кремнеземистых изделий в зависимости от марки

Средняя плотность в сухом состоянии (марка), кг/м <sup>3</sup> , не более	200	225
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре, К		
298 ±5	0,058	0,065
398 ±5	0,070	0,077
573 ± 5	0,104	0,112

9 октября 2012 на котле № 12 Старобешевской ТЭС были проведены измерения температуры наружной поверхности теплоизоляционных покрытий и стенок трех водоопускных труб Ø159 задней полутопки шахты № 2 на отметках 12- 14 м. Измерения проводились инфракрасным пирометром ЭПiR-632 с диапазоном измерений -20 ... 500°C, разрешением 0,2°C, погрешностью ±2%.



Усредненные результаты измерений приведены на рисунке. Температура стенки трубы (со вскрытым участком теплоизоляции) составляла 317°С.

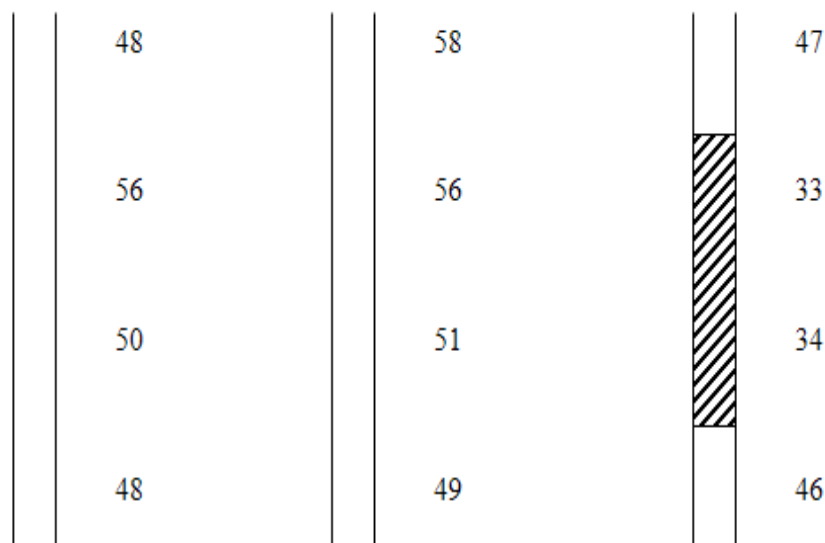


Рисунок – Результаты измерения температур на поверхности изоляции

Штриховкой на рисунке выделен участок трубы, на котором обычная теплоизоляция (минеральная вата – сетка «Рабица» - штукатурный слой) заменена на известково-кремнеземистые полуцилиндры. Как видно из опыта, тепловые потери при использовании новой теплоизоляции значительно уменьшились. При монтаже и в процессе эксплуатации теплоизоляционные конструкции подвергаются температурным, влажностным, механическим, в том числе вибрационным, воздействиям.

Долговечность теплоизоляционных конструкций зависит от их конструктивных особенностей и условий эксплуатации, включающих месторасположение изолируемого объекта, режим работы оборудования, степень агрессивности окружающей среды, интенсивность механических воздействий. С этой точки зрения более выгодны ИКИ, так как они имеют специальное атмосферостойкое теплоизоляционное покрытие, которое выдерживает многократное термоциклирование (-30...+40°С) полностью сохраняя первоначальные свойства.

Что касается пожарной безопасности, то при выборе материалов учитываются не только показатели горючести теплоизоляционного слоя и защитного покрытия, но и поведение теплоизоляционной конструкции в условиях пожара в целом. В этом аспекте как минеральная вата, так и известково-кремнеземистые изделия являются негорючими.

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ПТ Маркин А.Д.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Какуш О.С. (ТП-12М)<sup>24</sup>

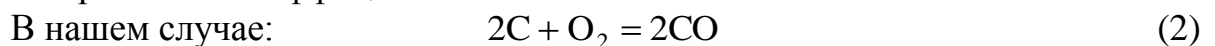
Донецкий национальный технический университет

В Украине в настоящее время уголь, несмотря на его высокую себестоимость, необходимо рассматривать как стратегический ресурс, использование которого значительно снижает энергетическую зависимость экономики страны от других государств. Для Украины использование угля является наиболее оптимальным путем для удовлетворения потребности в энергоносителях для промышленности с учетом запасов этого полезного ископаемого и значительных изменений в цене на природный газ на мировом рынке. Поэтому рассмотрим динамику газификации подземного газогенератора, как вид дополнительного источника энергии в Украине.

Постановка задачи. Будем считать, что угольный пласт находится в цельном состоянии и имеет начальную постоянную температуру  $T_0$ . При розжиге угольного пласта на его поверхности устанавливается некоторая температура  $T_p$ . В результате горения образуется выгоревший слой толщиной  $\xi=f(\tau)$ . Левая подвижная граница его всегда имеет температуру горения  $T_r$ . На этой границе происходит переход из одного агрегатного состояния в другое, при котором выделяется теплота  $Q_\Phi$  (Дж/кг). Таким образом, граница  $x=\xi$  имеет постоянную температуру горения, а граница  $x=L$  некоторую постоянную температуру. Предполагается, что перенос тепла в пласте происходит только вследствие теплопроводности, передача тепла через почву и кровлю пласта отсутствует, угольный массив полностью состоит из углерода, фронт горения является плоским и одномерным, предполагается, что реакция горения является необратимой и протекает в одну стадию:



где  $\Gamma$  – горючее;  $O$  – окислитель; ПГ – продукты горения;  $\alpha, \beta, \gamma$  – стехиометрические коэффициенты.



Считаем, что скорости расходования горючего и окислителя равны, поэтому мы имели право выразить  $\frac{dc}{d\tau}$  через концентрацию  $O_2$ .

$$\frac{dc}{d\tau} = -kO^{1/2} \cdot F_{y0} \cdot \frac{dO_2}{d\tau} = -kO^{1/2} \cdot F_{y0} \quad (3)$$

Для гетерогенной реакции горения углерода, через плотность газа определим долю генераторного газа (CO) в смеси:

$$\rho_z = \rho_{O_2} + \rho_{CO}, \quad \frac{\rho_z}{\rho_z} = \frac{\rho_{O_2}}{\rho_z} + \frac{\rho_{CO}}{\rho_z} \longrightarrow 1 = c_{O_2} + c_{CO}, \quad \text{тогда} \quad c_{CO} = 1 - c_{O_2} \quad (4)$$

Для того, чтобы учесть изменение  $\rho_z$  от температуры воспользуемся

<sup>24</sup> Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Илющенко В.И.

уравнением состояния идеального газа:

$$\rho_2 = P / RT_2 \quad (5)$$

Закон сохранения массы горючего:

$$(1-\Theta) \frac{\partial \rho_c}{\partial \tau} + (1-\Theta) \frac{\partial \rho_c \cdot U}{\partial x} = -G_c, \quad (6)$$

Где расход горючего в данной реакции:

$$G_c = \kappa_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right) \cdot \rho_2^{1/2} \cdot c_{o_2}^{1/2} \cdot (1-\eta) \cdot F \quad (7)$$

Удельная поверхность частиц углерода:

$$F = 6(1-\Theta)/d \quad (8)$$

Доля топлива в исходной смеси:

$$a = \frac{\rho_c^0}{\rho_c^0 + \rho_{ин}^0} \quad (9)$$

Запишем уравнение диффузии для окислителя:

$$\Theta \frac{\partial \rho_2 \cdot c_{o_2}}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_2 \cdot W \cdot c_{o_2}}{\partial x} = D \cdot \Theta \frac{\partial^2 \rho_2 \cdot c_{o_2}}{\partial x^2} + G_{o_2} \quad (10)$$

Массоприход компонента газа:

$$G_{o_2} = \kappa_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right) \cdot \rho_2^{1/2} \cdot c_{o_2}^{1/2} \cdot (1-\eta) \cdot F \quad (11)$$

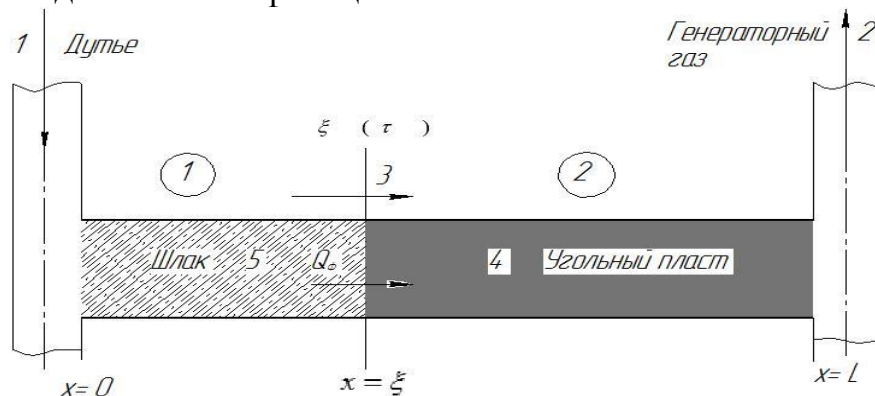
Закон сохранения энергии газовой смеси:

$$\rho_2 \cdot C_2 \cdot \Theta \frac{\partial T_2}{\partial \tau} + \Theta \cdot \rho_2 \cdot C_2 \cdot W \frac{\partial T_2}{\partial x} = \Theta \cdot \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} - \alpha_V \cdot F(T_2 - T_{nl}) + \Theta \cdot G_{o_2} \cdot Q \quad (12)$$

Закон сохранения энергии для углеродного массива:

$$(1-\Theta)(\rho_c C_c + \rho_{ин} C_{ин}) \frac{\partial T_{nl}}{\partial \tau} + (1-\Theta)(\rho_c C_c + \rho_{ин} C_{ин}) U \frac{\partial T_{nl}}{\partial x} = \lambda_{nl} \frac{\partial^2 T_{nl}}{\partial x^2} - \alpha F(T_{nl} - T_2) \quad (13)$$

Схемы подземной газификации пласта:



1 – окислитель; 2 – продукты горения; 3 – газовая смесь; 4 – горючее; 5 – минеральный остаток.

Рисунок – Область решения.

Полученные уравнения позволяют анализировать распределение температуры по угольному пласту, фронт продвижения границы, а также определять выход генераторного газа в зависимости от расхода дутья окислителя.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ШАХТНЫХ СТВОЛОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ТЕПЛА

Чаленко Д.С, Найденко О.А. (ст. гр. ЭНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Известно, что в зимнее время температура окружающего воздуха опускается значительно ниже 0°С. Холодный вентиляционный воздух, попадая в ствол шахты, вызывает обледенение ствола. Отопление ствола шахты им. В.И. Ленина производится путем нагрева воздуха водовоздушными калориферами. Горячая вода из котельной поступает на гребенку, где распределяется на калориферы. Для снижения нерациональных потерь тепла необходимо выбрать такую конструкцию калориферов, которая бы обеспечивала максимальную эффективность поступления воздуха в ствол. В ходе анализа конструкций калориферов была выбрана и рассчитана прямоточно-перекрестная схема движения теплоносителя и воздуха в калориферах первого подогрева с установкой датчика защиты от замерзания в трубопроводе, соединяющем обе секции. Расчет котлоагрегата ДКВР 10/13 работающего на твердом топливе в системе котел-бойлер сводился к определению необходимого для отопления шахтного ствола тепла. Результаты представим в таблице.

Таблица – Расчет расхода топлива на отопление шахтного ствола

Наименование	Формула	Значение
Количество воздуха, подогреваемого в калорифере, $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$g_1 = v\gamma \frac{(t_{c.m} - t_s^i)}{(t_s^{\text{н}} - t_s^i)}$	27522
Теплота, необходимая для обогрева ствола, $\frac{\text{ГДж}}{\text{ч}}$	$Q = g_1 c_p (t_s^{\text{н}} - t_s^i)$	2,767
Количество пара, необходимое для обогрева ствола, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$	$D = \frac{Q}{(i - q)\eta_k}$	7,29
Количество топлива, необходимого для отопления ствола, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$	$B = \frac{D(i - q)}{\eta_{ка} Q_H^P}$	1,081

Внедрение предлагаемой схемы на стволы шахты обеспечит минимальные потери тепла и может гарантировать номинальный температурный режим за счет наличия двух камер для подогрева воздуха и датчика температуры теплоносителя, что позволяет максимально использовать потенциал теплоносителя.

---

\*Руководитель – ст. пр. кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОПЛИВА НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Соловьева И.Г.(ТП-12М)<sup>25</sup>

Донецкий национальный технический университет

Для металлургии Украины важной задачей является сокращение потребления природного газа, прежде всего, за счет рационального использования собственных вторичных топливных энергоресурсов, в частности, доменного газа. В топливном балансе металлургических предприятий доля доменного газа по теплоте составляет 30-45%. Неэффективное использование доменного газа связано с его низкой теплотой сгорания и высокой влажностью. Теплота сгорания доменного газа, обусловленная наличием горючих компонентов (углекислого газа CO, водорода H и углеводородов C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) составляет 3150-3800 кДж/м<sup>3</sup>, а природного газа 33000-40000 кДж/м<sup>3</sup>. Недостатком доменного газа является высокое содержание балласта в виде азота N<sub>2</sub>=46-69% и диоксида углерода CO<sub>2</sub>=7,5-20%. Высокая влажность доменного газа (35-200 г/м<sup>3</sup>) усложняет условия его воспламенения и способствует образованию химического недожога. Вследствие малого количества углеводородов факел доменного газа практически несветящийся. Доля доменного газа в природно-доменной смеси определяется по формуле:

$$X = \frac{Q_{H\text{ пр}}^P - Q_{H\text{ см}}^P}{Q_{H\text{ пр}}^P - Q_{H\text{ д}}^P} ; \quad (1)$$

где  $Q_{H\text{ пр}}^P$  - низшая теплота сгорания природного газа, МДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{H\text{ см}}^P$  - низшая теплота сгорания природно-доменной смеси газов, МДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{H\text{ д}}^P$  - низшая теплота сгорания доменного газа, МДж/м<sup>3</sup>. Расчеты приведены в таблице.

Таблица - Состав природно-доменной смеси газов

$Q_{H\text{ см}}^P$	8	10	12	14	16	18	20
Доля доменного газа	0,84384	0,77976	0,71569	0,65161	0,58753	0,52346	0,45938
Доля природного газа	0,15616	0,22024	0,28431	0,34839	0,41247	0,47654	0,54062

Степень черноты излучения продуктов сгорания определяется суммированием степеней черноты RO<sub>2</sub>=CO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, т.е.

$$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_{RO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O} ; \quad (2)$$

где  $\beta$  - поправочный коэффициент.

<sup>25</sup> Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ПТ Лебедев А.Н.

Представим степени черноты  $RO_2$  и  $H_2O$  и коэффициент  $\beta$  в аналитической форме:

$$\varepsilon_{RO_2} = \exp\left\{-\left[1,4918 + 0,3980C_{RO_2}^{-0,2609} + (0,053 - 0,1239C_{RO_2}^{0,1718})(t/100) + (0,003504 + 0,0009446C_{RO_2}^{0,5470})(t/100)^2\right]\right\}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{H_2O} = \exp\left[0,5708 - 1,2016C_{H_2O}^{-0,2146} - (0,038 + 0,05133C_{H_2O}^{-0,2105})(t/100)\right]; \quad (4)$$

$$\beta = 1 + (-5,0 + 5,3114C_{H_2O}^{-0,01191})^{0,74+0,3705C_{H_2O}^{-0,1561}} P_{H_2O}; \quad (5)$$

$$C = p l_{\text{эф}}; \quad (6)$$

где  $p$ - парциальное давление  $RO_2$  или  $H_2O$ , кгс/см<sup>2</sup>;  $l_{\text{эф}}$ -эффективная длина лучей, м;  $t$ -температура газа, °С.

На рисунке изображена расчетная кривая  $\varepsilon=\varepsilon(Q)$ , построенная по выражению (2) для природно-доменной смеси газов при температуре горения 1100°С

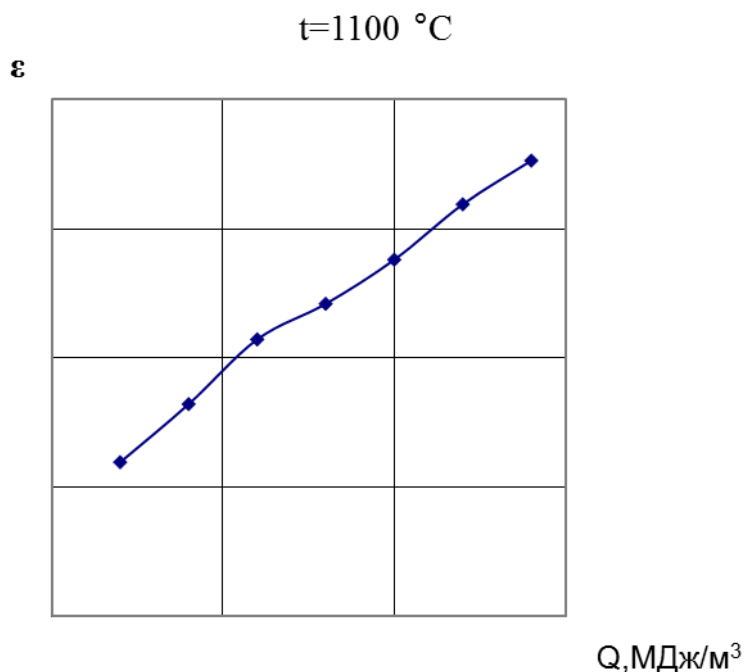


Рисунок -Изменение степени черноты природно-доменной смеси газов с увеличением низшей теплоты сгорания смеси

В результате выполненных расчетов, можно сделать вывод, что с увеличением доли природного газа увеличивается количество углеводородов в смеси, а следовательно факел горит ярче, в то же время доля доменного газа уменьшается и уменьшается балласт негорючих компонентов в смеси. Все это плодотворно влияет на увеличение светимости факела.

# РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ЗДАНИЯ АМБУЛАТОРИИ №1 ДОНЕЦКОЙ ГОРОДСКОЙ БОЛЬНИЦЫ №7

Свистунова Е.А., Бардова О.С. (ЭНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Одноэтажное здание амбулатории строительным объемом 1293,75 м<sup>3</sup>, состоит из 14 помещений, из них торцевых 11, внутренних 3, общей полезной площадью 754,68 м<sup>2</sup>, высота здания Н=6 м. Имеется подвальное и чердачное помещения. В настоящее время оконные проемы здания закрыты отдельными деревянными переплетами с двойным остеклением (ОР,  $R_{uOP} = 0,38 \frac{M^2 \cdot K}{Bm}$ ). Площадь остекления 28,8 м<sup>2</sup>. Для улучшения теплового комфорта здания проведем замену проемов на конструкцию типа спаренный переплет с тройным остеклением (ОРС,  $R_{uOPC} = 0,44 \frac{M^2 \cdot K}{Bm}$ ).

