

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"**



**ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Посвящается 90-летию Донецкого национального технического  
университета**

**ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ**

**МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ**

**ДОНЕЦК - 2011**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА 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 - 2011**

УДК 669.18:621.7

Металлургия XXI столетия глазами молодых/ Материалы всеукраинской научно-практической конференции студентов физико-металлургического факультета ДонНТУ. - Донецк: ДонНТУ, 2011. - 213 с.

В материалах сборника освещены результаты 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.

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. Оноприенко В.Г. (отв. редактор); к.т.н., доц. Крымов В.Н. (зам.отв.редактора); 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., доц. Егоров Н.Т.; д.т.н., проф. Кравцов В.В.; к.т.н., доц. Кочура В.В.

***Ответственный за выпуск:***

Егоров Н.Т., к.т.н., зав. кафедры «Физическое материаловедение».

Статьи напечатаны с авторских экземпляров

Адрес редакционной коллегии:

Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артема 58, 5-й учеб. корпус, к.5.152



*Уважаемые студенты!*

*В преддверии 90-летнего юбилея Донецкого национального технического университета физико-металлургический факультет проводит Всеукраинскую научно-практическую конференцию студентов «Металлургия XXI века глазами молодых».*

В сборнике трудов конференции собраны тезисы лучших докладов, представленных на эту конференцию.

Тематика работ охватывает широкий круг проблем и задач металлургического производства и теплоэнергетики, таких как:

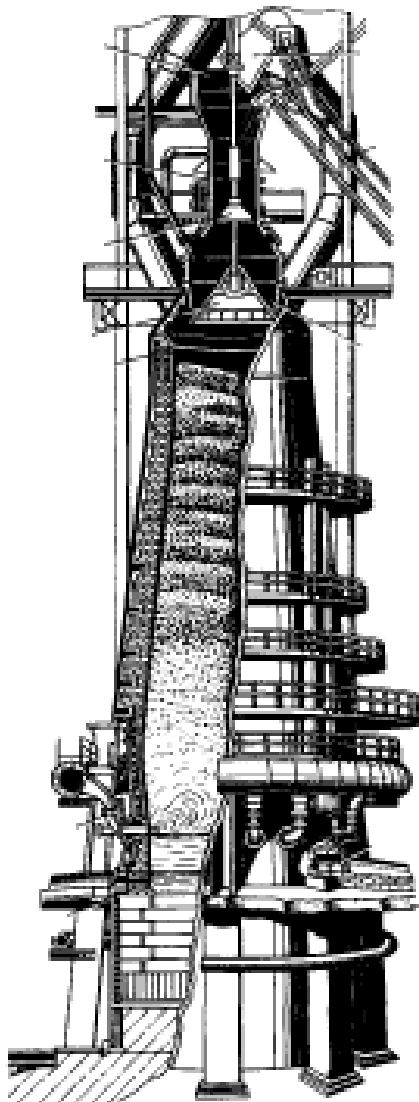
- совершенствование процессов подготовки шихты к доменному производству;
- вдувание пылеугольного топлива в горн доменных печей с целью экономии кокса и отказа от использования природного газа;
- совершенствование процессов непрерывной разливки и внепечной обработки стали;
- вопросы спецэлектрометаллургии;
- технологии термомеханической обработки проката;
- совершенствование технологий производства цветных металлов;
- создание материалов с повышенными механическими свойствами;
- газификация твердых топлив с целью получения энергетического генераторного газа;
- ресурсоэнергосберегающие технологии на всех этапах металлургического передела, повышение экологической безопасности производства;
- вопросы энергоменджмента в промышленности и коммунальном секторе.

Горно-металлургический комплекс Украины сегодня и на ближайшую перспективу является основой экономики страны. Однако, как и промышленность Украины в целом, он отличается высокими показателями энергопотребления и выбросов в окружающую природную среду по сравнению с развитыми странами мира. Это во многом связано с тем, что и установленное оборудование, и применяемые технологии в значительной степени устарели, и не отвечают современным требованиям.