Таблица 1 – Расчет затрат теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха ОР и ОРС конструкции

Параметр	Расчет	Результат	
		ОР	ОРС
$G_{utx}$ - кол. воздуха, $\frac{кг}{м^2 \cdot ч}$ , пост. во внутрь через неплотности в заполнениях при $t_x$ . $v_x$ – скорость ветра 3,8, м/с. $\rho_{nx}, \rho_{в}$ - плотность нар. и внутр/ воздуха при $t_x$ , кг/м <sup>3</sup>	$G_{utx} = \frac{[0,55N \cdot (\rho_{nx} - \rho_{в}) + 0,03 \cdot \rho_{nx} \cdot v_x^2]}{R_u}$ $\rho_{n-6,6} = \rho_{n-6,2} = 1,32 \text{ кг/м}^3$	$G_{u-6,6} = 2,57$ $G_{u-4,2} = 2,51$ $G_{u-1} = 2,44$ $G_{u0,9} = 2,37$ $G_{u7,9} = 2,09$	$G_{u-6,6} = 2,22$ $G_{u-4,2} = 2,17$ $G_{u-1} = 2,11$ $G_{u0,9} = 2,05$ $G_{u7,9} = 1,8$
$qt_x$ - удельный расход теплоты при $t_x$ , $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ $\beta_0 = 0,8$ - учет влияния встречного воздушного поток	$qt_x = 1 \cdot \beta_0 \cdot G_{utx}$ $q_{-6,6} = 2,57 \cdot 0,8 = 2,06$ $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$	$q_{-6,6} = 2,06$ $q_{-4,2} = 2,01$ $q_{-1} = 1,95$ $q_{0,9} = 1,9$ $q_{7,9} = 1,67$	$q_{-6,6} = 1,78$ $q_{-4,2} = 1,73$ $q_{-1} = 1,69$ $q_{0,9} = 1,64$ $q_{7,9} = 1,44$
$Q_{инф.}^{год.}$ - годовой расход теплоты, $\frac{кВт \cdot ч}{м^2 \cdot год}$	$Q_{инф.}^{год.} = \sum_{t_x=7,9}^{t_x=t_n} qt_x \cdot (t_{в} - t_x) \cdot n_{t_x} - Q_{инф.}^{год.норм.}$	$Q_{инф.}^{год.} = 185,2$	$Q_{инф.}^{год.} = 159,9$

Анализ типов конструкций показал, что оптимальной является ОРС конструкция. Сравнивая годовые потери тепла можно сделать вывод, что конструкция ОРС позволит уменьшить потери тепла с инфильтрацией на 727,41  $\frac{кВт \cdot ч}{год}$  или на 13,64 %, что в денежном выражении составляет 570,61 грн.

\*Руководитель – к.т.н., доц. кафедры ПТ Попов А.Л.

# АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЭР ПРЕДПРИЯТИЕМ ЛОКОМОТИВНОЕ ДЕПО ГОРОДА КРАСНЫЙ ЛИМАН ДОНЕЦКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ

Бардова О.С., Свистунова Е.А. (ЭНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Основным видом деятельности локомотивного депо города Красный Лиман является текущий ремонт и техническое обслуживание электровозов.

Анализ основных показателей работы предприятия показал, что доля затрат на ТЭР в эксплуатационных расходах 45,7%. Показатели за период 2011-2012 года по ряду наименований снижены: производство снижено на 25,5% относительно, что привело к снижению эксплуатационных затрат по потреблению на 25,58% и выработку тепловой энергии, в том числе на общее потребление в 2011 году 3,55% и составило в 2012 году 2,61%.

Структура потребления ТЭР в натуральном выражении за 2011 год представлена в таблице.

Таблица – Структура потребления ТЭР в натуральном выражении

Наименование ТЭР	Значение
Дизтопливо (тяга, тракторы, краны, цеха), т.	3411,4
Топочный мазут, т.	1007,8
Уголь, т	474,61
Электроэнергия, тыс.кВтч	113850,2
Тепловая энергия, Гкал	10250,5
Вода, тыс.м <sup>3</sup>	76,8

Динамика измерения эксплуатационных затрат по депо за 2011 год представлена на рисунке

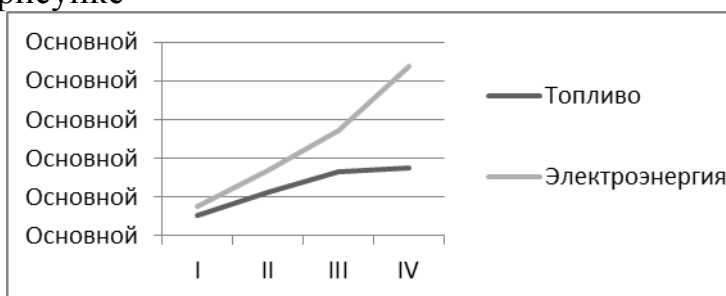


Рисунок – Динамика измерения эксплуатационных затрат

Анализ потребления ТЭР предприятия показал, что основными в эксплуатации предприятия являются затраты на электроэнергию—34,2%, заработную плату—24,3%, топливо—13,7%, что свидетельствует о необходимости разработать энергосберегающие мероприятия по снижению нерационального использования первичных и вторичных энергоносителей, а также графики работ обслуживающего персонала с целью выбора оптимального количества рабочих мест.

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Попов А.Л.



## ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МИКРОТУРБИН

Найденко О.А, Чаленко Д.С. (ст. зр. ЕНМ-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

В условиях нестабильных поставок энергоносителей на предприятия возникает необходимость разработки мероприятий по обеспечению надежности энергоснабжения. Приоритетным направлением является использование возобновляемых источников энергии: гидроустановок (микро-, миниГЭС), ветряных, термальных или солнечных установок. Данное направление оказывает положительное влияние на окружающую среду.

В непосредственной близости от предприятия имеется небольшая речка, которая может быть использована в качестве «зеленого» источника энергии.

В качестве пилотного проекта предлагается использование микро-ГЭС в качестве первой очереди комплексной модернизации котельной автономного теплоснабжения зданий управления и автотранспортного цеха, расположенная на территории АТЦ.

В настоящее время существует большой выбор микро-ГЭС. К установке предлагается: Микро-ГЭС 15ПР мощностью – до 15 кВт. Для данной установки требуется перепад воды – 2-3,5 м и расход воды – 100-200 л/с. Проведенные исследования параметров речки показали, что она вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям. Это позволяет рассмотреть возможность применения гидротурбины.

Для установки предлагается два варианта работы:

- «зимний»: электрическая энергия используется для работы вспомогательного оборудования котельной;

- «летний»: электрическая энергия будет использоваться для нагрева горячей воды в емкостной нагревателе.

Предлагается работа в «летнем» режиме (нагрев ГВС), а в отопительный период установка будет использоваться в качестве резервного источника электрической энергии для индивидуальной котельной.

При приемлемой стоимости установки (45-50 тыс. грн.) применение микро-ГЭС позволит сократить эквивалентные выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу на 60-65 т/год. и годовой экономический эффект на уровне 65 тыс. грн./год.

---

\*Руководитель – ст. преп. кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

Сошенко В.С. (ТП-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

В коммунальной сфере, где основные траты - траты на отопление зданий, актуальным вопросом является их теплоизоляция. Одним из решений данного вопроса является установка на здание навесного вентилируемого фасада.

Навесные фасады применяются в нашей стране примерно полтора десятилетия. Эта технология применима как для новостроек, так и для старых зданий. В первом случае эта технология позволяет сэкономить на толщине наружных стен при строительстве, и эксплуатационных расходах. Во втором случае – продлить срок службы здания, обновить его внешний вид, уменьшить эксплуатационные расходы. Благодаря простоте и эффективности навесной вентилируемый фасад является выгодным экономическим решением.

Навесной вентилируемый фасад представляет собой конструкцию, состоящую из облицовки, несущих элементов, утепляющих материалов (минерального утеплителя), прикрытых паропроницаемой пленкой, и вентилируемого воздушного зазора между облицовкой и утеплителем.

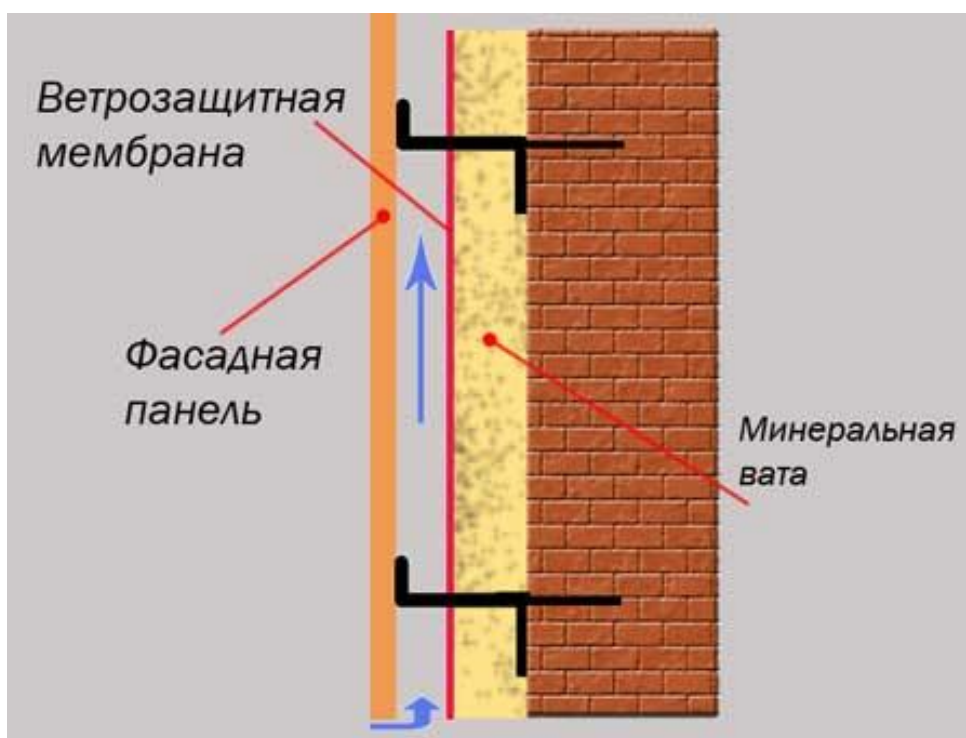


Рисунок – Схематическое изображение НВФ

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д. И.

Воздушный промежуток – является наиболее важным элементом вентилируемых фасадов. Благодаря разнице температур внутри здания и снаружи и перепаду высот, создается перепад давления, который обуславливает постоянный ток воздуха между слоями фасадной системы. Этот воздушный поток, действуя по принципу «вытяжной трубы», удаляет излишнюю атмосферную и внутреннюю влагу, и предохраняет стены здания от сырости. Этот же поток служит «терморегулятором»: зимой не позволяет зданию переохлаждаться (температура потока на несколько градусов выше, чем температура на улице), летом вентиляция предотвращает перегрев стен. Согласно данным ЦНИИП, здания, на которых установлены вентилируемые фасадные системы, при отключении отопления остывают в 5-6 раз медленнее здания с традиционной облицовкой.

Диффузия водяного пара сквозь стены здания происходит в направлении «точки росы» от высокой температуры к низкой. То есть, если температура внутри здания ниже, нежели снаружи, то пар стремится внутрь, если наоборот – наружу. Наибольший вред стенам эта диффузия наносит в зимний период. Зимой температура в помещениях составляет не менее  $+20^{\circ}\text{C}$ , а снаружи иногда опускается ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Даже в том случае, если внутри помещений работают сплит-системы, удаляющие лишнюю влагу из воздуха, разница температур заставляет остаточные водяные пары просачиваться наружу. Однако там они быстро остывают, выпадают в виде росы и замерзают. Если замерзание происходит под утеплителем или в его толще, то в первом случае происходит ускоренное разрушение стен, а во втором - самого утеплителя. Тяга воздуха под облицовкой навесного фасада уводит большую часть пара от внешней поверхности капитальных стен, что продлевает их срок службы. Многократные циклы замерзания-оттаивания становятся причиной появления в бетоне и кирпиче микротрещин, которые вызывают постепенное разрушение материала. Навесные вентилируемые фасады, помогают поддерживать на поверхности стены стабильный уровень влажности и температуру, защищая ее от воздействия атмосферных явлений и ультрафиолета, тем самым продлевая срок службы всего здания.

К недостаткам стоит отнести: сравнительно небольшой срок службы в 40-50 лет при их стоимости, в местах завихрений ветровых потоков они могут издавать гул или свист. Также их установка требует специалистов высокой квалификации.

Следовательно, преимуществ у вентилируемых фасадов гораздо больше, чем недостатков, поэтому их использование является целесообразным при строительстве или реконструкции зданий.

## **ВЛИЯНИЕ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕЕ ОХРАНЕ**

Силка Т.С. (ТП-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Любая деятельность человека, требующая производства энергии и превращения ее в формы, пригодные для конечного использования, оказывает сопутствующие воздействия, которые при достижении определенного уровня наносят ущерб окружающей среде. Воздействия такого рода возникают как на тепловых электростанциях, преобразующих энергию различных видов органического топлива в электрическую, так и на гидравлических электростанциях, у которых в отличие от тепловых нет никаких вредных выбросов в атмосферу.

Степень загрязнения тепловыми электростанциями окружающей среды зависит от типа и мощности ТЭС. Выбросы диоксида серы, оксида азота, оксида углерода, а также золы имеют место на всех ТЭС, разница заключается только в объеме этих выбросов. В окружающую среду с подогретой водой и горячими газами рассеивается более 60 % исходной энергии топлива. Это является характерным показателем используемых в настоящее время термодинамических циклов. Указанные потери теплоты не могут быть радикально снижены при дальнейшем совершенствовании существующей технологии паротурбинных электростанций, если не принимать во внимание комбинированное производство теплоты и электроэнергии, доля которого в общем производстве энергии ограничена. Необходимо учитывать, что выработанная энергия в процессе ее передачи и потребления также в значительной мере превращается в теплоту и рассеивается в окружающую среду — природные водоемы и атмосферу.

Если раньше гидроэлектростанции считались чистыми и безвредными предприятиями по выработке электроэнергии, то в последнее время их подвергают критике из-за затопления обширных территорий.

Замедление течения рек из-за сооружения плотин ГЭС ведет к загрязнению воды, появлению вредных сине-зеленых водорослей, которые способствуют размножению бактерий, несущих эпидемии. Искусственно созданные водохранилища преимущественно низконапорных электростанций занимают большие площади, что вызывает размыв и переформирование берегов, нарушение режима рыбного хозяйства, изменения микроклимата, приводящие иногда к природному дискомфорту (туманы, повышенная влажность и т.д.).

Как показала авария на Чернобыльской АЭС, атомные электростанции могут оказать крайне вредное влияние на биосферу.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ПТ Маркин А. Д.

За рубежом нередко весьма пессимистические высказывания в отношении безопасности работы АЭС и хранения ядерных отходов. Ряд ученых считают, что развитие ядерной энергетики создает потенциальную опасность для жизни всего человечества.

Передача электроэнергии на расстояние связана с сооружением ЛЭП и отводом под них значительных полос земли. Создаваемые ЛЭП электромагнитные поля вызывают помехи в системах связи, неблагоприятно влияют на человека и все живые организмы. В настоящее время это влияние еще плохо изучено; проблема приобретет особую остроту при переходе Единой энергетической системы на напряжение 500...750 кВ и использовании сверхвысоких напряжений 1150, 1500 и 3000 кВ.

Ведущиеся в настоящее время работы по компенсации электромагнитных полей от высоковольтных ЛЭП (в частности, путем расщепления фаз и создания в этих фазах сдвига максимумов) позволяют делать обнадеживающие прогнозы.

В настоящее время поставлены задачи по совершенствованию технологических процессов в целях сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду и улучшения очистки отходящих газов от вредных примесей, водоочистного оборудования, а также приборов и автоматических станций контроля за состоянием окружающей среды.

К мероприятиям по борьбе с загрязнением атмосферы электростанциями, транспортом и промышленными предприятиями относятся:

- увеличение высоты труб на электростанциях и металлургических комбинатах для обеспечения норм выбросов сернистых отходов и рассеяния оксидов азота;

- удаление оксидов серы из дымовых газов; улучшение сжигания топлива; удаление серы из топлива; переход на малосернистое топливо;

- переход в городах на централизованное теплоснабжение, чтобы избежать загрязнения воздуха от мелких котельных;

- переход в больших городах на электрификацию процессов в коммунальном хозяйстве и в быту, включая отопление;

- внедрение безотходных технологий в промышленности и на транспорте;
- строгое соблюдение санитарных норм для всех источников, загрязняющих атмосферу.

Основными мероприятиями по борьбе с загрязнением воды являются:

- внедрение оборотных систем водоснабжения; создание надежных очистных сооружений; внедрение новых безотходных технологий; разработка и применение новых санитарных норм. Охрана почвы и ландшафта является важным звеном комплексной проблемы охраны окружающей среды.

Для уменьшения загрязнений окрестностей ТЭС твердыми отходами предпринимают меры к поставке на электростанции топлива с меньшим содержанием породы, а также всемерно увеличивают масштабы использования золы и шлака для строительства.

## ПОВЫШЕНИЕ КПД КОТЕЛЬНОЙ ЗА СЧЕТ ПониЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Мезенцев Е.А. (ТЭС – 09)<sup>26</sup>

Донецкий национальный технический университет

В наше время актуальной является проблема низкого КПД эксплуатируемых котельных. Хотя и существует множество котельных, где этот вопрос не стоит так остро, так как они работают на твердом топливе, но в городе Донецке функционирует более 200 котельных, которые работают на газообразном топливе и они столкнулись с данной проблемой. Существует множество различных способов повышения КПД. В данной работе предлагается применить такой, как понижение температуры уходящих газов, так как есть котлы, у которых температура уходящих газов высокая, что наиболее негативно влияет на процесс эксплуатации котельной. Поэтому этот способ считается наиболее экономичным и эффективным в аспекте решения рассматриваемой проблемы.

В представленной работе, в свою очередь, предлагается применять способ использования подогревателей контактного или поверхностного типов для уменьшения потерь тепла с уходящими газами. Использование подогревателей поверхностного типа позволяет значительно расширить возможность применения нагретой уходящими газами воды в схеме котельной. При использовании теплоты уходящих газов снижается расход топлива на котлы, а значит, увеличивается коэффициент использования топлива котельной установкой. Применение подогревателей сухого теплообмена с пиковым водогрейными котлами позволяет повысить коэффициент использования топлива на 7%, а конденсационных теплоутилизаторов – на 17%. Имеется тепловой расчет для котла ТВГ - 8М. В расчете указан расход топлива без применения данного способа:  $V=1106 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а после применения инновации:  $V=1069 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Проведенный расчет показал, что при установке теплоутилизатора КПД котельной увеличивается на 3%, а также количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ значительно уменьшается.

Таким образом, можно отметить, что описанный в этой работе метод позитивно влияет на работу всей котельной, так как при установке имеет место и экономическая выгода, и уменьшается негативное влияние на окружающую среду. Более того, весомым аргументом в пользу применения теплоутилизатора является тот факт, что срок окупаемости данной инновации не превышает трех лет со дня установки. Но необходимо также обратить внимание на то, что применение может быть осуществлено только в газовых котельных и с учетом температур уходящих газов, так как сильное понижение температуры уходящих газов негативно отображается на дымовой трубе и системах самой котельной.

---

<sup>26</sup> Руководитель – ст. преп. кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОСИФОНА С ИСПАРИТЕЛЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Васильев В.В. (ТТМ – 12)\*

Донецкий национальный технический университет

Целью исследования является влияние испарителя теплового насоса на эффективность термосифона.

Термосифон представляет собой устройство, обладающее очень высокой теплопроводностью. В трубу помещается небольшое количество воды, затем из трубы откачивается воздух и она плотно закрывается. Нижний конец трубы нагревается, что вызывает испарение жидкости и движение пара к холодному концу трубы, где он конденсируется. Конденсат под действием гравитационных сил возвращается к горячему концу. Так как скрытая теплота парообразования велика, то даже при очень малой разности температур между концами термосифона он может передавать значительное количество теплоты. Таким образом, подобная конструкция имеет высокую эффективную теплопроводность.

Термосифон предназначен для применения в области теплоэнергетики, а именно при использовании низкопотенциального тепла, в том числе и тепла грунта. Термосифон с испарителем теплового насоса, включающий термосифон, содержащий рабочее тело, обладающее способностью перехода из жидкого состояния в газообразное и обратно, и имеющий испарительную и конденсаторные части. Конденсаторная часть тепловой трубы ограничивает вместе с внешним корпусом, крышкой и нижней платформой полость испарителя теплового насоса, имеющую патрубки для подвода жидкой фазы рабочего тела теплового насоса и отвода газообразной фазы рабочего тела теплового насоса. Таким образом, конденсаторная часть тепловой трубы образует внутренний корпус испарителя теплового насоса, между внешним и внутренним корпусом испарителя теплового насоса установлен промежуточный корпус, имеющий отверстия в нижней части с возможностью прохода через них жидкой или газообразной фазы рабочего тела теплового насоса, циркулирующего внутри испарителя. Между внутренним корпусом и промежуточным корпусом имеются направленные вертикально трубки-сопла с возможностью поступления в них жидкой фазы рабочего тела теплового насоса под давлением, причем испаритель теплового насоса имеет внутренние поверхности. Кроме того, внешний корпус испарителя теплового насоса, его внутренний корпус и промежуточный корпус имеют конусообразную форму и расположены так, что имеют общую вертикальную ось симметрии, а внутренние поверхности испарителя теплового насоса, в том числе внутреннего корпуса, имеют оребрение. Устройство позволяет существенно уменьшить тепловой

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархомеко Д.И.

напор между грунтом и рабочим телом в испарителе теплового насоса при одновременном уменьшении габаритов устройства, а также использовать энергию сжатой жидкости, поступающую из конденсатора теплового насоса в испаритель.

На рис.1 изображен термосифон с испарителем теплового насоса в разрезе и стрелками показана циркуляция рабочего тела в испарителе. На рис.2 - поперечное сечение термосифона в поперечной плоскости, проходящей на уровне отверстий для перетока циркулирующего рабочего тела из области его движения вниз в область его движения вверх.

Термосифон содержит корпус тепловой трубы (1), вертикально помещаемый в грунт на глубину 1,5-2 м, по всей длине которой рабочее тело имеет возможность испаряться при движении капель жидкости по ее внутренней стенке. Корпус тепловой трубы в ее конденсаторной части окружен промежуточным корпусом (2). Полость испарителя теплового насоса ограничена внешним корпусом (3), снабженным крышкой (6). Конусообразная часть (4) в конденсаторной области тепловой трубы выполняется из теплопроводного материала и ограничивает полость испарителя теплового насоса. Промежуточный корпус (2) в своей нижней части имеет отверстия (5) для прохода циркулирующего в испарителе рабочего тела теплового насоса. Испаритель снабжен патрубком (7) для отвода газообразного рабочего тела в компрессор теплового насоса. Пространство между промежуточным корпусом (2) и внутренним корпусом (1) через вертикальные трубки-сопла (8) сообщается с полостью для жидкой фазы рабочего тела теплового насоса, расположенной под платформой (9). Указанная полость связана по рабочему телу теплового насоса с выходом из конденсатора теплового насоса через патрубок (10).

Приведенная конструкция позволяет максимально передать геотермальное тепло к потребителю, например к теплому насосу. При этом коэффициент преобразования в тепловом насосе состави  $\eta = 4-5$  ед. оптимальным является использование термосифонов с испарителем теплового насоса.

$$\eta = Q \div N$$

где Q – тепловая мощность теплового насоса, кВт;

N – электрическая мощность компрессора теплового насоса, кВт

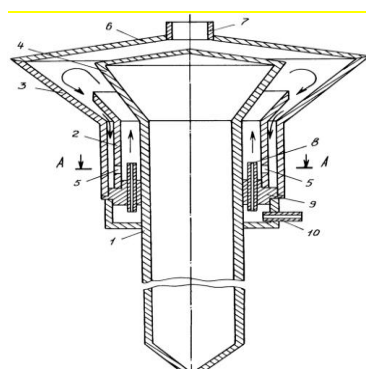


Рис. 1

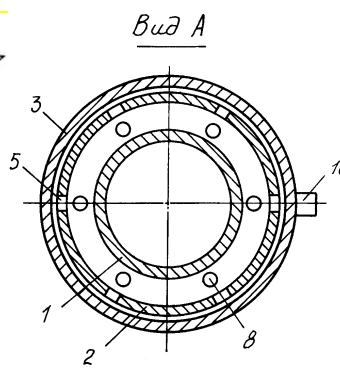


Рис.2



## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СУШКА УВЛАЖНЕННОГО ТОПЛИВА В СИСТЕМАХ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

Тараненко А.Ю. (ТЭС-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Все угли содержат то или иное количество влаги. Различают влагу внешнюю и внутреннюю. Влага в угле является балластом и уменьшает его теплоту сгорания, т.к. требует дополнительных затрат тепла на свое испарение. Повышение содержания внешней влаги приводит к повышенной слипаемости угольной мелочи, слеживаемости и смерзаемости угля.

При сушке угля применяют сушилки, использующие в качестве теплоносителя нагретые дымовые газы, воздух или пар. По конструктивному исполнению различают сушилки барабанные, трубы-сушилки, сушилки кипящего слоя, распылительные и другие.

Преимущество барабанных сушилок – возможность сушки угля при высоких температурах нагретых газов (700-800°C) и значительной крупности исходного материала до 250 мм. К недостаткам относят: значительную массу сушилки, большие габариты, налипание влажного материала на внутреннюю поверхность и насадки барабана, недостаточно равномерная сушка, а также то, что в процессе сушки 15 – 25 % ее полезного объема занято сушимым материалом.

Газовые трубы-сушилки применяют при сушке угля крупностью до 15 мм. Продолжительность сушки в трубах-сушилках очень мала. При необходимости увеличить продолжительность сушки в несколько раз применяют режим сушки в кипящем слое. Преимущества сушки материалов в кипящем слое – высокая интенсивность сушки и возможность регулирования времени пребывания материала в сушилке.

Одним из методов подготовки топлива может быть комбинированная сушка под воздействием микроволновой энергии с обдувом поверхности сушильным агентом. При воздействии МВ(микроволновой)-энергии на уголь улучшается его качество, происходит снижение содержания серы и азота. В процессе МВ-сушки происходит не только удаление влаги, но и частичное дробление топлива.

Интенсифицировать процесс сушки можно воздействуя на топливо механически. Скорость сушки возрастает при вибрации материала.

МВ-обработка позволила снизить содержание серы. Благодаря диэлектрическим свойствам отдельных компонентов, возможно селективное нагревание пирита в угольной матрице. Это селективное нагревание позволяет локально нагреть пирит до 250-300 °С, что дает возможность перехода пирита  $FeS_2$  в пирротит  $FeS$  и удалению элементарной серы в виде паров.

---

\*Руководитель - к.т.н, профессор кафедры ПТ Илющенко В.И.

Отсутствие азота объясняется тем, что минеральные комплексы и органические соединения, входящие в состав углей, разлагаются под воздействием МВ-энергии с образованием оксидов азота, которые взаимодействуют с углеродом органической массы угля по реакции:

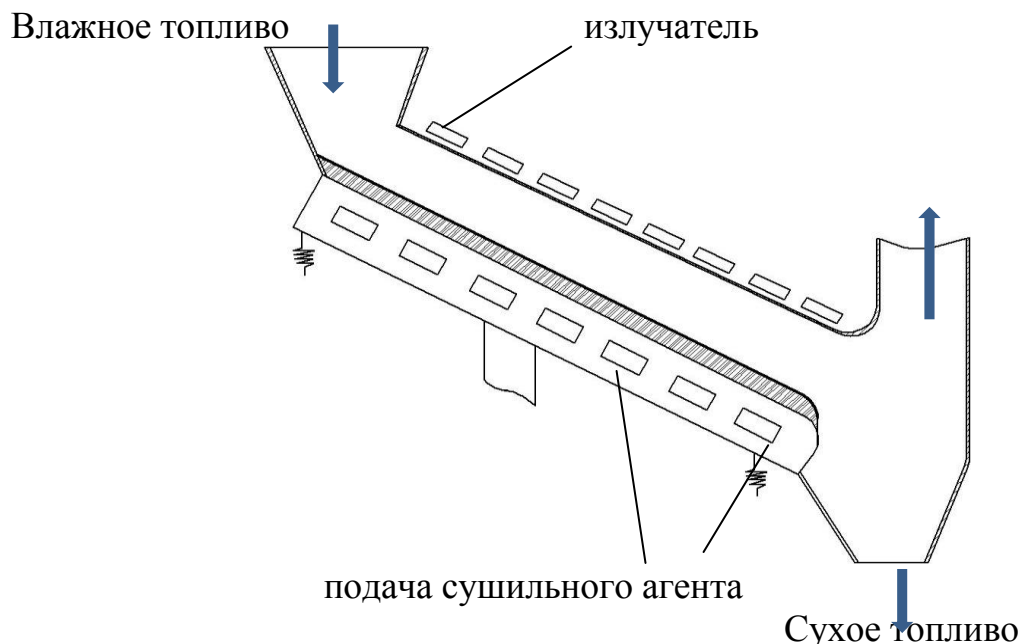
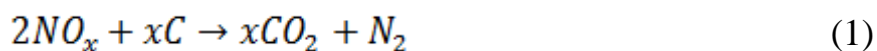


Рисунок – Схемы сушилки с комбинированным источником тепла

Математическая модель сушилки, представленная в виде уравнений теплообмена при сушке:

$$-g_{\Gamma} c_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial H} = \alpha F (T_{\Gamma} - T_{\text{M}}) \quad (2)$$

$$g_{\Gamma} c_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial H} = r \gamma_c \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial H} = \alpha (T_{\Gamma} - T_{\text{M}}) + \varepsilon_{\text{пр}} \sigma_0 (T_{\Gamma}^4 - T_{\text{M}}^4) \quad (4)$$

где  $g_{\Gamma}$  – расход газа через единицу сечения,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ ;

$c_{\Gamma}$  – теплоемкость газа,  $\text{Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$ ;  $T_{\Gamma}, T_{\text{M}}$  – температура газа, поверхности куска;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$ ;  $F$  – поверхность материала в единице объема,  $\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$ ;  $\omega$  – абсолютная влажность материала,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $H$  – высота слоя,  $\text{м}$ ;

$\tau$  – время,  $\text{час}$ ;  $r$  – тепло, расходуемое на испарение 1 кг влаги,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты;

$\sigma$  – постоянная Больцмана,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$ ,  $\gamma_c$  – удельный вес,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПЛОТНЫХ ТОПОК В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ НИЗКОРЕАКЦИОННЫЙ УГОЛЬ

Магера Ю.М. (ТМ-12е)\*

Донецкий национальный технический университет

Основные факторы, влияющие на эффективность работы пылеугольных энергоблоков следующие: доля газомазутной подсветки при номинальной и частичной нагрузке, КПД котлоагрегата, удельные расходы теплоты на турбоагрегат. Необходимость подсветки низкорекреационных топлив оказывает значительное влияние на себестоимость получаемой электроэнергии. Одним из направлений, позволяющим повысить к.п.д. котла а также снизить долю дорогостоящего топлива, используемого для подсветки, является реконструкция котлоагрегата с применением газоплотных топок.

Для возможности проведения оценки влияния реконструкции топки при исполнении ее в газоплотном варианте были выполнены тепловые и гидравлические расчеты для конструкции котла в проектном исполнении и для варианта с газоплотной топкой.

Расчеты проводились в соответствии с нормативным методом. При выполнении расчетов приняты следующие основные исходные данные:

- состав и калорийность топлив приняты согласно техническим характеристикам;
  - питательная вода нагревается в подогревателях до температуры 230°C;
  - забор холодного воздуха производится из котельного помещения и температура воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, составляет 30°C;
  - коэффициент избытка воздуха на выходе из топки на номинальной нагрузке котлов принят для открытой топки  $\alpha = 1,2$ ;
  - присосы по газовому тракту котла приняты по нормам теплового расчета котлов.
  - коэффициенты потери тепла с химическим недожогом и в окружающую среду приняты по нормам теплового расчета котлов;
  - температура среды на входе во вторичный тракт принята равной 371 °С на всех нагрузках котла;
  - расход непрерывной продувки принят равным 0,9-1,0%.
- Расчеты выполнены при работе котла на 100% и 70% нагрузки.

Расчеты модернизированного котла с установкой вихревых горелок были выполнены с нормативными присосами в пылесистему и по тракту котла (с учетом реконструкции обшивки и обмуровки котла). Нормативный перегрев пара при номинальной нагрузке достигается использованием подсветочного газа не более 2% по теплу. Температура на выходе из топки составляет 1147 °С, что гарантирует бесшлаковочный режим работы ширмового пароперегревателя.

---

\*Руководитель – д.т.н., профессор, декан физико-металлургического факультета Сафьянц С.М.

На пониженных нагрузках (70%) номинальные значения пара обеспечиваются с использованием подсветочного газа 3% по теплу. Подсветочный газ подается в газовые горелки, устанавливаемые на отметке +20700 мм. Применение подовых горелок, применяемых на существующих котлах не требуется. Плавка шлака обеспечивается подачей газа (или мазута) в нижний ярус вихревых горелок.

Анализ полученных результатов показывает, что температура первичного и вторичного перегретого пара, равная  $t_{пе} = 545^{\circ}\text{C}$ , обеспечивается на номинальной нагрузке котла (500 т/ч), при расходе питательной воды на впрыск в первичный тракт - 2,9 т/ч и расходе вторичного пара через байпас регулировочной ступени - 250 т/ч.

Расчетный расход антрацитового штыба на номинальной нагрузке котла составил 61324 кг/ч. Для обеспечения устойчивого образования жидкого шлака в горелки для подсветки подается 3070 м<sup>3</sup>/ч природного газа, что составляет 7% по теплу.

КПД котла брутто на номинальной нагрузке котла составил 90,83%.

На нагрузке 300 т/ч (60% от номинальной) обеспечивается температура первичного перегретого пара, равная  $T_{пе} = 545^{\circ}\text{C}$ , при расходе питательной воды на впрыск в первичный тракт - 1,0 т/ч. Такая же температура вторичного перегретого пара обеспечивается при выполнении следующих мероприятий:

- увеличить избыток воздуха на выходе из топки до 1,59;
- включить в работу дополнительные газовые горелки на отметке +20700 мм и подать в них 3450 м<sup>3</sup>/ч природного газа, что составляет 13% по теплу. При этом в горелки для подсветки подается 7% по теплу природного газа;
- закрыть байпас регулировочной ступени вторичного перегревателя.

Внедрение вышеперечисленных мероприятий позволит получить результаты:

- продление срока службы энергоблока на 15-20 лет;
- коэффициент готовности блока не ниже 90%
- гарантированный переход на проектные паропроизводительность и параметры пара, с увеличением КПД с 82-84% до 88-89%;
- новые эффективные горелочные устройства и повышение температуры горячего воздуха до 380-400<sup>o</sup>C обеспечат сжигание углей без подсветки. при нагрузках 70-100% и с минимальной подсветкой до 10% при разгрузке блока до 50%;
- снижение удельного расхода топлива, что позволит экономить топливо;
- повышение КПД котла на 4-6%;
- повышение маневренности и надежности работы энергоблока;
- сокращение ремонтных затрат за счет обновления оборудования и улучшения его эксплуатационных характеристик;
- снижение расхода электроэнергии на собственные нужды энергоблока на 2-3% ;
- снижение вредных выбросов до нормативных показателей.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ЧИЛЛЕР-ФАНКОЙЛ

Кучерова А.М. (ТП – 09)\*

Донецкий национальный технический университет

Система «чиллер-фанкойл» позволяет обеспечить независимое регулирование температуры одновременно в большом количестве помещений. К одному чиллеру может подключаться большое количество кондиционеров-доводчиков (фанкойлов), а также теплообменники центрального кондиционера или приточной вентиляционной установки.

Можно задавать не только общий тепловой режим всей системы, но и регулировать режим работы каждого фанкойла с выносного пульта управления. Так же постепенно наращивать мощность потребителей, что позволяет вводить объект в эксплуатацию постепенно, отдельными этапами. Предельное расстояние между чиллером и фанкойлом не лимитируется и определяется возможностями насосной станции и теплоизоляцией трубопроводов.

Преимущества отопления системы чиллер-фанкойл перед традиционной системой отопления в возможности быстрого прогрева помещения при работе вентилятора с максимальной скоростью вращения двигателя, быстрое перемешивание воздуха в помещении, что создает равномерное поле температур в помещении и способствует тепловому комфорту, быстрое охлаждение помещения при отключении системы в случае необходимости, таким образом достигается высокая гибкость регулирования по сравнению с традиционными системами отопления. Отопление помещений в нерабочие часы может осуществляться в режиме естественной конвекции. Незначительные затраты электроэнергии окупаются за счет более гибкого регулирования тепловой мощности, отсутствия перегрева в переходный период и перерасхода теплоты на отопление помещений.

Перспективным направлением повышения эффективности теплоснабжения, сокращения потребления газа и снижения платежей в бюджетной сфере является использование системы отопления «чиллер-фанкойл». Ценовые условия в настоящее время для гос. учреждений составляют: 1 Гкал тепла 924 грн. и 1 кВт\*ч электроэнергии 1,19 грн.(с учётом НДС). За счёт использования чиллера в период работы с температурой до -14С, в климатических условиях г. Донецка, со средним коэффициентом трансформации 2,5, позволит снизить потребление тепловой энергии практически на 40% и снизить стоимость отопления практически в 2 раза. (Стоимость потребленной электроэнергии на гос. предприятии 1 Гкал при коэффициенте трансформации 2,5 составит 554 грн.). Поэтому такая система позволяет сэкономить значительное количество денежных средств для нашего ВУЗа, а в комплексе с другими мероприятиями экономия может быть выше.

---

\* Руководитель – ст. преподаватель каф. ПТ Колесниченко Н.В.

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ – ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ

Чуб А.С. (ТП – 09)\*

Донецкий национальный технический университет

Одним из основных элементов систем экономичного теплоснабжения являются теплообменники нового поколения, а именно тепловые трубы. Тепловые трубы - высокоэффективные теплопередающие устройства, которые находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Они представляют собой устройства, обладающие очень высокой теплопередающей способностью. Их используют для значительно более эффективной передачи тепловой энергии с эффективностью более 90%, при малом градиенте температуры. Высокая теплопередающая способность в этих теплообменниках достигается за счет того, что в тепловых трубах осуществляется конвективный перенос тепла, сопровождаемый фазовыми переходами (испарением и конденсацией) жидкости-теплоносителя.

Тепловые трубы обладают возможностью передачи сотен Вт и даже кВт — скрытая теплота испарения характеризуется очень солидными величинами (тысячами джоулей на грамм вещества). И если испарять массу жидкости порядка нескольких граммов в секунду, то с паром будет переноситься тепловой поток, оцениваемый киловаттами или десятком киловатт.

Тепловая труба характеризуется:

1.Очень высокой эффективной теплопроводностью, в тысячи раз превышающей другие теплообменники. Коэффициент условной теплопроводности определяется по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{усл}} = Q_T \cdot l_T / (S \cdot (T_H - T_K)) \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{усл}}$  - коэффициент условной теплопроводности, Вт/м·град;-  $Q_T$  - тепловой поток,Вт;  $l_T$  - расстояние между зонами нагрева и конденсации, м;  $S$  - площадь трубы, м<sup>2</sup>;  $T_H, T_K$  - температуры поверхности испарителя и конденсатора, град.

2.Способностью действовать как трансформатор теплового потока;

3.Изотермичностью поверхности при низком термическом сопротивлении. Термическое сопротивление газового потока в тепловой трубе с естественной циркуляцией определяется по следующей формуле:

$$R_T = h \cdot T \cdot q \cdot (\rho - \rho_n) / (r \cdot \rho_n \cdot q_F \cdot d_n) \quad (2)$$

где  $R_T$  – термическое сопротивление, м<sup>2</sup> · ч · град/кДж;  $h$  – перепад высот между уровнями жидкости в конденсаторе и испарителе, м;  $T$  - температура тепловой трубы, град.;  $\rho, \rho_n$  - плотности жидкости и пара соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $r$  - теплота парообразования, кДж/кг;  $q_F$  - тепловой поток с теплопередающей способностью;  $d_n$  - наружный диаметр трубы, м.

\* Руководитель – доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В КОТЛАХ ТГМ-159/СО

Абрамян М. Х., Стольная Ю. А. (ТП-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Для повышения эффективности сжигания топлива в котле ТГМ-159/СО предлагаем произвести замену четырех газомазутных и четырёх коксодоменных горелок на две комбинированные плоскофакельные горелки.