Надеюсь, что предложенные молодыми исследователями научно-технические решения, приведенные в этом сборнике, будут реализованы и помогут решению стоящих перед отечественной металлургией проблем.

Декан физико-металлургического факультета, д.т.н., проф. Сафьянц С.М.

# МЕТАЛУРГІЯ ЧУГУНА

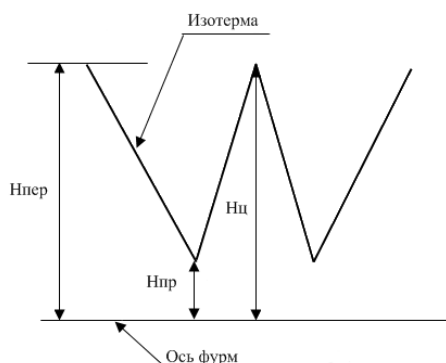


# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТЕРМ

Липунов С.А. (МЧ-06М)\*

Приазовский государственный технический университет

Для характеристики работы доменных печей предложены два показателя ЛС и РВ (формула 1,2) которые основаны на характере распределения изотерм в доменной печи (рисунок 1):



$H_{пер}$ ,  $H_{пр}$ ,  $H_{ц}$  – высота изотермы на периферии, в промежуточной и центральной зонах соответственно

Рисунок 1 - Изотерма температуры

$$РВ = (H_{ц} - H_{пр}) + (H_{пер} - H_{пр}), \quad (1)$$

$$ЛС = \frac{H_{ц} - H \min}{(H_{ц} - H \min) + (H_{пер} - H \min)}. \quad (2)$$

Показатель РВ показывает неравномерность газового потока по радиальным зонам, а показатель ЛС показывает форму изотермы, при ЛС=0 изотерма будет иметь V – образную форму, при  $0 < ЛС < 1$  W – образную с различной степенью вытянутости центральной части изотермы, при ЛС=1 изотерма будет Λ – образной.

Был проведен анализ работы печей № 1,2,5,6 МК «Азовсталь» на протяжении 2008 г. При этом использовалась методика расчета температурных полей в печи предложенная авторами данной работы. Для сравнения работы печей они приводились к равным условиям и сравнивали их по удельной производительности в зависимости от показателей ЛС и РВ.

Из полученных результатов (рисунок 2) можно сказать, что с увеличением РВ КИПО возрастает. Это можно объяснить тем, что возрастает интенсивность газового потока на периферии и центральной зонах, что облегчает возможность прохождения большего количества газа, а значит и увеличивается количество кокса, которое можно сжечь в единицу времени. Нужно учитывать то, что уве-

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры МЧ Русских В.П.

личение ЛС, т.е. вытянутости изотермы в центральной части печи говорит об увеличении газового потока в центре, что также улучшает показатель КИПО (рисунок 2). Из этого следует, что одного показателя РВ недостаточно, так как он показывает лишь увеличение неравномерности газового потока, но не указывает на то в какой части усилился этот поток.

В результате анализа мы выяснили, что КИПО возрастает с увеличением не равномерности газового потока, также КИПО возрастает, если увеличивается ЛС

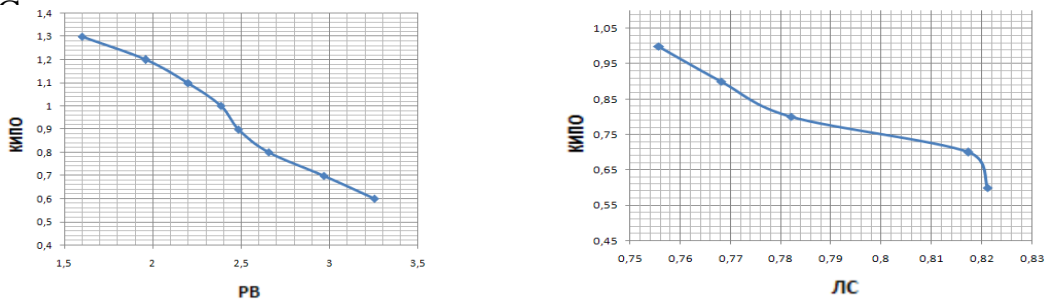


Рисунок 2 – Зависимость КИПО от показателей РВ и ЛС

Что касается удельного расхода кокса то по данным нашей работы (рисунок 3) мы наблюдаем, что неравномерность газового потока может усиливаться за счет большего течения газа по периферии, что приводит к перерасходу кокса, но может неравномерность усиливаться и за счет увеличения газового потока в центральной части, что может приводить к экономии кокса (рисунок 3).