Принцип действия плоскофакельной горелки основан на использовании эффекта соударения двух струй воздуха, направленных под углом друг к другу. Между этими струями образуется "треугольник", в который с боковых сторон эжектируются раскаленные продукты сгорания, осуществляющие прогрев и зажигание топлива. Соударение двух потоков приводит к образованию плоской струи, имеющей большую степень турбулизации и сильно развитую поверхность, что способствует интенсивному сгоранию топлива в объеме топки. Плоскофакельная горелка позволяет изменять положение факела в топке при переходе с одного вида топлива на другой для регулирования температуры перегретого пара.

Для организации на боковых стенах топки котла амбразур для новых горелок, выполняется разводка части экранных труб среднего блока. Амбразуры существующих горелок закрываются экранными трубами с восстановлением обмуровки стенок котла по типу существующей.

Был произведен конструктивный расчёт трактов доменного, коксового газов и воздуха одной комбинированной плоскофакельной горелки. Результаты расчёта представлены в таблице.

Таблица – Результаты конструктивного расчета трактов доменного, коксового газов и воздуха

Расход воздуха на горелку при сжигании природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	74424
Расчетная скорость воздуха на природном газе, м/с	53
Расчетное сечение по воздуху, $\text{м}^2$	0,829
Сечение воздушного сопла верхнего, $\text{м}^2$	0,332
Сечение воздушного сопла нижнего, $\text{м}^2$	0,497
Расчетная скорость доменного газа, м/с	45,9
Расчетное сечение по доменному газу, $\text{м}^2$	0,416
Наружное сечение верхнего сопла, $\text{м}^2$	0,748
Высота верхнего сопла, м	1,054
Высота воздушного канала верхнего сопла, м	0,851
Сечение воздушного канала верхнего сопла, $\text{м}^2$	0,332
Расчетная скорость коксового газа, м/с	67,8
Сечение канала коксового газа в горелке, $\text{м}^2$	0,03078
Количество труб $\varnothing 60 \times 3$ для коксового газа, шт	14

\*Руководитель – к. т. н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛА С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ КОТЕЛЬНОЙ КВАРТАЛА 287 КИЕВСКОГО ТЕПЛООВОГО РАЙОНА

Ермоленко Г. Н., Хоменко С. Г. (ТП-09)<sup>27</sup>  
Донецкий национальный технический университет

В отопительной котельной квартала 287 Киевского теплового района г.Донецка установлены котлы ТВГ-8М номинальной теплопроизводительности 8,3 Гкал/час, температура уходящих газов, при давлении газа на горелке 7840 Па, 177 °С, что превышает допустимую на 30-50°. Для снижения температуры предлагается установить утилизатор ТУВ. В таблице представлены данные по работе котла до установки утилизатора и после него.

Таблица – Результаты испытаний котла ТВГ-8М с утилизатором

Показатели	Единица измерений	Значение
Разряжение перед (за) утилизатором	Па	510 (745)
Аэродинам. сопротивление утилизатора	Па	235
Расход воды через утилизатор	м <sup>3</sup> /ч	7,64
Продукты сгорания до (после) утилизатора		
CO <sub>2</sub>	%	8,6 (8,4)
O <sub>2</sub>	%	5,7 (6,1)
CO	%	0,0041 (0,0034)
NO <sub>x</sub>	%	0,0045 (0,0038)
Температура уходящих газов до (после)	°С	177 (90)
Теплопроизводительность утилизатора	Гкал/ч	0,306
КПД утилизатора	%	4,36
КПД котла с утилизатором	%	94,41
Уд. Расход газа при работе с (без) утилизат.	м <sup>3</sup> /Гкал	135,35 (141,47)

Прирост КПД котла за счет использования утилизатора при температуре уходящих газов после утилизатора не ниже 90 °С составил от 3,79 до 4,58 % в зависимости от нагрузки котла. Часовая экономия газа составила от 21,6 м<sup>3</sup>/ч до 50,61 м<sup>3</sup>/ч. Концентрация оксидов азота и оксидов углерода (при  $\alpha = 1$ ) во всем диапазоне нагрузок не превышает ПДК, равное 220 мг/м<sup>3</sup> и 130 мг/м<sup>3</sup>.

<sup>27</sup> Руководитель – к. т. н., доцент кафедры ПТ Попов А. Л.



## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ ОШ №15 ПО УЛ. ПОТЁМКИНА В Г. ЕНАКИЕВО

Стольная Ю. А., Абрамян М. Х. (ТП-09)\*  
Донецкий национальный технический университет

Котельная ОШ №15 – отопительная. В котельной установлены секционные водогрейные котлы НИИСТУ-5 – 2 шт., к.п.д. которых составляет 0,65. Котлы физически и морально изношены.

Для уменьшения удельных расходов топлива и увеличения эффективности работы котельной предлагаем провести реконструкцию котельной установкой двух газовых котлов RIELLO RTQ203, к.п.д. которых составляет 93%, с газовыми горелками Riello 34 MZ. Основными преимуществами газовых котлов RIELLO являются:

- высокое качество;
- практичность и надёжность;
- эффективное использование топлива;
- компактность.

Были приняты следующие расчётные температуры наружного воздуха:

- зимний период  $-22^{\circ}\text{C}$ ;
- переходной период  $+8^{\circ}\text{C}$ .

В качестве теплоносителя для системы отопления принята вода с температурой  $95-70^{\circ}\text{C}$ .

Сравнительная характеристика технико-экономических показателей котельной до и после реконструкции приведена в таблице.

Таблица – Техничко-экономические показатели котельной

Наименование	Единицы измерения	Показатель	
		до реконструкции (НИИСТУ-5 2 шт.)	после реконструкции (RIELLO RTQ203 2 шт.)
Расчётный к.п.д. котлов	%	80	93
Расход топлива на котельную	т.у.т./год тыс. м <sup>3</sup> /год	123,2 109,18	105,9 93,91
Годовой расход электроэнергии	тыс. кВт·ч	59,6	28,5
Расход топлива на выработку 1 Гкал	т.у.т./Гкал	0,178	0,153

Установка котлов RIELLO RTQ203 практически исключает выбросы CO и NO<sub>x</sub> в приземной зоне ниже предельно-допустимых концентраций, а также разбавление сточных вод, сбрасываемых в канализацию.

\*Руководитель – к. т. н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

## ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОТОПЛЕНИИ.

Наконечная М.С. (ЭНМ-12м)<sup>28</sup>

Донецкий национальный технический университет

В современном мире становятся все более распространенными приборы инфракрасного излучения. Их используют в промышленности, коммунальном хозяйстве, медицине. Инфракрасное излучение составляет большую часть излучения ламп накаливания, газоразрядных ламп, около 50 % излучения Солнца; инфракрасное излучение испускают некоторые лазеры.

Инфракрасное излучение также называют «тепловым» излучением, так как инфракрасное излучение от нагретых предметов воспринимается кожей человека как ощущение тепла. При этом длины волн, излучаемые телом, зависят от температуры нагревания: чем выше температура, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения.

Инфракрасное отопление — одна из разновидностей систем отопления, где в качестве источников тепла используются инфракрасные излучатели. Инфракрасное отопление может использоваться как в качестве вспомогательного, так и самостоятельного типа отопления. Благодаря особенностям инфракрасного излучения возможна организация локального отопления, при котором тепло подается лишь в те зоны, где это необходимо, что особенно актуально в крупных помещениях с высокими потолками. Кроме того, это единственный вид отопления, позволяющий организовать эффективный обогрев открытых (в том числе уличных) пространств.

Инфракрасный обогреватель — отопительный прибор, отдающий тепло в окружающую среду посредством инфракрасного излучения. Лучистая энергия поглощается окружающими поверхностями, превращаясь в тепловую энергию, нагревает их, которые в свою очередь отдают тепло воздуху. Это дает существенный экономический эффект по сравнению с конвекционным обогревом, где тепло существенно расходуется на обогрев неиспользуемого подпотолочного пространства. Кроме того, при помощи инфракрасных обогревателей появляется возможность местного обогрева только тех площадей в помещении, в которых это необходимо без обогрева всего объёма помещения; тепловой эффект от инфракрасных обогревателей ощущается сразу после включения, что позволяет избежать предварительного нагрева помещения. Эти факторы снижают затраты энергии.

Главным конструктивным элементом инфракрасного обогревателя является излучатель, испускающий инфракрасное излучение за счёт нагрева. В электрических обогревателях обычно используется трубчатый электронагреватель (ТЭН) или открытая (либо защищённая кварцевой трубкой) спираль, в газовых — металлическая сетка или трубка с чёрным покрытием

---

<sup>28</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

либо керамическая пластина со специальными отверстиями, нагреваемая проходящими сквозь неё продуктами сгорания природного газа.

Нагрев помещения производится путем прямого воздействия инфракрасных лучей на поверхности: пол, нижнюю зону наружных стен, оборудование, людей. Они поглощают тепло в первую очередь, и только потом, от нагретых поверхностей, начинается процесс теплоотдачи в окружающий воздух. В этом и состоит принцип работы инфракрасных обогревателей, и сама суть инфракрасного отопления. При таком методе отопления поверхности предметов теплее окружающего воздуха на 7-10°C.

Особенно широко техника инфракрасного нагрева и отопления стала использоваться после создания газовой горелки инфракрасного излучения. Газовые горелки инфракрасного излучения - разновидность газовых горелок, в которых происходит инфракрасное излучение из металлических или керамических пластин, накаливаемых за счет сжигания газа на их поверхности или в их толще. Горелки инфракрасного излучения высокоэффективны благодаря почти совершенному теплообмену между поверхностью излучения и нагреваемой поверхностью.

Рассмотрим медицинские аспекты взаимодействия инфракрасного излучения с живыми тканями. Наибольшей глубиной проникновения, а следовательно и наибольшей активностью, обладает инфракрасное излучение диапазона 0,7-3 мкм.

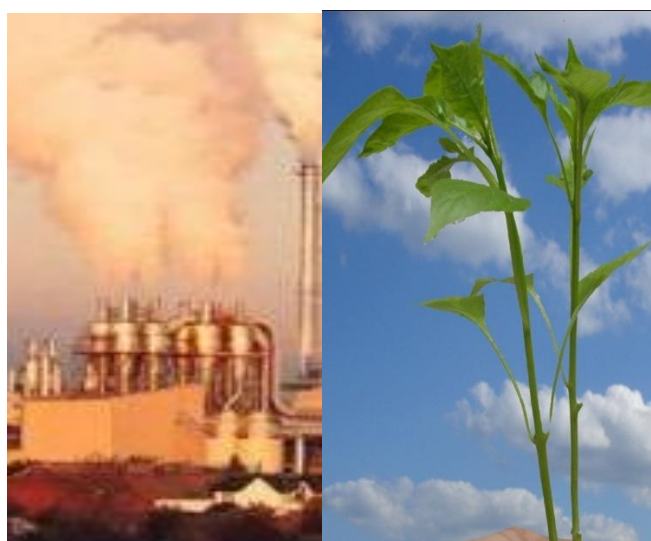
Излучение же длиной волны более 3 мкм (а именно "лучей жизни" - 9.6 мкм) полностью поглощается верхними слоями кожи и не проникает вглубь организма. Излучение этого диапазона так же участвует в нагреве организма, хотя и не столь активно, как излучение ближнего диапазона 0,76-1,5 мкм. Поглощаясь верхними слоями кожи, инфракрасное излучение превращается в тепло, которое нагревает кожу на 1-2 °С. Это тепло, начинает медленно прогревать ткани организма, из-за малой интенсивности.

С точки зрения физиологии человека ближние инфракрасные лучи в той области и в тех пропорциях, в которых мы обычно получаем их от Солнца сквозь атмосферу, не только полезны, но и необходимы. Ближние инфракрасные лучи (до 1,5 мкм) поглощаются в глубине кожных покровов, в то время как инфракрасные лучи с большей длиной волны поглощаются уже на их поверхности.

Очень сильное инфракрасное излучение в местах высокого нагрева может высушивать слизистую оболочку глаз. Наиболее опасно, когда излучение не сопровождается видимым светом. В таких местах необходимо надевать специальные защитные очки для глаз.

Таким образом, видим, что использование инфракрасного излучения безопасно для использования его в отоплении, а также других сферах жизнедеятельности человека при соблюдении правил эксплуатации приборов инфракрасного излучения.

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Е. Ю. Хребтова (ЭО – 01 - 09)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Проблема загрязнения воды отходами промышленности, особенно нефтепродуктами, приняла угрожающий характер. Нефтяные пленки на поверхности водоема препятствуют аэрации и естественному самоочищению воды. Тяжелые фракции нефтепродуктов оседают на дно, что ведет к гибели организмов, обитающих на нем. Слабая окисляемость в воде определяет их длительное воздействие на флору и фауну. Кроме того, при осветлении воды, снижении ее щелочности, умягчении образуются шламы химводоочистки (ХВО). Они накапливаются в шламоотвалах, усиливая экологическую нагрузку на прилегающие территории. Только ТЭС «Днепроэнерго» сбрасывает ежегодно до 7 тыс. т шламов.

Поэтому интерес представляет оценка возможности использования этих шламов в качестве доступного сорбента для очистки нефтесодержащих стоков.

Анализы показывают, что основными компонентами шламов являются CaO (43 – 45%), CaCO<sub>3</sub> (~ 40%), SiO<sub>2</sub> (10 – 11%), MgO (2,6 – 2,8%). Они обладают высокой сорбционной емкостью (~ 5,7 г/г), причем при погружения образца шлама в нефтесодержащую сточную воду его сорбционная способность реализуется в течение первого часа контакта (рисунок).

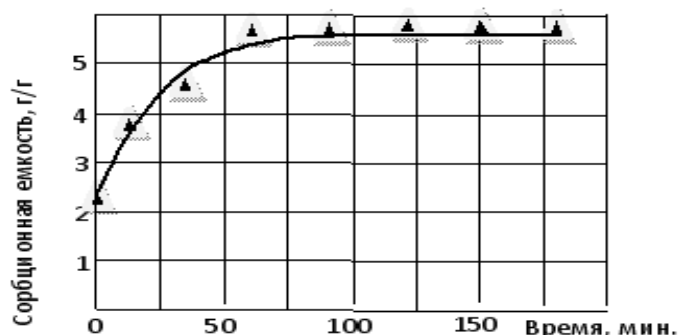


Рисунок – Сорбционная емкость шлама для замазученной воды

Т.о., применение шламов ХВО в качестве сорбента позволит комплексно решить проблему очистки сточных вод от нефтепродуктов, сокращения объемов шламоотвалов, снижения затрат на приобретение сорбентов для очистки воды. Отпадает необходимость в регенерации отработанного сорбента; его можно утилизировать путём добавки к основному топливу на ТЭС. Это исключит вторичное загрязнение воды и даст экономию энергоресурсов.

---

Руководитель – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и охраны труда Иванов И.И.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ФЕНОЛВМІЩУЮЧИХ СТІЧНИХ ВОД ТА УСТАНОВКА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Гетманець Л.Л. (ЕКМ - 07)\*

Національна металургійна академія України

Забезпечення людей і промисловості чистою водою стає все більш складною задачею. Вже зараз Донбас і південь України мають дефіцит якісної питної води і проблема загострюється внаслідок скидання погано очищених стічних вод, забруднених шкідливими речовинами, у відкриті водойми.

Однією з найбільш складних в екологічному відношенні галузей промисловості є коксохімічне виробництво. Найбільшу небезпеку для довкілля представляють його фенолвміщуючі води, кількість яких становить 30-40% від маси сухої вугільної шихти або 0,45 - 0,53 м<sup>3</sup>/т коксу. Це обумовлено токсичністю фенолів, вміст яких складає 0,2 ÷ 0,4 г/дм<sup>3</sup>, у той час як для водних об'єктів питного, побутового та рибогосподарського водокористування їх ГДК становить 0,0001 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, вони здатні утворювати при хлоруванні води хлорфеноли, що володіють підвищеною токсичністю й різким неприємним запахом навіть при низьких концентраціях.

Для витягу фенолів зі стічних вод використовують звичайно перегонку з паром й екстракцію селективними розчинниками. Однак перший метод має низький ступінь знефенолювання стоків, а екстракційне очищення не знайшло широкого застосування через складність технології, дорожнечу екстрагентів, необхідність їхньої спеціальної підготовки.

Одним з перспективних напрямів глибокого очищення стічних вод від фенолів є адсорбція, метод, заснований на здатності деяких речовин (деревне та активоване вугілля, кокс, торф, глина) поглинати інші речовини за рахунок власних пор. Поглинання здійснюється поверхнею адсорбенту за рахунок молекулярних сил без хімічного перетворення речовин. Окрім високої ефективності (до 80 ÷ 95%), перевагою адсорбції є можливість рекуперації вловлюваних речовин.

Найбільш застосованим адсорбентом для водопідготовки та доочистки води є активоване вугілля БАВ ГОСТ 6217-74 у вигляді частинок 0,1 мм та менше. Воно володіє малою каталітичною активністю по відношенню до реакцій окислення і конденсації, низькою вартістю, не зменшує суттєво адсорбційну ємкість після регенерації і забезпечує велике число циклів роботи.

Для експериментального визначення ізотерми адсорбції у шість колб ємністю по 250 мл обвішували навіски по  $a = 1$  г адсорбенту та наливали по 200 мл розчину фенолу з концентрацією  $C_0$ : 100, 200, 400, 600, 800 і 1000 мг/л. Закриті колби струшували на протязі години на струшувачі з частотою 120 Гц,

---

Керівник – к.т.н., доцент кафедри інженерної екології та охорони праці Іванов І.І.

адсорбент відфільтровували та у фільтратах визначали рівноважні концентрації фенолу  $C$ , мг/л із застосуванням бромід-броматного методу. Ємкість вугілля, тобто кількість речовини, що адсорбувалась 1г адсорбенту, розраховувалось по формулі:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C)200}{1000 \cdot a}, \text{мг/л}$$

На рис. 1 зображена отримана за дослідними даними ізотерма адсорбції, а на рис. 2 - технологічна схема установки для очищення стічних вод від фенолу.

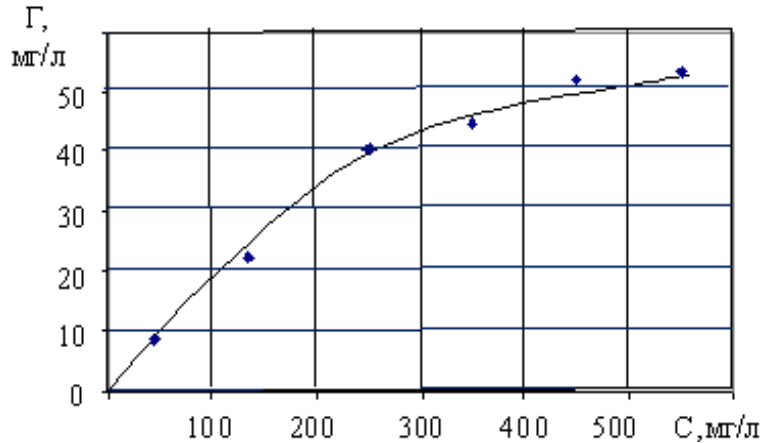
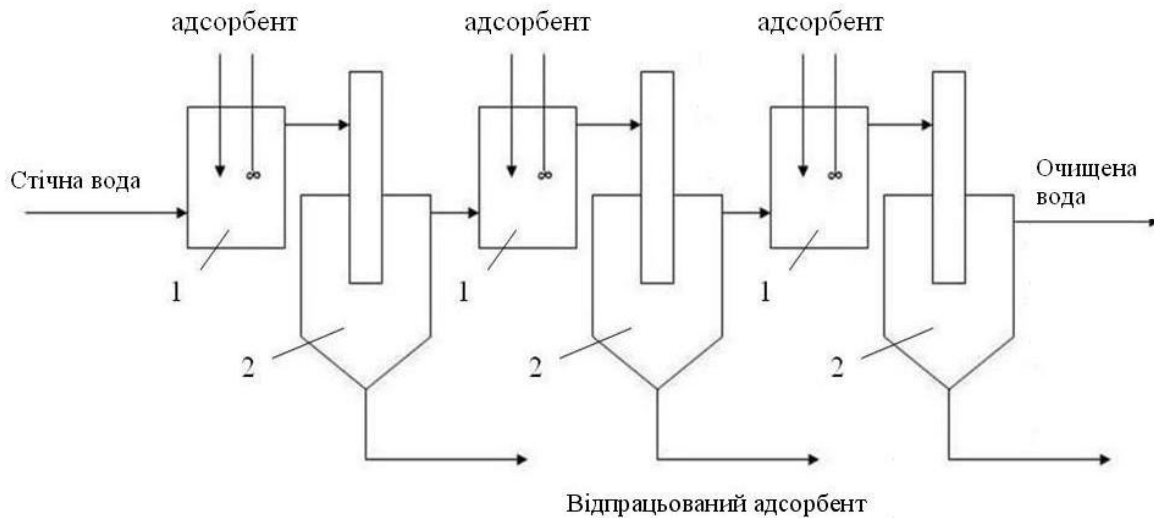


Рисунок 1 - Ізотерма адсорбції фенолу активованим вугіллям.



1 – змішувачі, 2 – відстійники.

Рисунок 2 - Технологічна схема адсорбційної установки з послідовним введенням адсорбенту.

Процес може бути здійснений при інтенсивному перемішуванні адсорбенту з водою у декілька стадій. На кожному ступені вводять свіжий адсорбент для зниження концентрації забруднень, потім цей адсорбент відділяють відстоюванням або фільтруванням, а стічну воду направляють на наступну ступінь. По закінченню процесу концентрація забруднень у воді зменшується до санітарних норм.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ЯК ЗАСОБУ ПРИГНІЧЕННЯ УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЕННІ ГАЗОВОГО ПАЛИВА

Голенищева О.О. (ЕКМ - 07)\*  
Національна металургійна академія України

Оксиди азоту займають провідне місце серед забруднювачів повітряного басейну пірогенного походження. У середньому від переробки руди до випуску готового прокату у розрахунку на 1 т продукції утворюється біля 90 кг оксидів азоту. Їх валовий викид складає від 6 до 8 % від загальної кількості всіх шкідливих речовин, поступаючись лише викиду пилу, оксидів вуглецю та сірки. Однак ГДК їх майже у 6 разів нижчий, ніж у оксидів сірки та пилу, і у 35 разів нижче, ніж у оксиду вуглецю. Тому оксиди азоту не поступаються, а інколи і перевищують за своєю негативною дією означені три групи забруднювачів.

Накопичення їх в атмосфері призводить до випадіння кислотних дощів і це згубно діє на флору і фауну. Вони спричиняють подразнюючу та опікову дію на організм. Посилюється корозія конструкцій, руйнування пам'яток історії та архітектури. Занесення їх в стратосферу з восхідними потоками повітря є однією з причин руйнації озонового шару.

За активної участі оксидів азоту у фотохімічних реакціях утворюються високотоксичні сполуки – фотооксиданти, які визначаються високою реакційною здатністю і вкрай небезпечні для людини. Слід також враховувати ефект сумачії: при сумісній присутності в повітрі названих забруднювачів токсичність суміші зростає більш ніж на порядок в порівнянні з токсичністю окремих речовин.

Потужним джерелом емісії оксидів азоту є енергетичні та технологічні агрегати, що споживають органічне паливо. На них припадає більше 95 % від їх загальної кількості. Основну частку серед них (біля 80%) складають повітряні “термічні” оксиди азоту, що утворюються при температурах більше 1500<sup>0</sup>С з молекулярного азоту повітря. Тому саме вони були об’єктом досліджень.

Одним з найбільш ефективних і поширених з методів гальмування процесу утворення оксидів азоту є рециркуляція продуктів згорання. Вона дозволяє понизити швидкість реакції за рахунок зниження температури і концентрації реагуючих речовин в зоні горіння.

Для виконання досліджень розроблена та реалізована у Excel 2003 розрахункова модель, що враховує склад газу, коефіцієнт витрати повітря, ступінь збагачення його киснем, температуру газу та повітря, кратність рециркуляції та температуру рециркуляту, тепловтрати з зони горіння.

---

\*Керівник – к.т.н., доцент кафедри інженерної екології та охорони праці Іванов І.І.



Рівновагий вміст оксиду азота у димових газах визначається за формулою Зельдовича та Франк-Каменецького. Оцінка вмісту кисню і азоту, а також температури у зоні реакції виконується шляхом розрахунку процесу горіння. Середні об'ємні ізобарні теплоємності газових компонентів визначаються за залежностями, отриманими шляхом лінійної апроксимації відомих експериментальних даних.

На рисунку у якості прикладу представлені залежності вмісту оксиду азота [NO] у продуктах згоряння природного газу від кратності рециркуляції  $R$  (а) та температури рециркулянта  $t_p$  (б).

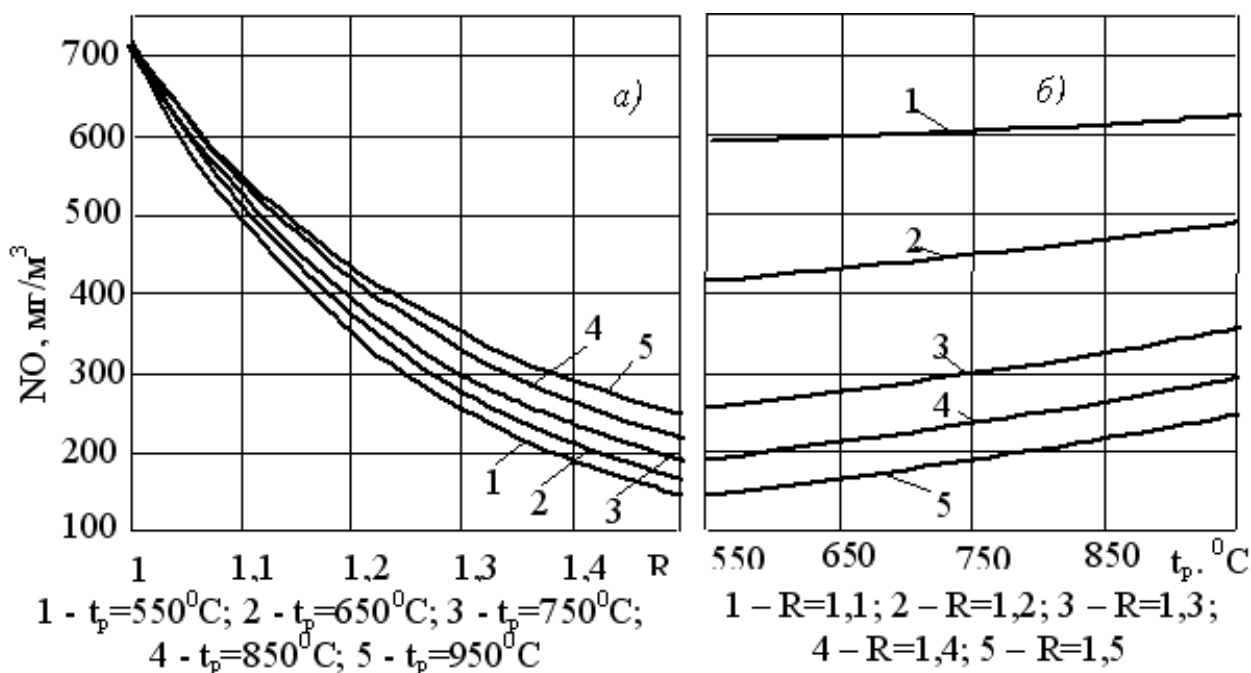


Рисунок - Вплив кратності рециркуляції  $R$  (а) та температури рециркулянта  $t_p$  (б) на вміст NO у продуктах згоряння природного газу

Аналіз отриманих даних свідчить, що підвищення температури рециркулянта призводить до зростання вмісту оксиду азоту, величина якого залежить від кратності рециркуляції. При кратності  $R = 1,05$  з підвищенням температури рециркулянта з  $550$  до  $950^{\circ}\text{C}$  воно складає  $5 - 6\%$ , а при кратності  $R=1,5$  - біля  $70\%$ .

Зі збільшенням кратності рециркуляції відбувається різке зниження концентрації оксидів азоту в димових газах: при кратності  $R = 1,1$  досягається зниження на  $20 - 30\%$ ; при  $R = 1,2$  - на  $40 - 50\%$ , а кратність рециркуляції  $R = 1,5$  дозволяє знизити емісію оксидів азоту в  $3 - 4$  рази.

Ці та інші отримані результати не протирічать даним експериментальних і теоретичних досліджень інших авторів, які наведені у науковій літературі, і можуть бути використані на практиці для зниження викидів оксидів азоту з теплових агрегатів.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ТРАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛЕВОГО ДРОТУ

Рябоконт А. Г. (ЕО-01-09)\*

Національна металургійна академія України

Металургійні підприємства є одними з головних забруднювачів водного басейну. Особливо небезпечним є скид вод, що утворюються у процесі травлення металу. Кардинальним рішенням проблеми зниження негативного впливу на довкілля стоків цього виробництва є удосконалення його технології.

На ВАТ «Дніпрометиз» вода використовується у сталедротному комплексі на готування розчинів для травлення катанки перед волочінням, а у цеху металопокриттів - перед нанесенням на дріт цинкового покриття; промивань металу після травлення; готування вапняних розчинів для нейтралізації кислотних стоків після промивки. Водовідведення підприємства здійснюється в каналізаційні мережі міста й у ставок-випарник.

Травлення металу виконується у 15 ÷ 20%-ному розчині HCl та 2% FeCl<sub>2</sub> при температурі 40 ÷ 50<sup>0</sup>C на протязі 10 ÷ 40 хвилин. З огляду на виявлені недоліки розроблена технологія і установка травлення катанки й дроту при температурах 20 ÷ 25<sup>0</sup>C і електродиалізної регенерації відпрацьованих травильних розчинів. Це усуває летючість соляної кислоти й необхідність підігріву розчину. Підвищенню швидкості процесу майже в 2 рази сприяє добавка в розчин солей FeCl<sub>3</sub>. Стабільність процесу забезпечується циркуляцією кислотного розчину між травильною ванною і диалізатором, який розділений на секції іонообмінними мембранами. Через середню секцію циркулює аноліт і на графітовому аноді відбувається окислення продукту травлення - хлористого заліза у хлорне (травитель) FeCl<sub>3</sub>. У крайніх секціях на катодах з титанового сплаву FeCl<sub>2</sub> відновлюється до металевого заліза.

Водночас хлорид-іони мігрують із католіта в аноліт і йдуть на утворення FeCl<sub>3</sub>. Окислювання FeCl<sub>2</sub> в аноліті й відновлення надлишкової кількості сполук заліза в католіті слід проводити при напрузі 8 ÷ 10 В і відстані між електродами до 10 см. З анодної секції окислений розчин повертається у ванну травлення, куди також надходить розчин з катодної секції після добавки концентрованої соляної кислоти.

Застосування технології забезпечує якісне травлення, скорочення його часу і зменшення витрати кислоти на нього. З-за припинення парогазовиділень покращуються умови праці персоналу і зменшується кількість шкідливих домішок у вентиляційних викидах. Регенерація відпрацьованого травильного розчину і повторне його використання практично ліквідує проблему кислотних стоків. Побічним продуктом є порошок електродіалітичного заліза, виділюваний на катоді диалізатора.

---

\*Керівник – к.т.н., доцент кафедри інженерної екології та охорони праці Іванов І.І.

## О МОЖЛИВИХ ВТРАТАХ $V_2O_5$ ПРИ ОКИСНОМУ ВИПАЛІ ВАПНОВАНОГО КЕКУ

Гуцько І.М., аспірант<sup>(1)</sup>

Запорізька державна інженерна академія

В Україні накопичена велика кількість ванадійвмістних відходів техногенного походження, які складують на території промислових підприємств і відносять до другого класу токсичності. Такими відходами є: золи теплових електростанцій (ТЕС), шлами титанового й глиноземного виробництва, відходи ванадієвого й ферованадієвого виробництва, відпрацьовані каталізatori сіркокислотного виробництва та ін.

На Запорізькому титаномагнієвому заводі при виробництві титану губчатого утворюється техногенний відхід – алюмованадієвий кек (АВК), що відноситься до другого класу токсичності. Екологічним законодавством заборонене складування відходів даного класу токсичності на полігонах, які знаходяться на території підприємства. Щоб вирішити цю проблему Запорізьким інститутом титану був запропонований спосіб вапнування АВК зі зниженням класу токсичності відходу й можливості складування його на полігонах у вигляді вапнованого кека (ВК). Однак недолік вапнованого кеку в тому, що він не може бути товарною продукцією широкого застосування.

Тому інститутом титану для усунення даного недоліку була розроблена схема переробки ВК, яка містить у собі наступні операції: відмивання ВК від хлоридів, окисний випал вапнованого кеку, вилуговування недогарка, осадження ванадату натрію з наступним його прожарюванням. Результатом є товарний продукт, який відповідає нормам ТУ 14-5-92-90 встановлених для марок 1 і 2 технічного пентаоксиду ванадію.

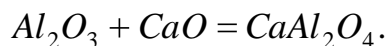
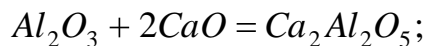
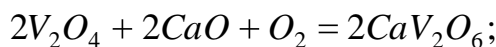
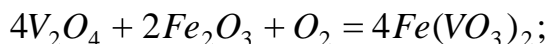
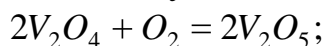
Основною операцією є окисний випал, тому що саме він визначає ступінь витягу ванадію в кінцевий продукт. Випал забезпечує переведення ванадію з нерозчинної у воді сполуки ( $V_2O_4$ ) у добре розчинну сполуку ( $V_2O_5$ ). При термодинамічному аналізі операції окисного випалу досліджували ВК наступного хімічного складу наведеному у таблиці.

Таблиця -Хімічний склад вапнованого кеку

Компонент кека	Вміст, %
$V_2O_4$	24,47
$TiO_2$	18,43
$Fe_2O_3$	0,8
$Al_2O_3$	56,73
CaO	2,57
Усього	100

<sup>(1)</sup> Керівник –к.т.н.; доцент, доц. кафедри металургії кольорових металів Єгоров С.Г.

При випалі, окрім основної реакції  $V_2O_4 + 0,5O_2 = V_2O_5$ , протікають побічні реакції з утворенням наступних сполук:



Про це свідчить результати розрахунків енергії Гіббса для перерахованих реакцій (рис.).

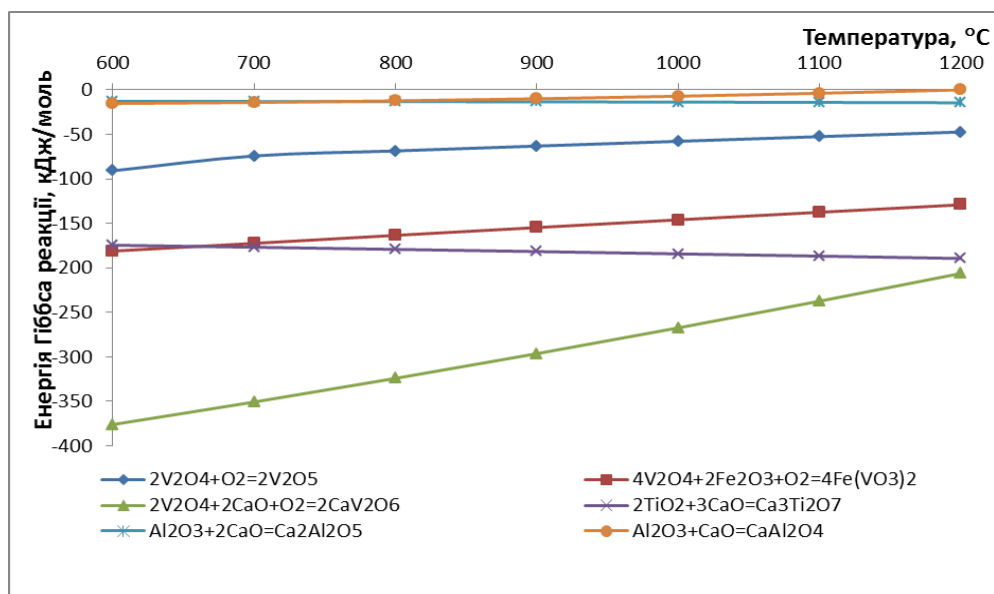


Рисунок – Залежність Енергії Гіббса реакцій утворення оксидів ванадію

Судячи з графіку в інтервалі температур від 600 до 1200 °C ймовірно протікання всіх реакцій. В першу чергу протікає реакція з утворенням ванадату кальцію ( $CaV_2O_6$ ), так як енергія Гіббса реакції найбільш негативна. Окрім цього з термодинамічної точки зору в результаті окисного випалу можуть утворюватися такі сполуки:  $Ca_3Ti_2VO_7$ ,  $Fe_3(VO_3)_2$ ,  $Ca_2Al_2O_5$ ,  $CaAl_2O_4$ . Ці сполуки можуть впливати на втрати ванадію в кінцевому продукті. Розрахунками встановлено, що утворення  $CaV_2O_6$  при окисному випалі впливає на загальний ступінь витягу пентаоксиду ванадію ( $V_2O_5$ ): один кілограм  $CaO$  у складі вапнованого кеку веде до втрати 1,55 %  $V_2O_5$ . З метою мінімізації втрат при окисному випалі необхідно на стадії вапнування АВК додавати стехіометричну кількість вапна, або оптимізувати технологічні операції «вапнування АВК» - «відмивка від хлоридів».

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СОРБЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Волокита Е.Н. (ЭО01-10)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Одним из эффективных методов очистки промстоков металлургических предприятий от ионов тяжёлых металлов является адсорбция. Обычно в водоподготовке используются угольные или синтетические сорбенты. Однако они имеют ряд недостатков: в связи с тем, что регенерация сорбентов неэффективна, эти сорбенты одноразового использования, создают труднорешимую проблему с их утилизацией. Поэтому актуальным является поиск новых для промышленной водоподготовки дешёвых и эффективных сорбентов из природных материалов - отходов сельского хозяйства, содержащих целлюлозу, и могут быть использованы в неограниченных количествах.

Растительные отходы стержней початков кукурузы подвергают предварительной обработке: измельчению, обработке горячим водяным паром при температуре более 500°C. Обработка водяным паром способствует удалению низкомолекулярных балластных веществ и развитию микро- и мезопор. При этом достигается высокая сорбционная емкость и гидрофобность полученного сорбента. Адсорбционную емкость сорбентов определяли по формуле:

$$A = \frac{C_n - C_k}{m} \cdot V,$$

где  $C_n$ ,  $C_k$  – начальная и конечная концентрация цинка в растворе соответственно, мг/л;  $m$  – навеска сорбента, г;  $V$  – объем раствора содержащего цинк (сульфат цинка).

Для исследования сорбционной емкости навеску сорбента 2г помещали в коническую колбу и добавляли 200мл раствора  $ZnSO_4$  концентрацией 1000мг/л, время контакта с раствором 1,5 часа при периодическом перемешивании. Проведенное исследование показало, что сорбционная активность целлюлозосодержащего сорбента на основе стержней початков кукурузы составляет 84%. Дальнейшие исследования будут направлены на определение оптимальных параметров сорбции для промышленных условий.

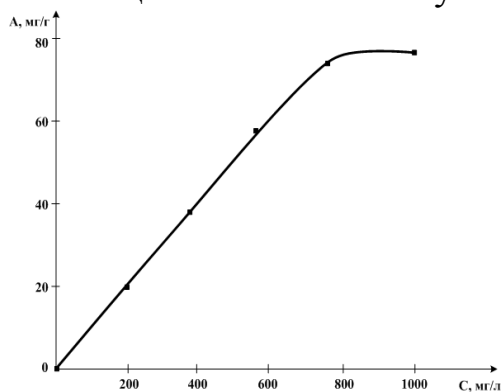


Рисунок - Изотерма адсорбция ионов цинка целлюлозосодержащим сорбентом

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ИЭ и ОТ Стомба Я.В.