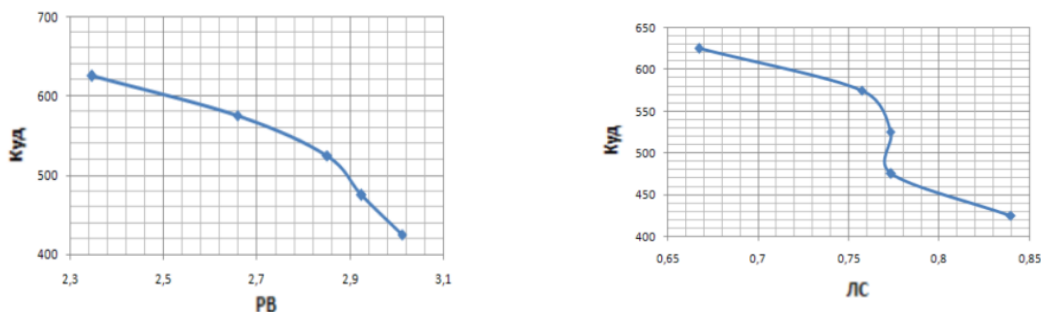


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода кокса от показателей РВ и ЛС

В результате анализа мы выяснили, удельный расход кокса будет уменьшаться с увеличением неравномерности газового потока РВ в том случае, если эта неравномерность будет сопровождаться увеличением потока газа в центральной зоне т.е. с увеличением ЛС, если неравномерность газового потока будет увеличиваться за счет увеличения периферийного движения газа, то расход кокса должен увеличиваться.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОКСОВОГО ОРЕШКА В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

Мирончик М.В. (МЧМ-10а)\*

Донецкий национальный технический университет

Самым малопроницаемым материалом, загружаемым в доменную печь, является железорудный слой. Одним из способов повышения газопроницаемости железорудной части шихты является введение в неё коксового орешка, полученного путем выделения фракции более 10-15 мм из отсева кокса.

В последние 20 лет время в странах Западной Европы, России и Украины возрос интерес к применению коксового орешка: в настоящее время расход коксового орешка составляет от 20 до 100 кг/т чугуна.

В настоящее время на доменных печах ЗАО «ДМЗ» используют коксовый орешек в количестве 100-200 кг/подачу (10-25 кг/т чугуна). Загрузка орешка осуществляется во второй рудный скип подачи КООК или ККОО сверху на окатыши. При ссыпании второй рудной порции в скип коксовый орешек оказывается сверху на окатышах, а при перегрузке на малый и большой конусы орешек уже будет располагаться внизу. Следовательно, в доменной печи на окатыши, загруженные первой рудной порцией, будет сыпаться коксовый орешек, загружаемый со второй рудной порцией, который будет закрываться окатышами. То есть, в печи создаются условия для интенсивного перемешивания окатышей и коксового орешка.

Для оценки эффективности применения коксового орешка в доменной печи была использована методика исследования, где в качестве первичной информации использовали показатели работы печи за смену, а также данные о химическом составе шихтовых материалов и продуктов плавки.

Проведенные опытные плавки показали, что при загрузке коксового орешка в количестве 27 кг/т чугуна приведенный расхода скипового кокса снизился с 440 до 411 кг/т чугуна, а суммарный расход приведенного кокса и орешка снизился на 2 кг/т чугуна (0,5 %). Данное снижение расхода кокса можно объяснить улучшением газопроницаемости шихты. При этом применение коксового орешка способствовало повышению степени использования СО на 1,1 % (абс). Указанные изменения свидетельствуют об улучшении технологического процесса. Кроме того, потери кокса с отсевом кокса снизились примерно на 10 кг/т чугуна.