## ПРОБЛЕМА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭС

Ктиторов В.В. (ЭНМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Развитие современного общества неизбежно ведет к повышению энергопотребления. Вместе с тем низкоэффективное использование ресурсов приводит к ряду экономических и экологических проблем. Крупные металлургические производства вместе с теплоэлектростанциями ежедневно потребляют сотни тонн топлива, часть которого неизбежно преобразуется в отходы. Воздействие таких отходов на организм человека указано в таблице.

Таблица - Воздействие отходов на организм человека

Загрязнение мг/м <sup>3</sup>	Повышенная смертность и обращаемость в больницы	Хронические легочные заболевания	Функциональны е изменения в дыхании	Изменение видимости, дискомфорт
	Среднесуточная концентрация		Среднегодовая концентрация	
SO <sub>2</sub>	0,5...0,1	0,08...0,25	0,09...0,12	<0,09
взвешенные частицы	0,3	0,25	0,1	0,08

По оценкам многих экспертов Украина обладает огромным потенциалом по снижению выбросов.

- Повышение энергоэффективности и энергосбережение;
- Использование альтернативных источников энергии (в т.ч. биотоплива);
- Использование современных методов сжигания топлива;
- Улавливание и утилизация метана, выделяющегося в угольных шахтах и на свалках отходов;

Одним из основных направлений работы в сфере энергоэффективности можно считать контроль за качеством топлива. В продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу, содержатся вредные компоненты, основными из которых являются: 1) твердые частицы при сжигании твердого и жидкого топлива; 2) газообразные окислы серы SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>; 3) окислы азота NO<sub>x</sub>; 4) оксид углерода CO; 5) диоксид углерода CO<sub>2</sub>; 6) углеводороды; 7) бенз(а)-пирен. Обычно зола топлива не содержит токсичных веществ. Однако в золе донецких антрацитов содержится незначительное количество мышьяка, в золе экибастузских углей - диоксид кремния, в зоне канско-ачинского угля и прибалтийских сланцев - свободный оксид кальция

В последние годы в связи с быстрым ростом энергетики все большее внимание уделяется низкосортным углям, имеющим повышенное содержание серы и сернистые мазуты, что приводит к резкому увеличению выбрасываемых в атмосферу окислов серы. Простейший расчет показывает, что при среднем содержании серы в топливе всего 0,5 % и сжигании 10 млрд. т условного

\* Руководитель – к.т.н., проф. кафедры ПТ Илющенко В.И.

топлива в мире в реакцию горения вступит 50 млн. т серы и в атмосферу Земли будет выброшено около 100 млн. т  $SO_2$  или 125 млн. т  $SO_3$ .

Количество потребляемого ежегодно топлива измеряется в миллионах тонн. В его транспортировке задействовано огромное количество вагонов и железного полотна. Над его подготовкой ежедневно работают разнообразные машины. Снижение качества топлива неизбежно ведет к увеличению его расхода и, как следствие, к ускорению износа железной дороги, сушилок, дробилок, золоулавливателей и систем шлакоудаления и др. Высокая зольность и наличие породы приводят к увеличению потерь с золой и механическим недожогом и как следствие – к снижению КПД всей установки. С уменьшением КПД оборудования увеличивается необходимый расход топлива, требующийся для выработки расчетного количества тепловой и электрической энергии, а с увеличением расхода топлива растет весь диапазон вредных выбросов от топливо использующей установки.

Из-за износа оборудования увеличивается число его вынужденных остановок, нарушается технологический режим, соответственно повышается количество растопок и пусков, т.е. неустановившихся нестационарных режимов работы. При таких режимах уровень вредного воздействия возрастает, в том числе наблюдается значительный выход канцерогенных веществ, которые представляют наибольшую опасность для человека и живых организмов, вызывают раковые заболевания. Так же наблюдается увеличение недожогов (образование пыли,  $CO$ ) и повышенное образование оксидов азота. Необходимость подсветки некачественного угля мазутом приводит к дополнительным загрязнениям в виде соединений серы. Износ оборудования, из-за использования некачественного топлива может даже привести к аварийным режимам, при которых количество и разнообразие вредных факторов является катастрофичным.

Существенное влияние на степень вредного воздействия на окружающую среду оказывают также степень автоматизации технологического процесса сжигания топлива и достоверный контроль за режимом и уровнем выбросов. Это объясняется непосредственным влиянием режима сжигания на уровень образования вредных выбросов. Учитывая скорость процесса и влияние на механизм горения множества факторов (воспламенение, своевременность подачи окислителя, смесеобразование, зерновой состав подготовленного топлива и др.) только автоматическим регулированием процесса можно обеспечить заданные оптимальные режимы.

Таким образом, контролируемый уровень вредного воздействия любой топливоиспользующей установки на окружающую среду является комплексным индикатором, показателем совершенства ее технологического процесса, так как на него влияют: качество топлива и условия его использования; экономичность работы установки; надежность работы технологического оборудования установки; ликвидация ограничений в работе оборудования при его эксплуатации; уровень автоматизации и контроля за технологическим процессом подготовки и сжигания топлива.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Легостаева А. А. (ЭКМ-12сф)\*  
Донецкий национальный технический университет

Металлургические предприятия оказывают негативные воздействия на все компоненты окружающей среды. В первую очередь, это загрязнение атмосферы выбросами:  $\text{CO}_x$ ;  $\text{NO}_x$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{NH}_3$ ; пыли, содержащие тяжелые металлы и т.д. Рассеиваясь по прилежащим территориям, выбрасываемые вещества попадают в верхний слой почвы, накапливаются в ней. Кроме того, огромный ущерб металлургические предприятия оказывают на водный бассейн прилегающих территорий. Во-первых, сбрасывая сточные воды, во-вторых загрязняя также подземные воды, в которые загрязняющие вещества попадают с осадками, просачиваясь через загрязнённую почву. Но страдает не только абиотическая часть среды, но и биота: растения, животные, человек. Наблюдаются видимые изменения в состоянии здоровья живых организмов: сбиваются ритмы цветения растений, подавляется рост жизненно важных органов; вымирают малоприспособленные виды, тем самым уменьшая биоразнообразие; у человека учащаются случаи болезней дыхательных путей, онкологий, замечены случаи отставания в развитии у детей.

Для уменьшения негативных воздействий металлургического производства на окружающую среду применяют следующие способы: увеличение высоты трубы с целью повышения рассеивания; внедрение малоотходных технологий производства; герметизация технологических установок; утилизация вредных отходов; установка газоочистных и пылеулавливающих аппаратов; озеленение прилегающих к металлургическому предприятию территорий.

Растительность играет огромную роль в защите окружающей среды от вредных воздействий. В первую очередь, каждое металлургическое предприятие должно иметь санитарно-защитную зону (СЗЗ), озеленённую наиболее устойчивыми породами деревьев и кустарников, такими как: ива белая (форма плакучая), тополь канадский, бирючина обыкновенная, снежнаягодник, виноград пятилиственный, вяз перистоветвистый, птелея трехлистная. СЗЗ выполняет роль «барьера» для вредных выбросов. Деревья предотвращают распространение пыли, осаждая её на листьях, фильтруют и нейтрализуют газовые потоки вредных веществ; кроме того, некоторые растения имеют способность «вытягивать» из почвы соли тяжелых металлов, аккумулируя их в себе. Таким образом, растения улучшают санитарно-гигиенические показатели окружающей среды.

---

\*Руководитель – к.т.н., доц. каф. РТПиМТ Темнохуд В.А.



## СУХАЯ ОЧИСТКА ДОМЕННОГО ГАЗА

Каштальян Г.В. (ЭКМ-10)<sup>29</sup>

Донецкий национальный технический университет

Доменное производство оказывает существенное влияние на загрязнение окружающей среды, так как при производстве чугуна образуется большое количество газовых выбросов и отходов. Особую ценность имеет доменный газ (ДГ), который можно использовать только после его очистки от колошниковой пыли.

Существует два способа очистки газов: мокрый и сухой. Мокрый способ очистки снижает эффективность использования ДГ в качестве вторичного энергетического ресурса. Также из-за насыщения ДГ водяными парами снижается его теплота сгорания, а физическое тепло полностью теряется с водяным паром. Более совершенным является сухой способ очистки газа. В качестве сухого способа очистки на современных доменных печах применяются электрофильтры и рукавные фильтры.

Установка для электрической очистки газов включает в себя электрофильтр и агрегат питания. Запыленный газ поступает в электрофильтр, на электроды которого подается высокое напряжение, между электродами возникает коронный разряд, в результате чего происходит заполнение межэлектродного пространства отрицательно заряженными ионами газа, которые под действием электрического поля движутся от коронирующих электродов к осадительным. Встряхивания электродов происходит ударно-импульсным способом.

Установка рукавного фильтра представляет собой металлический корпус, внутри которого размещаются фильтрующие элементы, состоящие из тканевых рукавов, одетых на металлические проволочные каркасы. В качестве фильтровального материала выбираются ткани с повышенной жаростойкостью, износостойкостью, прочностью на излом и др. Для регенерации фильтрующих элементов используется импульсная продувка сжатым воздухом через быстродействующие продувочные клапаны. Работа установки полностью автоматизирована.

Таким образом, способ сухой очистки доменного газа позволяет вывести из эксплуатации оборудование для мокрой очистки газа, сократить нагрузку на шламонакопители, отстойники и др., повысить эффективность использования газа в доменном процессе, улучшить экологическое состояние окружающей среды.

---

<sup>29</sup>Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТПиМТ Кочура В.В.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ГАЗОВ

Сторожина К.Е. (ЕКМ-12с)<sup>30</sup>

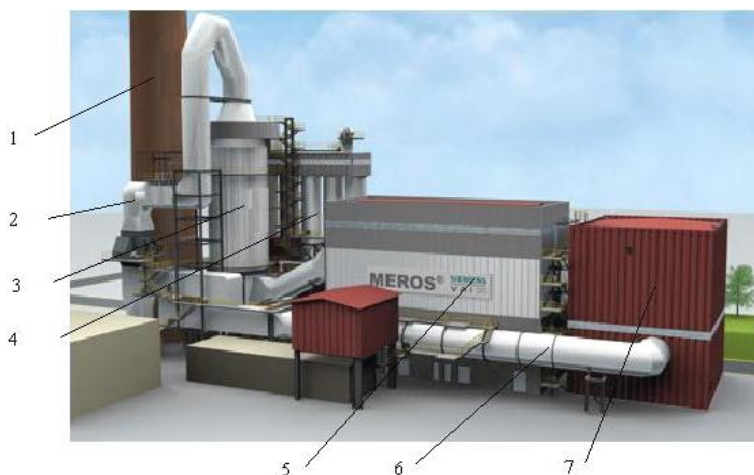
Донецкий национальный технический университет

Агломерационные фабрики занимают одно из ведущих мест в загрязнении воздушного бассейна промышленных регионов Украины. Характерным для большинства аглофабрик является отсутствие современных газоочистных и пылеулавливающих аппаратов, оборудования для нейтрализации токсичных газов и аспирации мест пылевыделения.

Современной технологией сокращения объема вредных выбросов, применимой для условий аглофабрик Украины, является технология SIMETAL MEROS (Maximized Emission Reduction Of Sintering) (рисунок). Эта технология позволяет достигнуть содержания пыли в очищенном газе менее  $5 \text{ мг/м}^3$ , и снизить выделение сернистых соединений на 80% - 90%.

В процессе Meros адсорбенты и десульфурierende реагенты впрыскиваются в поток отходящих агломерационных газов для связывания тяжелых металлов, органических соединений, диоксида серы и других сернистых газов. Далее поток поступает в кондиционирующий реактор, где газы увлажняются и охлаждаются. Частицы пыли оседают в рукавном фильтре.

Основным направлением рационального использования уловленной железосодержащей пыли является утилизация ее в качестве добавки к агломерационной шихте. Этапы решения этой задачи – сбор, транспортировка, совместная подготовка пыли с другими железосодержащими отходами.



- 1 – дымовая труба;
- 2 – подача адсорбентов и десульфурierende веществ;
- 3 – кондиционирующий реактор;
- 4 – бункера побочных продуктов;
- 5 – рукавный фильтр;
- 6 – трубопровод очищенного газа;
- 7 – вентилятор

Рисунок - Общий вид системы MEROS

Таким образом, одним из путей повышения экологической безопасности агломерационного производства является внедрение современных природоохранных технологий и оборудования для очистки выбросов и утилизации уловленных побочных продуктов.

<sup>30</sup> Руководитель – ассистент кафедры РТПиМТ Асламова Я.Ю.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Сафонова М. Ю. (ЭКМ-12м) \*

Донецкий национальный технический университет

Техническим перевооружением сталеплавильного производства предусматривается замена морально устаревшего мартеновского производства стали на современное электросталеплавильное производство с эффективной газоочисткой, внепечной обработкой и непрерывной разливкой стали. Для повышения безопасности сталеплавильного производства на всех основных участках предусматривается выполнение следующих мероприятий.

### 1. Дуговая сталеплавильная печь

Вводимая в эксплуатацию электропечь ДСП-150 с системой подачи жидкого чугуна является одной из самых совершенных с технологической точки зрения.

Технология получения стали в дуговой печи способствует уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу за счет следующих технологических особенностей:

- сокращения процесса плавления за счет использования жидкого чугуна;
- сокращения процессов доводки и рафинирования, благодаря переносу операций рафинирования в «печь-ковш»;
- конструкция печи с эркерным выпуском металла позволяет проводить плавку стали «на болоте»;
- вдувание углеродсодержащих порошков в ванну вспенивает шлак и сокращает расход электродов;
- большее количество серы остается в шлаке, который при выпуске стали «отсекается» и не идет на установку «печь-ковш».

Для ведения оптимального технологического процесса плавки в электропечи предусматривается автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП). При этом будут обеспечены оптимальные расходы и соотношения кислорода и природного газа, позволяющие значительно снизить энергоемкость продукции и выбросы окислов азота в атмосферу.

Чтобы снизить подсос воздуха в плавильном пространстве электропечи под сводом поддерживается нулевое давление газов клапаном, установленным на тракте удаления газов (организованный выброс) через четвертое отверстие в своде. Снижение подсосов воздуха обуславливает значительное уменьшение выделения оксидов азота из электропечи. Удельные выбросы оксидов азота при электросталеплавильном производстве стали составляют 270 г/т выплаваемой стали, при мартеновском производстве – 1000 – 3000 г/т.

---

\* Руководитель – снс., доцент Перистый М.М.

Для уменьшения пиковых выбросов (г/с) вредных веществ в атмосферу при продувке ванны печи кислородом циклы продувки ДСП-150 рассредоточиваются во времени.

## 2. Установка внепечной обработки стали «печь-ковш»

«Печь-ковш» в своем составе имеет водоохлаждаемую крышку с системой отвода газовой смеси. Что позволяет уменьшить количество выбросов отходящих газов.

Отсутствие подсоса воздуха в сочетании с продувкой жидкого металла инертным газом (аргоном) уменьшает образование диоксида азота, оксида углерода и других примесей.

## 3. Установка непрерывной разливки стали (МНЛЗ).

Исключение разливки жидкого металла в изложницы, также ведет за собой уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу цеха, а также при нагреве слитков в колодцах.

При разливке стали на МНЛЗ предусматриваются следующие мероприятия по защите атмосферы:

- накрывание сталеразливочного ковша крышкой;
- разливка стали ведется с защитой струи металла от вторичного окисления по пути сталеразливочный ковш - промежуточный ковш - кристаллизатор, с применением защитных погружных стаканов и огнеупорной трубы;
- разливка ведется «под уровень», что снижает попадание оксидов металла в атмосферу;
- вторичное охлаждение заготовки происходит в закрытой камере, из которой производится отсос пара.

Снижение вредных выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  и оксида углерода  $\text{CO}$  при сушке сталеразливочных и промежуточных ковшей достигается за счет следующих мероприятий:

- а) сокращения расхода природного газа за счет установки ковша на разогрев с температурой футеровки не ниже  $850^\circ\text{C}$ ;
- б) сокращения расхода газа за счет сокращения потерь тепла через кладку в окружающую среду;
- в) применение совершенных горелок типа ГНД-100, которые обеспечивают полное сжигание газа;
- г) применение автоматического регулирования соотношения «газ-воздух», что позволяет сжигать газ с оптимальным расходом воздуха и, следовательно, снизить образование  $\text{NO}_x$ ;
- д) в миксерном отделении предусматривается подавление пыли азотом при сливе чугуна из миксера, что уменьшит пылевыведение через аэрационный фонарь.

Таким образом, все вышеперечисленные мероприятия обеспечивают экологическую безопасность атмосферного воздуха в селитебной зоне.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБЕСЦИНКОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Яковлева Ю.С. (ЭКМ-12с,ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Стальной лом является охладителем конвертерной плавки, и по условиям теплового баланса его расход без принятия специальных мер не может превышать 25-27 % от массы металлической шихты. В то же время увеличение доли лома в шихте, т.е. замена им части жидкого чугуна, считается важной с точки зрения экономики задачей, поскольку чугун дороже лома и снижение его расхода позволяет обойтись без расширения производственных мощностей по добыче и подготовке руд, производству кокса, выплавке чугуна. Так, предварительный нагрев металлического лома позволяет уменьшить расход чугуна и значительно увеличить расход перерабатываемого лома (50-70%). Кроме того, этот термический способ подготовки металлического скрапа дает возможность извлечь из лома такие вредные примеси, как цинк, поскольку он имеет низкую температуру плавления ( $409,5^{\circ}\text{C}$ ) и испарения ( $917^{\circ}\text{C}$ ).

Исследованию вредного влияния цинка на доменный процесс и на состояние печей, источника и пути поступления его в доменную печь были посвящены множество исследований и монографий, начиная еще с прошлого столетия. На данный момент в той или иной степени разработаны несколько способов термического обесцинкования лома, которые заключаются в предварительном нагреве металлического лома, как в конвертере, так и перед подачей лома в него с помощью специальных устройств.

Существует несколько методик нагрева лома в конвертере с использованием различных материалов для увеличения теплоты процесса, однако особенности кислородно-конвертерного производства не позволяют организовать высокий уровень обесцинкования металлического лома. Также возможен предварительный подогрев лома вне конвертера в простых устройствах (совках и ковшах). Этот способ сочетает умеренные капитальные затраты и довольно высокую степень извлечения цинка из лома, хотя имеет ряд своих недостатков. Наивысшая степень извлечения цинка достигается подогревом лома в специальных внепечных установках, которые, однако, требуют значительных капитальных вложений на начальном этапе (приобретения соответствующего оборудования и вспомогательных устройств), но зато позволяют в дальнейшем обеспечить заметный не только экономический, но и экологический эффект.

Анализ и сравнение преимуществ и недостатков основных термических способов извлечения цинка из лома представлены в виде таблицы, исходя из результатов которой, можно сделать вывод, что наиболее эффективным и экономически целесообразным является подогрев лома вне конвертера в простых устройствах.

---

\* Руководитель – старший преподаватель кафедры РТП и МТ Кравченко А.В.