Таким образом, применение коксового орешка в количестве до 30 кг/т чугуна способствовало снижению суммарного расхода приведенного кокса и орешка снизился на 2 кг/т чугуна и потерь кокса с отсевом на 10 кг/т чугуна. Кроме того, коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 1 кг/кг.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Кузин А.В.



## ПОЛУЧЕНИЕ И КАЧЕСТВО КОКСОВОГО ОРЕШКА НА ЗАО «ДМЗ»

Миرونчик М.В. (МЧМ-10а)\*

Донецкий национальный технический университет

До 2005 г в доменном цехе ЗАО «Донецксталь» - металлургический завод» (ЗАО «ДМЗ») была одностадийная схема грохочения, которая предусматривала выдачу коксовой мелочи из-под виброгрохотов кокса ленточным конвейером в закроем, расположенный на рудном дворе. На двухъярусных инерционных коксовых грохотах марки ГИК-52АМ были установлены металлические сита, причем отверстия выполнены в виде «ёлочки»: верхнее сито имеет размер 50 мм, а нижние – 18 мм. Образующаяся коксовая мелочь на фракции не рассеивалась. Периодически, при заполнении закромов коксовой мелочью, осуществлялась погрузка в полувагоны при помощи рудногрейферного перегружателя и отправлялась потребителю.

С апреля 2010 на доменной печи № 1 коксовый орешек начали брать в шихту систематически, что было обеспечено использованием системы для выделения коксового орешка и повышением размера отверстия на нижних ситах коксового грохота до 28 мм. Выделяемая фракция скипового кокса крупностью более 28 мм через коксовую воронку выгружается в скипы и далее загружается в доменную печь. Увеличение нижнего предела крупности скипового кокса будет способствовать повышению среднего размера куска кокса, повышению порозности коксовой линзы и, следовательно, газопроницаемости всего столба шихты.

Выделяемый отсев кокса на коксовых грохотах ссыпается на конвейеры отсева кокса. На конвейере отсева кокса установлена резиновая лента, движущаяся по направляющим валкам желобного типа. Длина конвейера составляет около 25 м, ширина резиновой ленты 0,6 м, угол наклона – 18°. Отсев кокса транспортируется на рудный двор на участок выделения коксового орешка. На участке выделения коксового орешка используется инерционный грохот производительностью не более 5 т/час. На грохоте установлено одно резиновое сито с ячейкой в форме квадрата размером 15x15 мм. Выделяемый коксовый орешек ссыпается в склад коксового орешка, расположенный на рудном дворе. Выделяемая коксовая мелочь (фракция менее 15 мм) ссыпается на конвейер коксовой мелочи и транспортируется на склад коксовой мелочи на рудном дворе. Перегрузка коксового орешка с рудного двора в рудные бункера осуществляется рудногрейферным перегружателем.

Проведенные просеивания показали, что получаемый коксовый орешек содержит фракцию менее 10 мм в среднем около 3 %.

Таким образом, в настоящее время в доменном цехе ЗАО «ДМЗ» созданы минимально необходимые условия для современной подготовки кокса к доменной плавке.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Кузин А.В.

## СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ПО ФРАКЦИОННОМУ СОСТАВУ

Парахин Р.А. (МЧМ-08 а)\*

Донецкий национальный технический университет

Основным топливом в доменной плавке, как известно, является кокс. В последнее время в связи с активным внедрением технологии пылевдувания роль кокса как разрыхлителя резко возросла.

В настоящее время в полном соответствии с современным техническим уровнем в мире общепринятой считается следующая схема подготовки кокса по фракционному составу, которая решает ряд задач:

- отсев из металлургического кокса фракции менее 32-40 мм, а также более 80 мм с последующим её дроблением, способствует повышению содержания фракции 40-80 мм в скиповом коксе до 90 % и выше; повышению среднего размера куска кокса; повышению порозности, газопроницаемости и дренажной способности коксовой насадки;

- выделение из отсева кокса коксового орешка с последующей его загрузкой в рудную часть определяет повышение газопроницаемости как «сухой» зоны, так и зоны когезии доменной печи; использование коксового орешка создает условия для снижения расхода металлургического кокса на 1 т чугуна благодаря уменьшению потерь при выделении из отсева кокса орешка;

- определяет снижение потерь кокса в виде фракции менее 10 мм по сравнению с традиционной технологией.