Таблица – Сравнение термических способов обесцинкования металлолома конвертера

Критерий реализации и эффективности	Термические способы обесцинкования металлолома			
	Нагрев в полости агрегата	Подогрев в газоотводящем тракте	Нагрев вне конвертера	
			в простых устройствах	в автономных установках
Степень извлечения цинка	низкая	средняя	выше средней	выше средней
Потребление ресурсов	Дешевые сорта угля и других углеродсодержащих материалов в кусковом и порошковом виде, кислород, отходы производства кокса	Природный газ, ОКГ*	Природный газ, жидкое топливо, ОКГ, дешевые сорта угля	Природный газ, жидкое топливо, ОКГ, дешевые сорта угля
Оборудование	Небольшие устройства в зависимости от выбранной методики (например, газовые горелки)	Одна или несколько нагревательных камер, 2 отдельных газоочистки с ответствующими коммуникациями	Модернизированные совки и ковши, нагревательная печь, газоочистная установка, устройства для подачи ОКГ	Автономная установка подогрева шихты, газоочистная установка, транспортирующие средства, устройства для подачи ОКГ
Капиталовложения	низкие	высокие	средние	высокие
Другие характеристики	Вынос цинка и других примесей из горловины конвертера	Характерны высокие затраты из-за разделения отходящего газа на потоки для выделения цинка и соответственно сложность оборудования	Исключает изменение общепринятой схемы подачи лома в конвертер и потерю времени, связанную с загрузочными операциями, а также расходы на дополнительное специальное оборудование	Большие грузопотоки в цехе и громоздкими погрузо-разгрузочными операциями при обслуживании подогревателей
Обобщение	Удобно и малозатратно, но обесцинкование лома организовать крайне сложно	Не нуждается в дополнительной площади и удобно использовать ОКГ, однако нужны значительные капиталовложения в сложную газоочистную систему, предусмотренную по технологии	Является лучшим вариантом по выбранным критериям, но лом удастся нагреть только до 500-600°C или же требуется сооружение специальных более совершенных устройств	Установка может быть простой, компактной, удобной в обслуживании и не требовать высоких эксплуатационных затрат, однако все же занимает некую часть площади цеха и обязательны капитальные затраты на оборудование

\*Отходящий конвертерный газ, т.е. дожигание отходящих газов в конвертере с использованием выделяющегося тепла на процесс.

Существенным недостатком всех способов обесцинкования металлического лома может считаться достаточно большой расход энергии и топлива (в большинстве случаев, природного газа). Однако для снижения этих затрат разработаны различные ресурсо- и энергосберегающие схемы модернизации установок для нагрева лома. Непосредственно в сталеплавильном производстве заманчивой является возможность использования физического тепла отходящих газов конвертера для предварительного подогрева шихты (прежде всего металлического лома).

Примером агрегата, в котором для нагрева металлического лома успешно используется тепло отходящих газов, является конвертер (печь) EOF (от английского EOF- Energy Optimizing Furnace). Конвертеры EOF емкостью 30-100 т имеют производительность 200 - 600 тыс. т в год. Доля лома в металлической шихте составляет 50 - 70%. В опытно-промышленных условиях опробована работа на 100% металлического лома в завалке.

При эксплуатации конвертера EOF возможна организация процесса обесцинкования металлического лома путем восстановления с его поверхности цинка с перспективой дальнейшего использования в цветной металлургии.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОГО ЛОМА ЖЕЛЕЗОРУДНЫМ СЫРЬЕМ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРАХ

Макарова Е.А. (ЭКМ-12м)\*

Донецкий национальный технический университет

Современный кислородно-конвертерный процесс, получивший широкое распространение в мире благодаря технологическим возможностям, является в настоящее время ведущим сталеплавильным процессом. Причем в последние годы, по многочисленным сведениям, несмотря на кризисные явления в мировой металлургии, доля конвертерной стали стабилизировалась и сохраняется на уровне 70-75 % общего объема выплавляемого металла.

В Украине доля производства конвертерной стали постоянно увеличивается и в 2010 году составила 52% от общей выплавки стали.

Наличие запасов руды и кокса, широкое развитие доменного производства подтверждает, что конвертерный передел в Украине имеет хорошие перспективы для развития.

В то же время, несмотря на наличие предпосылок для развития данного сталеплавильного процесса, увеличение масштабов применения непрерывной разливки стали влечет за собой постепенное сокращение количества прокатной обрезки. Кроме того, ухудшается и по прогнозам будет продолжаться ухудшаться положение с покупным скрапом при одновременном снижении его качества и увеличении загрязненности вредными примесями.

Таким образом, проблема дефицита стального лома на сегодняшний день является актуальной. В сложившихся условиях ее решение возможно при совершенствовании традиционного состава и технологического режима формирования металлошихты - этапов определяющих ход и результаты конвертерного процесса, с использованием альтернативных материалов на основе первородного сырья, с высокими физическими характеристиками взамен металлического лома. К классу этих материалов для компенсации теплового баланса плавки относятся такие охладители как: твердый чугун, железная руда, железо прямого восстановления, горячебрикетированное железо и др.

Железная руда как охладитель применяется сравнительно редко. При использовании руды избыточное тепло расходуется на ее нагрев и восстановление железа из окислов; восстановленное железо несколько повышает выход годной стали. Охлаждающее воздействие руды в 3,0-3,8 раза выше охлаждающего воздействия равного количества лома; расход руды доходит до 8 %.

---

\* Руководитель – с.н.с., к.т.н. Перистый М.М.

По сравнению с ломом руда как охладитель имеет несколько преимуществ: она обеспечивает охлаждение высокотемпературной подфурменной зоны; для загрузки руды не требуется останавливать продувку; содержащиеся в руде окислы железа ускоряют растворение в шлаке извести, тем самым, ускоряя шлакообразование; наличие кислорода в руде снижает (на 10-15 %) расход газообразного кислорода. Но наряду с преимуществами имеется ряд недостатков руды. Она вносит в шлак много  $\text{SiO}_2$ , в связи, с чем возрастает расход извести и количество шлака, что обычно вызывает уменьшение выхода годного. Кроме того, при большом расходе руды на плавку (> 5-6 %) и ее введении одной порцией возрастает количество выбросов и снижается выход годного металла.

Применение в качестве охладителей агломерата и окатышей оказывает такое же охлаждающее действие как и железная руда.

При использовании в качестве охладителей известняка и доломита тепло расходуется на разложение содержания в них  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Охлаждающая способность доломита и известняка близки к охлаждающей способности руды. Редкое использование этих охладителей связано с тем, что они не увеличивают выход годного металла.

В соответствии с тем, что все выше перечисленные альтернативные варианты охладителей имеют ряд недостатков, возник интерес к металлизированному сырью как возможному охладителю в кислородно-конвертерном процессе.

Что касается мировой практики, то исследования по изучению особенностей и эффективности применения металлизированного сырья в кислородно-конвертерном производстве были проведены в основном в Германии и Англии. Наиболее полные и всесторонние исследования были проведены фирмой «Август Тиссен» с использованием в качестве охладителя 70 тыс. т металлизированного сырья, полученного на установке Пурофер в Оберхаузене из окатышей и кусковой руды с последующим брикетированием и без него.

В Украине тоже существует практика применения металлизированного сырья. На ОАО «Алчевский металлургический комбинат» опробована замена стального скрапа горячебрикетированным железом (ГБЖ), произведенным на Лебединском ГОКе. Исходным сырьем для получения ГБЖ являются офлюсованные окатыши с массовой долей железа более 66,5 %, получаемые из железорудного концентрата. В основе производства металлизированных брикетов лежат процессы прямого восстановления железа по технологиям MIDREX и HYL-III в шахтных восстановительных печах ОАО «Лебединский ГОК» мощностью 2,4 млн. т брикетов в год.

Опытные плавки с заменой стального скрапа на ГБЖ проведены в кислородно-конвертерном цехе ОАО «АМК», который имеет в своем составе 2 конвертера комбинированного дутья садкой 300 т каждый, двухпозиционную установку «ковш-печь» и две слябовые двухручьевые машины непрерывного литья заготовок.



# РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ ММК ИМ. ИЛЬИЧА

Шишлова С.С. (ЭКМ-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

Отходы на агломерационной фабрике ММК им. Ильича образуются на всех стадиях технологического процесса. Основными видами отходов являются агломерационная пыль и шлам при большом расходе технической воды.

Предлагаемая технология, предусматривает подготовку образующихся отходов по следующей цепочке: "классификация – осветление – сгущение – увлажнение сухих железосодержащих отходов".

Шламы скрубберов технологической очистки агломерационных газов, вентиляционных систем вспомогательных отделений и смывов производственных помещений агломерационной фабрики предусматривается после осветления в радиальных отстойниках направлять в корпус обезвоживания и подготовки шламов к утилизации. Слив радиальных отстойников будет возвращаться в оборотный цикл водоснабжения и использоваться в мокрых газоочистных аппаратах, для гидроуборки помещений и для других производственных нужд.

Шламы смывов производственных помещений агломерационной фабрики, содержащие крупные частицы, предусматривается направлять на классификацию сначала в гидроциклоны, а потом в спиральные классификаторы. Пески гидроциклонов и спиральных классификаторов конвейерами подаются на линию возврата и направляются на рудный двор для утилизации.

Осадок отстойников будет поступать в радиальные сгустители, после чего сгущенная пульпа будет подаваться для увлажнения сухих железосодержащих отходов и охлаждения возврата.

Для сокращения объемов используемой в производстве воды предусматривается заменить гидротранспорт пыли из пылевых мешков коллекторов и батарейных циклонов на сухую выгрузку пыли - применение специальных смесителей-увлажнителей пыли, которые позволяют получить непылящий, гомогенный продукт с заданной влажностью. Из смесителя смесь влажностью 8-10 % по существующему конвейерному тракту будет поступать на рудный двор агломерационной фабрики.

Применение радиальных отстойников для осветления шламовых вод, позволяет повысить эффективность очистки вод от взвешенных веществ, что способствует полному использованию очищенных сточных вод в обороте.

---

\* Руководитель – старший преподаватель кафедры РТП и МТ Падалко С.И.

## **СЖИГАНИЯ УГЛЯ В ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ (ЦКС) ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ - НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ТЭС УКРАИНЫ**

Костенко Э.Л. (ЭКМ-12с,ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Мировые запасы угля в несколько раз превышают существующие запасы нефти и природного газа. Существующие тенденции развития мировой энергетики говорят о возрастании роли угля в качестве сырья для производства электроэнергии и тепла и ценного энергоресурса, пригодного для комплексного энерготехнологического использования. Данная ситуация во многом справедлива и для топливно-энергетического комплекса Украины, где уголь – главный источник энергоресурсов.

Возрастающая роль угля в энергетическом балансе приводит к необходимости совершенствования существующих методов его переработки, а также разработке новых энерготехнологий. При этом они должны обеспечить не только высокие технологические показатели процесса, но также соблюдение жестких экологических стандартов на выбросы вредных веществ.

По этапу, на котором осуществляется воздействие на топливо и получаемые продукты переработки, различают:

1) технологии предварительной подготовки сырья, где его переработка осуществляется до момента использования в процессе сжигания или газификации;

2) чистые технологии сжигания и газификации угля. В них высокие экологические и технологические показатели достигаются в самом процессе переработки топлива;

3) технологии обработки продуктов, образующихся в ходе термохимической переработки топлива.

Широкое внедрение в последнее десятилетие технологий сжигания угля в кипящем слое (КС) обусловлено как высокими технологическими, так экологическими показателями работы энергоблоков, созданными на их основе. Применение энергоблоков с КС позволяет значительно снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду без построения дорогих систем серо- и азотоочистки, а также эффективно перерабатывать разнообразные топлива: от лигнитов до антрацитов, промышленные и сельскохозяйственные отходы, а также отходы угледобычи и углеобогащения, в том числе низкорекреационные, с высоким содержанием золы и серы. Сжигание в КС происходит при низких температурах (860–890 °С); ему характерны высокие коэффициенты теплоотдачи; равномерное распределение температур по слою; термическая инерционность и стабильность. Все это отличает КС технологию от традиционного высокотемпературного факельного сжигания.

---

\* Руководитель – профессор, декан ФТФ, Клягин Г.С.

Совершенствование КС-технологии привело к разработке и растущему промышленному внедрению энергоблоков с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) при атмосферном давлении. В ЦКС-котлах происходит многократная внутренняя и внешняя (благодаря циклонам) циркуляция топливных частиц, что обеспечивает их высокую степень конверсии, проходящую во всем объеме топочной камеры (нижней части слоя и надслоевом пространстве). ЦКС-энергоблоки могут иметь большую единичную электрическую мощность (до 300–460 МВт); обладают широким диапазоном регулирования нагрузки (40–110%); горение идет при меньшем избытке воздуха, а связывание оксидов серы – при меньшей доле известняка. Возможна ступенчатая подача воздуха в топку для уменьшения выбросов оксидов азота. Одно из основных преимуществ ЦКС энергоблоков связано с возможностью эффективного сжигания низкорекреационных высокосолевых (до 55–60%) топлив при соблюдении жестких экологических норм. Сжигание угля в циркулирующем кипящем слое под давлением (ЦКСД) - технология сжигания угля в ЦКСД обладает улучшенными техническими и экологическими показателями работы энергоблоков.

В настоящее время технологии сжигания угля в ЦКСД находятся на этапе проверки на экспериментальных стендах, а также проектирования и строительства промышленных энергоблоков электрической мощностью 50-100 МВт. ЦКСД энергоблоки имеют высокий КПД (44–46%) и малые габаритные размеры, что позволяет проводить реконструкцию пылеугольных блоков ЦКСД блоками на тех же площадях.

К преимуществам ЦКСД следует отнести: высокую степень конверсии углерода (более 99%) в донной и летучей золе; широкий диапазон изменения нагрузки (30–100%) за счет разделения зон горения и теплообмена без использования подсветки и ухудшения технологических показателей; низкие выбросы оксидов серы и азота (менее 150 мг/нм<sup>3</sup>); уменьшение NO<sub>x</sub> за счет многоступенчатого ввода воздуха и его меньших коэффициентах избытка; высокую степень связывания серы (более 95%) сорбентом при меньших его расходах и отношении Ca/S=1,6-1,8; стабильную температуру дымовых газов на входе газовой турбины независимо от изменения нагрузки блока и др.

Трудности дальнейшего развития ЦКСД в основном связаны с отсутствием на данный момент надежной одностадийной системы очистки горячих газов, а также низким уровнем температур (870–890 °С) на входе в газовую турбину.

Разработка и внедрение новых энергетических технологий призваны решить такие крайне важные для энергетики Украины проблемы, как улучшение технико-экономических показателей работы ТЭС; обеспечение возможности сжигания высокосолевых местных энергетических углей; улучшение экологической ситуации в Украине за счет уменьшения вредных выбросов (пыль, оксиды серы и азота); рациональное использования природного газа и мазута; замена устаревших энергоблоков на имеющихся площадях ТЭС без строительства новых; создание собственного котельного производства.

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Шелест Д. И. (ЭKM-12с)\*

Донецкий национальный технический университет

На сегодня выделяют три основных способа окучкования в металлургии – это агломерация, окатывание и брикетирование. Железосодержащие шламы металлургического производства должны утилизироваться, как правило, в самом металлургическом производстве. Обязательным условием успешной утилизации является снижение их влажности, что обеспечит необходимую их транспортабельность и возможность качественного перемешивания с другими шихтовыми материалами.

Технология обезвоживания жидкотекучих железосодержащих шламов обычно состоит из процессов классификации, сгущения, фильтрования, сушки или смешивания с сухими известь или железосодержащими отходами. Условно можно выделить 3 типа технологических схем для обезвоживания шламов:

Полидисперсные характеризуются наличием узлов классификации и часто имеют отдельные фильтровальные аппараты для фракций различной крупности. Монодисперсные схемы средней крупности характеризуются применением вакуум-фильтров без разделения шлама на фракции. Высокодисперсные схемы применяются в основном для обезвоживания мартеновских или сталеплавильных шламов основаны на применении фильтр-прессов.

Технология подготовки жидкотекучих железосодержащих шламов определяется действующей на предприятии технологии и перспективой развития основного производства. На рисунке приведена обобщенная схема подготовки железосодержащих шламов к утилизации.

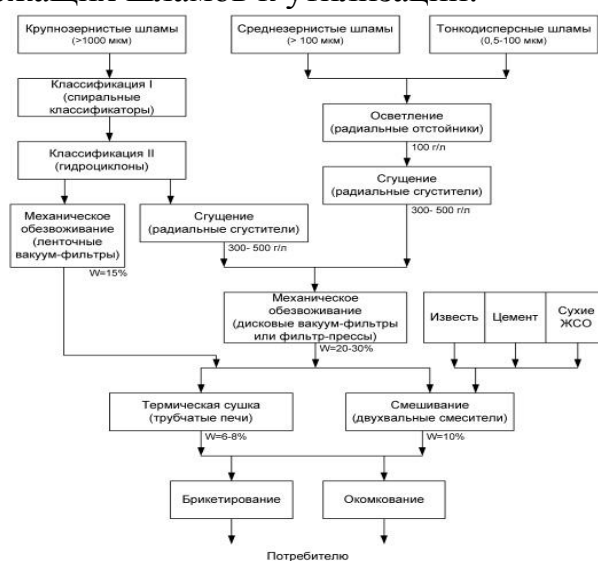


Рисунок – Возможные варианты подготовки железосодержащих шламов к утилизации

\*Руководитель – доц., к.т.н. Кочура В.В.

## ОБ ЭКОЛОГИЗАЦИИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Джамирзаева А. А. (ЭКМ-12мф)<sup>33</sup>  
Донецкий национальный технический университет

В металлургических регионах Украины коксохимическое производство наряду с агломерационным, доменным и сталеплавильным создает кризисную экологическую ситуацию. В технологических, аспирационных газах и атмосферном воздухе определяют концентрации 7 – 10 вредных веществ. К ним относятся: сероводород, сернистый ангидрид, окись углерода, фенолы, аммиак, нафталин, сероуглерод, бензапирен, сажистый углерод, цианистый водород, пыль. Вредные выбросы характеризуются не только большим разнообразием, но и высокой токсичностью и специфическим удушающим запахом.

Коренная модернизация оборудования и технологических процессов на всех стадиях коксохимического производства (подготовка, загрузка, коксование углей, выдача, охлаждение и сортировка кокса) обеспечивает снижение токсичных выбросов, сбросов, уменьшение накопления зловонных отходов.

Современный технический уровень оснащения коксовых батарей устройствами бездымной загрузки шихты, улавливания и обезвреживания газопылевых выбросов, сопровождающих выгрузку кокса, его транспортировку, сухое тушение и механическую обработку, позволяет уменьшить удельные газопылевые выбросы на 5,44 кг/т кокса. Применение известных устройств и способов сокращения выбросов вредных веществ является, по сути, основным направлением экологизации коксохимического производства.

Однако, повышение качества кокса также открывает большие возможности по уменьшению загрязненности окружающей среды. При использовании в доменной плавке более качественного кокса значительно уменьшается потребность в нем, а следовательно, появляется возможность вывода из эксплуатации изношенных коксовых батарей с естественным снижением производства кокса и убылью сопряженных с ним выбросов, сбросов и твердых отходов.

Возможное улучшение качества кокса по основным показателям (снижение содержания золы – на 1-1,5 %, серы – на 0,3-0,5 %, летучих – на 0,3-0,5 %, показателей прочности и реакционной способности – на 15-20 %) создает условия для дополнительного сокращения потребления, а следовательно, и уменьшения производства кокса в масштабах Украины на 1120 тыс т. в год (35 кг/т чугуна).

В полном соответствии с этим абсолютное количество выбросов сокращается на 7073,6 т/год, а количество токсичных веществ в составе загрязнённых стоков уменьшается на 3282,8 т/год.

---

<sup>33</sup> Руководитель – к. т. н., профессор кафедры «РТП и МТ» Мищенко И. М.

Многие новые процессы производства кокса, пока еще не имеющие широкого применения, также могут улучшить в будущем экологическую ситуацию в подотрасли.

Так, подогрев и сушка угольной шихты до 140-200°C с помощью газообразного или твердого (раскаленный кокс) теплоносителя сопровождается улучшением качества кокса по прочности, гранулометрическому составу, содержанию серы; обеспечивают повышение производительности батарей на 25-40% и уменьшение расхода тепла на 10-20%.

Наличие в угольной шихте 65-70 % углей основных спекающихся марок Ж и К во многом определяет высокую механическую прочность кокса. В настоящее время сырьевая база коксования претерпевает существенные изменения, и количество хорошо спекающихся углей К, Ж и ОС в шихте неуклонно снижается.