Предлагаемая схема подготовки кокса в доменном производстве создает условия для более рационального его применения, увеличения газопроницаемости столба шихты и повышения эффективности использования восстановительного потенциала газа и, соответственно, повышения оптимального расхода и эффективности применения дополнительных видов топлива.

Данная подготовка кокса к плавке является важнейшим компенсирующим фактором и внедрена на всех современных зарубежных доменных печах, освоивших технологию пылевдувания с большим расходом ПУТ (более 150 кг/т чугуна): так, в 2005 г. на металлургических заводах в странах Европы не применяли данную методику подготовки кокса только 2 печи из 56 действующих.

Кроме того, в перспективе реализация перечисленных выше мероприятий создает предпосылки для освоения производства кокса с более высокими показателями горячей прочности кокса и реакционной способности кокса (соответственно 75-80 % и 5-15 %), что может стать важным компенсирующим мероприятием при повышении расхода ПУТ до 250 кг/т чугуна и выше, повышении доли замены кокса ПУТ до 60-70 %.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Кузин А.В.

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Семаков В.В. (МЧ-06М)\*

Приазовский государственный технический университет

Восстановительная работа газового потока в печи является одним из факторов, определяющих удельный расход кокса доменной плавки. Для условий работы доменных печей (ДП) МК «Азовсталь» в 2007 г. (табл.) определена степень использования газа по СО  $\eta_{CO}$ , суммарная  $\eta_{\Sigma}$ , по реакции восстановления  $FeO\eta_{\phi}$  и равновесная  $\eta_w$  в зоне умеренного теплообмена.

Таблица – Показатели работы доменных печей МК «Азовсталь» в 2007 г.

Показатель	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4	ДП № 5	ДП № 6
Расход кокса $K$ , кг/т чугуна	499,4	541,7	531,9	525,8	487,4
Содержание железа в шихте, %	58,61	58,46	58,81	59,21	59,03
Доля окатышей в шихте, %	66,53	66,33	71,44	68,49	65,47
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т чугуна	112,3	100,7	102,8	116,2	119,1
Температура дутья, °С	1129	965	1019	1003	1102
Содержание кислорода в дутье, %	23,99	25,11	24,29	24,64	25,47
Тепловые потери, %	12,6	11,8	10,5	14,4	8,4
Минимальный $K_{min}$ , кг/т чугуна	424,2	465,04	436,06	432,19	404,69

Данные показатели неоднозначно оценивают восстановительную работу газового потока (рис. а). Качественно одинаково (рис. а, б) ее характеризуют  $\eta_{\phi}$ , комплексный показатель эффективности восстановительных процессов И.Ф. Курунова

$$\delta_{\eta} = 100\eta_{\phi}/\eta_w = 100r_i/r_{iw}, \quad (1)$$

где  $r_i$  и  $r_{iw}$  – фактическая и равновесная степени косвенного восстановления (СКВ) по М.А. Павлову;

критерий полноты косвенного восстановления

$$K_{r_i} = 100 \cdot r_i / r_{i_{max}}, \quad (2)$$

где  $r_{i_{max}}$  – максимальная СКВ, соответствующая максимальной  $\eta_{wmax}$ .

На рис. в и г показано изменение показателей восстановления ДП при  $\eta_{\phi} \rightarrow \eta_{wmax}$ , спрогнозированное математическим моделированием доменного процесса на основе решения системы двух уравнений – потребности в коксе-восстановителе  $K_{\phi}$  и источнике тепла  $K_m$ :

$$\begin{matrix} \text{ДП № 2} & \text{ДП № 3} & \text{ДП № 4} & \text{ДП № 6} \\ \left\{ \begin{array}{l} K_m = 838,1 - 497,4r_i, \\ K_{\phi} = 239,5 \frac{r_i}{\eta_{\phi}} - 164,6; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} K_m = 906,9 - 537,0r_i, \\ K_{\phi} = 248,1 \frac{r_i}{\eta_{\phi}} - 142,8; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} K_m = 852,6 - 522,5r_i, \\ K_{\phi} = 245,5 \frac{r_i}{\eta_{\phi}} - 145,1; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} K_m = 821,0 - 519,5r_i, \\ K_{\phi} = 245,1 \frac{r_i}{\eta_{\phi}} - 173,1. \end{array} \right. \end{matrix} \quad (3)$$

Кривая изменения  $K_{r_i}$  и прямая –  $\delta_{\eta}$  (рис., г) практически совпадают для

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры металлургии чугуна ПГТУ Тарасов В.П.

всех ДП, следовательно, по ним можно сравнивать восстановительную работу разных печей. Наиболее полно восстановительные процессы протекали в ДП № 3, что подтверждается достижением  $K_r=84,68\%$ ,  $\delta_\eta=76,38\%$ ,  $\eta_\phi=25,56\%$ , наименее полно – в ДП № 4:  $K_r=80,41\%$ ,  $\delta_\eta=71,06\%$ ,  $\eta_\phi=23,82\%$ .

Мерой экономичности восстановительных процессов доменной плавки может служить критерий  $V_s = r_i / \eta_\phi$ , который показывает во сколько раз больше расход газа-восстановителя по сравнению с объемом атомарного кислорода шихты, содержащегося в FeO. Наиболее экономично протекали процессы восстановления в доменной печи № 6:  $V_s=2,643$ , а наименее экономично – в печи № 5:  $V_s=2,811$ . Наиболее экономичный режим восстановительных процессов доменной плавки выбран на печи № 6 при  $V_{s\min}=2,357$  и № 4 при  $V_{s\min}=2,367$ , на

печи № 5 выбран наименее экономичный режим при  $V_{s\min}=2,52$  (рис., д).