В этих условиях весьма актуально использование технологии производства кокса с применением метода уплотнения (трамбования) угольной шихты перед загрузкой ее в печную камеру. Трамбование шихты – путь к расширению сырьевой базы коксования (за счет включения в шихту недефицитных, слабоспекающихся углей), увеличению плотности шихты от обычных 750 до 1150 кг/м<sup>3</sup>, повышению прочности кокса и производительности коксовых батарей на 10-15%.

Вывод из эксплуатации и возведение на месте старых морально и физически устаревших коксовых батарей новых современных с комплексом новых природоохранных процессов является важнейшим мероприятием, выполнение которого обеспечит значительное снижение выбросов в атмосферу.

В Украине технология трамбования угольной шихты была впервые внедрена и освоена на Алчевском коксохимическом заводе на двух мощных коксовых батареях, введенных в работу в 1993 и 2006 гг. Сооружение мощных коксовых батарей осуществлено на месте выведенных из эксплуатации четырех физически и морально устаревших коксовых батарей мощностью по 490 тыс. т каждая. Это способствовало не только обновлению печного фонда ОАО «Алчевсккокс», но и сокращению количества вредных выбросов в окружающую среду. Также применение технологии трамбования при производстве кокса позволяет заводу в реальных условиях сэкономить приблизительно 32 % хорошо спекающихся углей.

Таким образом, примечательной является тенденция развития коксового и доменного производств, согласно которой значительное улучшение качества кокса трактуется как возможности: сокращения потребления и производства кокса; сноса изношенных, устаревших коксовых батарей; постепенной их замены на более мощные, современные батареи; и, что особенно важно, - сокращения крайне токсичных вредных выбросов и отходов, связанных с производством кокса.

## МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Дехтяр О.В. (ЭКМ-12фм)\*

Донецкий национальный технический университет

Черная металлургия относится к наиболее крупным потребителям воды. Металлургические заводы занимают второе место после предприятий теплоэнергетики и потребляют до 20% общего водопотребления всех отраслей промышленности страны (предприятия теплоэнергетики - 25%).

На ежегодном докладе «О состоянии окружающей природной среды» (г. Донецк) неоднократно в течении последних лет звучит информация о том, что приоритетными направлениями развития в области оптимизации водопользования является внедрение технологий высококачественной очистки воды на металлургических предприятиях с последующим ее использованием в замкнутых системах водоснабжения, обеспечение внедрения на производстве передовых маловодных и безсточных технологий и систем повторного использования сточных вод, осуществление повсеместного перехода на замкнутые системы водоснабжения технологических процессов. Следует отметить, что Донецкая область является одним из самых малообеспеченных пресной водой регионов Украины. Исторически сложилось так, что большие запасы полезных ископаемых в Донецком угольном бассейне способствовали бурному развитию промышленности и значительной концентрации населения в регионе. Сформировавшиеся за два столетия в области отрасли промышленности характеризуются значительным водопотреблением. Поэтому в регионе существует острая проблема загрязнения водных ресурсов и связанный с этим дефицит качественных пресных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности и других целей. Исходя из этого создание замкнутых циклов водоснабжения на предприятиях черной металлургии, как одного из главных потребителей и загрязнителей воды является важнейшей задачей в данной отрасли.

При организации замкнутых систем водоснабжения сточные воды в полном объеме возвращаются в оборот, но здесь имеет место некоторые потери воды - до 10-15 % потребляемой воды составляют безвозвратные потери, связанные с испарением и каплеуносом в системах замкнутого водоснабжения, приготовлением химически очищенной воды, потерями в технологических процессах и др. Обычно для восполнения этих потерь используется вода из природных источников, но поскольку в Донецком регионе этот вопрос имеет конкретные проблемы, то для решения этого вопроса можно предложить некоторые другие, альтернативные источники водоснабжения. Ими могут быть – шахтные воды, дождевой сток, морские воды, которые за рубежом уже

---

\* Руководитель – доцент, заведующий кафедры РТП и МТ Кочура В.В.

активно используются в качестве заменителя природной воды. Использование этих вод в замкнутых системах дает значительный экологический эффект, поскольку исключается и забор свежей воды из них.

Одним из основных путей сокращения расхода свежей технической воды до уровня неизбежных безвозвратных потерь является комплексное использование внутри предприятия и внедрение систем очистки и стабилизации воды, отвечающих требованиям производственной и экологической надежности.

Расход воды на технологические нужды металлургических заводов может быть сокращен за счет осуществления следующих мероприятий:

1) Внедрение «сухих» методов газоочистки позволяет сократить водопотребление на 15-20 %;

2) Применение каскадных и противоточных систем промывки металла;

3) Использование водовоздушной промывки металла в процессе прокатки и травления;

4) Расход воды, идущей на охлаждение металлургических агрегатов, может быть значительно сокращен за счет расширения объема внедрения испарительного охлаждения доменных, мартеновских и нагревательных печей

5) Создание систем замкнутого водоснабжения;

6) Последовательная передача избыточной или продувочной воды от потребителей с более высокими требованиями к качеству воды потребителям с более низкими требованиями;

7) Переход от локальных к централизованным системам водоснабжения групп цехов с идентичными требованиями к качеству воды (при этом происходит усреднение качества воды, что, как правило, способствует ее стабилизации и интенсификации процесса очистки);

8) Исключение воды из процессов грануляции шлака.

Интенсификация и повышение глубины очистки сточных вод с целью их повторного использования могут быть осуществлены за счет внедрения следующих технических приемов:

1) Оснащение отстойников тонкослойными модулями;

2) Применение флокулянтов для увеличения скорости осаждения взвеси;

3) Использование методов напорной флотации вместо простого отстаивания;

4) Внедрение методов доочистки с применением обычных кварцевых фильтров и натрийкатионирования с целью использования продувочных вод оборотных систем в качестве питательной воды для котлов среднего давления;

5) Применение в системах оборотного и замкнутого водоснабжения ингибиторов отложения минеральных солей и коррозии трубопроводов.



# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

1. Чернявский А.Ю. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ.....6
2. Синчук А.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ПАО «ЕМЗ».....7
3. Парахин И.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОКСА В ФУРМЕННОЙ ЗОНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ.....9
4. Парахин Р.А. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПОДГОТОВКА КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ.....11
5. Тука А.Ю. СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ.....13
6. Сальников С. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАЧИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ ПРИ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОРОШКА.....14

## 2.МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

1. Бужак Ю.В., Журавлева С.В. ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ (АКП).....16
2. Ганжа С.Е.ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВСПЕНИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ.....18
3. Жуков Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ НА УДАЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ.....20
4. Кондратов А.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....22
5. Приз А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ.....24
6. Осадчий А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ.....26
7. Филатов О.Ю. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВДУВАНИЯ АРГОНА В СТРУЮ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ.....28
8. Рябый Д.В., Лизун А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ОБРАЗОВАНИЯ ПОР В ТЕЛЕ ОГНЕУПОРА В ПРОЦЕССЕ ОТЖИГА.....30
9. Лизун А. Ю., Рябый Д.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА.....31

10. Лобунько М.И., Ожищенко А.А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....33
11. Ожищенко А.А., Лобунько М.И. ОТСЕЧКА ШЛАКА ПРИ НАКЛОНЕ КОНВЕРТОРА.....34
12. Сидоров К.А., Лобунько М.И. ФУРМА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ГАРНІСАЖУ.....35

### **3. ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ**

1. Грицюк А.А. РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ 22К ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ФЛЮСАМИ.....37
2. Поляк А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВОГО ПОДОВОГО ЭЛЕКТРОДА ДСППТ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ.....39
3. Лукошников А.І. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ НИЗЬКОСОРТНОГО ГУБЧАТОГО ТИТАНУ В ХЛОРИДНИХ ТИТАНОВМІСНИХ РОЗПЛАВАХ.....41
4. Татенко В. В. ПРОДУВКА СТАЛИ В КОВШЕ ЧЕРЕЗ L-ОБРАЗНУЮ ФУРМУ.....42

### **4. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

1. Одойко Ю.С. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ МЕТАЛЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ.....45
2. Шаламова О.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДНЫХ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ КОКИЛЬНЫМ ЛИТЬЕМ ИЗ ОТХОДОВ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.....47
3. Зверева Я. Ю. ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНЕВЫХ ШЛАКОВ.....49
4. Цепкова Л.Ю. ДИСЛОКАЦИИ – ЖЕЛАННЫЕ И ГОНИМЫЕ.....50
5. Ерофеев М.М. ПРЕВРАЩЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОВ.....51
6. Крупка О.Ю. ГАММА-НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗАТОР СОСТАВА СЫРЬЯ.....52
7. Кушнир В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОТЕРИ МЕДИ СО ШЛАКАМИ МЕТАЛЛУРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ.....53
8. Бура Ю.Н. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПРИБЫЛЕЙ ОТЛИВОК ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБОГРЕВА.....55

9. Сидоров К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ МЕДИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МПНЛЗ.....57
10. Карпов В.В. МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛИ 20ГЛ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВЫМИ КАРБОНАТАМИ.....58
11. Иванютина Н.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕСЧАНО-БЕНТОНИТОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....59
12. Сафонов А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ОБЪЕМ РЕАКТОРА СЕПАРАЦИИ ТИТАНОВОЙ ГУБКИ.....61
13. Москаленко Н.М. МЕТОДЫ РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....62
14. Маланяк Д.В. ОСОБЕННОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ.....63
15. Гончаров Р.В. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ ТЕТРАХЛОРИДА КРЕМНИЯ.....64
16. Глотко Н. А. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕЛЕНА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЕНИДА ЦИНКА.....65
17. Черкун С.И. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ.....66

#### **5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

1. Дворников С.В. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ МІДНИХ ПРОФІЛІВ З ЗАДАНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЗАВДЯКИ ЦИКЛІЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ .....68
2. Скороходов Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....70
3. Семенова В.Ю. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА ИЗ РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ МАРОК СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО СРЕДНЕСОРТНОГО СТАНА.....72
4. Савенко Є.С. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ НАГРІВУ ЗЛИВКІВ З МЕТОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТРАНЗИТНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ.....74
5. Захарченко С.А. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ В ПРОЦЕСАХ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ СТАЛІ.....75
6. Назаров Г. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ З'ЄДНАНЬ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМ-ПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ.....77

7. Кипко А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ МАРКИ 08КП ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ ПУТЕМ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА.....78
8. Яблуновский Н.Н. АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА УСЛОВИЙ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ЗАГОТОВОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЁС.....80
9. Воропаева С.О. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЖАТИЙ ПО ПРОХОДАМ ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ СЛЯБОВ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ КЛЕТИ.....82
10. Алексеенко С.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ПОЛОСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗГОННЫХ КАЛИБРОВ.....84
11. Мироненко А.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БЕСКАЛИБРОВОЙ ПРОКАТКИ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ.....85

## **6. ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

1. Пономаренко Д.В. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ.....87
2. Паршикова В.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДРОБИ КАК СРЕДЫ ДЛЯ БЕЙНИТИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ.....88
3. Ткач А.В. О ВЛИЯНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА СКЛОННОСТЬ К ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ.....89
4. Жук А.Н. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА РОСТ ЗЕРНА АУСТЕНИТА ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОВОЛОКИ.....90
5. Шульдешова А. В. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНОДИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА ТИТАНА.....91
6. Хачатуров А.А. ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ СТАЛИ 40Х.....92
7. Баирова И.И. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОБМАЗОК НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНОГО КАОЛИНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОКИСЛЕНИЯ И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ.....94
8. Пономарёва И. В. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА АУСТЕНИТА В ПОРОШКООБРАЗНОЙ СРЕДЕ ГРАФИТА.....95
9. Зозуля А.П. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШВЕЙНЫХ ИГЛ ИЗ ПРОВОЛОКИ ТОВАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....97

10. Пустовит А.С. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОКАТА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЁРДОСТЬ СТАЛИ 40Х ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ.....98
11. Сушко В.В., Мигачёва А.Е. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ НА УПРОЧНЯЕМОСТЬ СТАЛИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....100
12. Кривошея И. А ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ СЛИТКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭШКП ПРЯМЫХ ОТХОДОВ МЕХОБРАБОТКИ.....101
13. Бостанжи Е.Ю. АНАЛИЗ ОДНОРОДНОСТИ НЕПРЕРЫВНО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ВТОРИЧНОЙ БРОНЗЫ.....103
14. Жариков А. Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПУАНСОНОВ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ШТАМПА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....104
15. Мартыненко Ю.И. СТРОЕНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ХРОМИРОВАННОГО СЛОЯ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАЛЯХ.....105
16. Присич Д.И. МЕТОД ОЦЕНКИ КОРРОЗИОНО-АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ДЕРЖАВОК РЕЗЦОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ.....106
17. Бугаёва Т.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....107
18. Чалый А.В. ОЦИНКОВАНИЕ ПРОВОЛОКИ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.....108
19. Гнедаш Я.І. ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ Х70.....109
20. Стукало О.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА.....110
21. Олиферчук А.А. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ НА СВОЙСТВА ЛАТУНИ Л63 ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....111
22. Вислогузова Е.А. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ДИАМЕТРОМ 981ММ ИЗ СТАЛИ 70ХЗГНМФ.....113
23. Рыбакова Д.С., Паращевина А. В. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АРМИРОВАННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ПРИ ИХ СОЕДИНЕНИИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРУБОПРОВОДОВ.....115
24. Анищенко М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ В ПОТОКЕ ШАРОПРОКАТНОГО СТАНА.....116

25. Бондаренко Н.О., Пылева И.В. ВЛИЯНИЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ГШО.....117

## **7.ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

1. Набока К.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ ПЕЧЕЙ КОЛЕСОПРОКАТНОГО ЦЕХА.....119
2. Комиссарова Е. В. ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА ВОДОРОДА ИЗ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МЕЖФАЗНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ «ВАКУУМ-МЕТАЛЛ» ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ.....121
3. Заика А. А. ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОЙ РАБОТЫ РЕАКТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОГРАНИЧЕННОГО ЧИСЛА ДАТЧИКОВ.....123
4. Сибирцева Ю.С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА РАЗЛИЧНОГО СОРТАМЕНТА В МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ.....125
5. Ригунов Р.С. ТЕПЛОМАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАСКИСЛЕНИИ ЖИДКОЙ МЕДИ.....127
6. Моторина Т.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ФУРМЕННОЙ ЗОНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА (ПУТ).....128
7. Колесникова И.В. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА СЛЯБОВ ПОД ПРОКАТКУ В ЛИСТОПРОКАТНОМ ЦЕХЕ.....130
8. Черный С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА АЗОТА В ЖИДКОЙ ВАННЕ ПРИ ДЕАЗОТАЦИИ СТАЛИ КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ.....132
9. Сиряк Е. Е. ПЕРЕВОД БЛОКА №5 КУРАХОВСКОЙ ТЭС В ТЕПЛОФИКАЦИОННЫЙ РЕЖИМ.....133
10. Халаджи М. А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ.....134
11. Федотова Д.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА БКЗ-70.....135
12. Чиж В.В. РАЗВИТИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОПОРОШКОВЫХ СТРУЙ В МЕТАЛЛУРГИИ.....136
13. Усов А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА ОТ ОКИСЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ.....137

## 8. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. Григоренко Е.С. ПЕРСПЕКТИВА СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ ЦКС.....139
2. Стрельцов Р.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ДВУХБАРАБАННОГО КОТЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ.....141
3. Дремов А.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ КОНВЕРТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ.....143
4. Копейка Д.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ.....145
5. Коваленко А.А, Половина М.С. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСОСНОЙ ГРУППЫ ПРИ ПРОКАЧКЕ ВОДЫ ПРЕДПРИЯТИЕМ ПУВКХ ГОРОДА ДЗЕРЖИНСКА.....146
6. Вертела С.А. ПРОИЗВОДСТВО СИНТЕЗ-ГАЗА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ.....147
7. Петренко А.Ф. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ.....149
8. Половина М. С., Коваленко А. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОАО «РАЙАГРОТЕХНИКА».....151
9. Дужих С.А. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВИДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ТЭС.....152
10. Какуш О.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ.....154
11. Чаленко Д.С, Найденко О.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ШАХТНЫХ СТВОЛОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ТЕПЛА.....156
12. Соловьева И.Г. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОПЛИВА НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ.....157
13. Свистунова Е.А., Бардова О.С. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ЗДАНИЯ АМБУЛАТОРИИ №1 ДОНЕЦКОЙ ГОРОДСКОЙ БОЛЬНИЦЫ №7.....159
14. Бардова О.С., Свистунова Е.А. АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЭР ПРЕДПРИЯТИЕМ ЛОКОМОТИВНОЕ ДЕПО ГОРОДА КРАСНЫЙ ЛИМАН ДОНЕЦКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ.....160
15. Найденко О.А., Чаленко Д.С. ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МИКРОТУРБИН.....161

16. Сошенко В.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ.....	162
17. Силка Т.С. ВЛИЯНИЕ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕЕ ОХРАНЕ.....	164
18. Мезенцев Е.А. ПОВЫШЕНИЕ КПД КОТЕЛЬНОЙ ЗА СЧЕТ Понижения температуры уходящих газов.....	166
19. Васильев В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОСИФОНА С ИСПАРИТЕЛЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА.....	167
20. Тараненко А.Ю. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СУШКА УВЛАЖНЕННОГО ТОПЛИВА В СИСТЕМАХ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ.....	169
21. Магера Ю.М. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПЛОТНЫХ ТОПОК В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ НИЗКОРЕАКЦИОННЫЙ УГОЛЬ.....	171
22. Кучерова А.М. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ЧИЛЛЕР-ФАНКОЙЛ.....	173
23. Чуб А.С. ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ – ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ.....	174
24. Абрамян М. Х., Стольная Ю. А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В КОТЛАХ ТГМ-159/СО.....	175
25. Ермоленко Г. Н., Хоменко С. Г. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛА С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ КОТЕЛЬНОЙ КВАРТАЛА 287 КИЕВСКОГО ТЕПЛООВОГО РАЙОНА.....	176
26. Стольная Ю. А., Абрамян М. Х. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ ОШ №15 ПО УЛ. ПОТЁМКИНА В Г. ЕНАКИЕВО.....	177
27. Наконечная М.С. ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОТОПЛЕНИИ.....	178

## **9. ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ**

1. Хребтова О. Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	181
2. Гетманец Л.Л. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ФЕНОЛВМІЩУЮЧИХ СТІЧНИХ ВОД ТА УСТАНОВКА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ.....	182
3. Голенищева О. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ЯК СПОСОБУ ПРИГНІЧЕННЯ УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЕННІ ГАЗОВОГО ПАЛИВА.....	184



4. Рябоконт А. Г. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ТРАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛЕВОГО ДРОТУ.....186
5. Гунько І.М. О МОЖЛИВИХ ВТРАТАХ  $V_2O_5$  ПРИ ОКИСНОМУ ВИПАЛІ ВАПНОВАНОГО КЕКУ.....187
6. Волокита Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СОРБЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....189
7. Ктиторов В.В. ПРОБЛЕМА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭС.....190
8. Легостаева А. А. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....192
9. Каштальян Г.В.СУХАЯ ОЧИСТКА ДОМЕННОГО ГАЗА.....193
- 10.Сторожина К.Е. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ГАЗОВ.....194
- 11.Сафонова М. Ю. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ.....195
- 12.Яковлева Ю.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБЕСЦИНКОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ.....197
- 13.Макарова Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОГО ЛОМА ЖЕЛЕЗОРУДНЫМ СЫРЬЕМ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРАХ.....199
- 14.Шишлова С.С. РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ ММК ИМ. ИЛЬИЧА.....201
- 15.Костенко Э.Л. СЖИГАНИЯ УГЛЯ В ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ (ЦКС) ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ - НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ТЭС УКРАИНЫ.....202
16. Шелест Д. И. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ.....204
- 17.Джамирзаева А. А. ОБ ЭКОЛОГИЗАЦИИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....205
18. Дехтяр О.В. МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....208