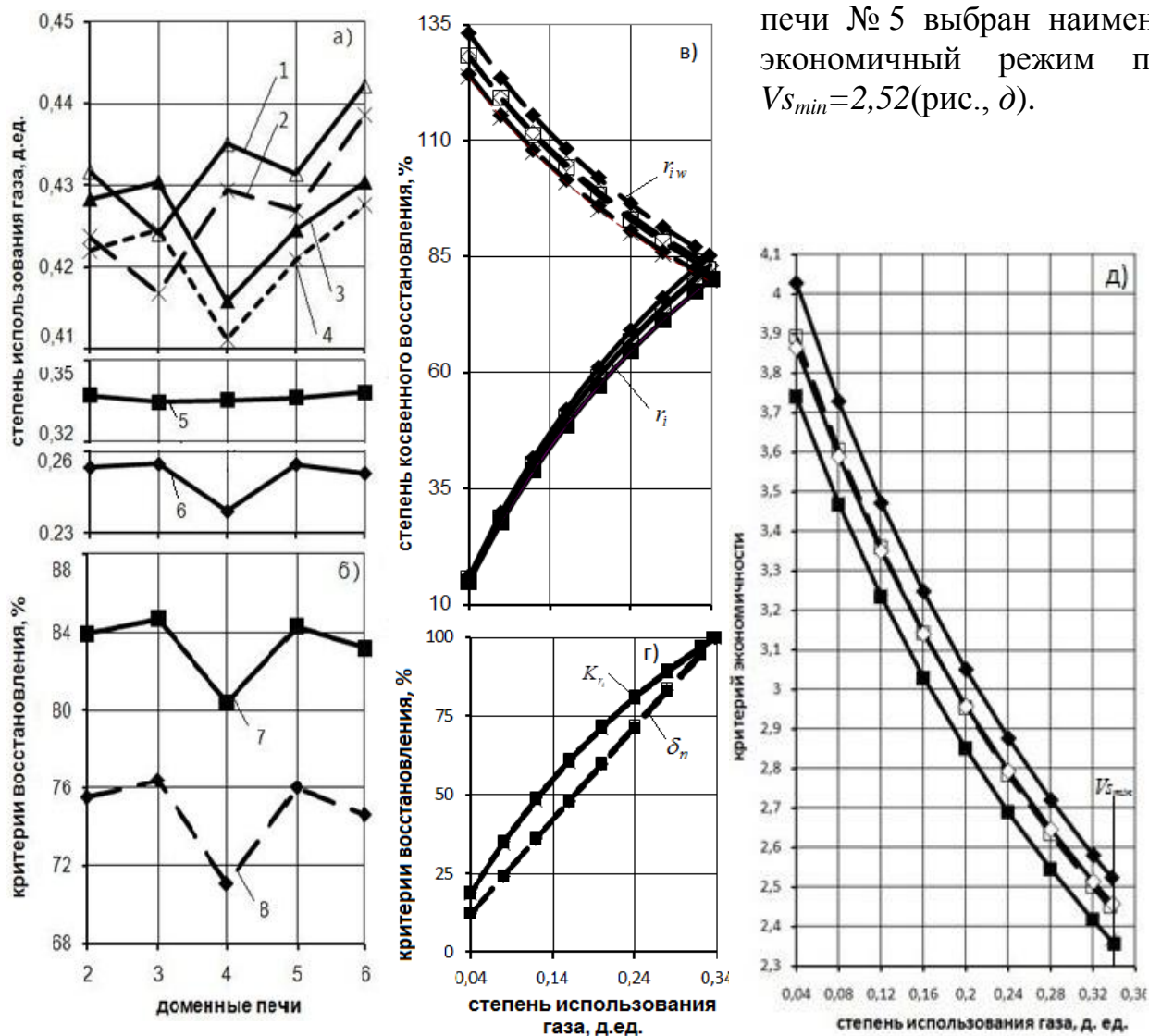


Рис.– Показатели восстановительных процессов в ДП МК «Азовсталь» в 2007 г.: 1 –  $\eta_{CO}$ ; 2 –  $\eta_{CO}$  без  $CO_2$  флюса; 3 –  $\eta_\Sigma$ ; 4 –  $\eta_\Sigma$  без  $CO_2$  флюса; 5 –  $\eta_w$ ; 6 –  $\eta_\phi$ ; 7 –  $K_r$ ; 8 –  $\delta_\eta$ ;  $\diamond$  – ДП № 2;  $\square$  – ДП № 3;  $\times$  – ДП № 4;  $\blacklozenge$  – ДП № 5;  $\blacksquare$  – ДП № 6

## О ПРИМЕНЕНИИ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Борцова М.А. (МЧМ-10ас)\*

Донецкий национальный технический университет

Современный процесс агломерации железорудного сырья предельно усовершенствован. Вместе с тем, этому процессу присущ значимый недостаток: в этом процессе скорость горения частиц топлива в спекаемом слое близка к  $3,6 \cdot 10^{-4}$  г/(см<sup>2</sup>·с), что в 7-8 раз ниже теоретически возможной. Проведенные различными институтами лабораторные опыты показали, что подача сжатого воздуха в спекаемый слой избыточным давлением до 200 кПа обеспечивает увеличение скорости спекания шихты от 22 до 140 мм/мин при одновременном увеличении высоты спекаемого слоя шихты в 1,5-2,0 раза. К настоящему времени данная технология в промышленных условиях не реализована из-за отсутствия машины приемлемой конструкции.

Публикации указывают на то, что в ряде стран ведутся довольно активные работы по промышленному освоению данной технологии.

Проведенные на кафедре анализ известных разработок и исследование (по совершенствованию окомкования шихты, улучшению технологической схемы и конструкции машины, аналитической оценке возможных потерь сжатого воздуха) позволяют рекомендовать на современном этапе освоение данной технологии при следующих основных параметрах (для шихт аглофабрик Украины): избыточное давление воздуха – 29,4 кПа, высота спекаемого слоя шихты – 650 мм на опытно-промышленной установке с усовершенствованной агломашиной (технологической схемой) площадью спекания 10-15 м<sup>2</sup> (аналогично тому, как при промышленном освоении производства окатышей в СССР были построены четыре опытно-промышленные установки). При указанных параметрах производительность машины увеличится примерно на 70 % с одновременным существенным повышением прочности агломерата и упрощением технологической схемы агломерации.

Совершенствование конструкции агломашин предусматривает применение спекательных тележек с поперечным бортом (высота борта составляет половину высоты спекаемого слоя). Этот борт оборудован фигурной планкой, что исключает его подгорание под зажигательным горном. Высота спекаемого слоя (650 мм) позволит из технологической схемы исключить стадию охлаждения агломерата. Окомкование улучшается за счет добавок в шихту небольших количеств (до 0,5 %) комкующих материалов.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Хлапонин Н.С.

## ОЦЕНКА И СТАБИЛИЗАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ

Бердников Е.В. (МЧМ-10 ас)\*

Донецкий национальный технический университет

Согласно современным представлениям начальный период агломерации представляет собой спекание с учетом внешнего источника тепла. При этом формируется аглоспек, основные зоны по высоте и осуществляется переход от внешнего к внутреннему источнику тепла. Роль зажигания заключается не только в обеспечении прогрева шихты до температуры воспламенения твердого топлива, но и в создании устойчивой зоны максимальных температур, когда в слое начинается устойчивая агломерация также за счет тепла регенерации и внутреннего источника.

Процесс зажигания характеризуется рядом технологических показателей: температурой зажигания; количеством тепла, которое требуется сообщить  $1 \text{ м}^2$  поверхности слоя шихты чтобы сформировать зону горения определенной высоты с заданными температурами; временем зажигания аглошихты. Результаты зажигания зависят от удельного расхода тепла, который прямо пропорционален длительности зажигания и его интенсивности. Выполнен расчет и проведен сравнительный анализ интенсивности зажигания, а также необходимое для зажигания количество тепла и время зажигания для разных аглошихт при различных технологических параметрах процесса спекания.

Колебания потребных расходов тепла на зажигание определяется не только различными физико-химическими свойствами спекаемых шихт, но и неодинаковыми составами горновых газов и прежде всего содержанием в них кислорода, содержание которого может быть повышено подводом в горн технического кислорода. Дан анализ нейтрального, восстановительного и окислительного режимов зажигания при различных видах газообразного топлива.

На аглофабриках используются горны разных конструкций: с расположением горелок на своде, на передней торцевой стенке, с боковым расположением горелок. Каждая из этих конструкций имеет свои преимущества и недостатки, однако главной задачей которых является увеличение интенсивности подвода тепла к единице площади шихты, уменьшение времени нагрева, снижение потерь тепла.

Зависимость температуры горновых газов от коэффициента расхода воздуха и подсосов воздуха в горн справедлива для смеси различных газов: так согласно экспериментальным данным при  $\alpha=1,6$  и увеличении подсосов воздуха до 10 % температура горновых газов снижается примерно на 7 %.

Система автоматического контроля и стабилизации параметров процесса на его начальной стадии обеспечивает устойчивое зажигание шихты и при прочих равных условиях производство качественного агломерата.

---

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

# ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДОЗИРОВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ВДУВАНИИ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Смоленский В.А. (МЧМ-10а)\*

Донецкий национальный технический университет

Наиболее эффективным способом существенного сокращения энергозатрат на выплавку металла и улучшения состояния окружающей среды является уменьшение расхода кокса в доменном производстве путем замены его пылеугольным топливом, вдуваемым через фурменные устройства. Основными факторами, сдерживающими реализацию потенциальных возможностей данной технологии, являются трудности в обеспечении полноты газификации угольной пыли в фурменных зонах и равномерного распределения ее по окружности печи.

В настоящей работе рассматриваются пути решения проблемы измерения расхода пылеугольного топлива и равномерного его распределения по окружности печи с использованием аэрационных питателей, преимущества которых доказаны длительной промышленной эксплуатацией.

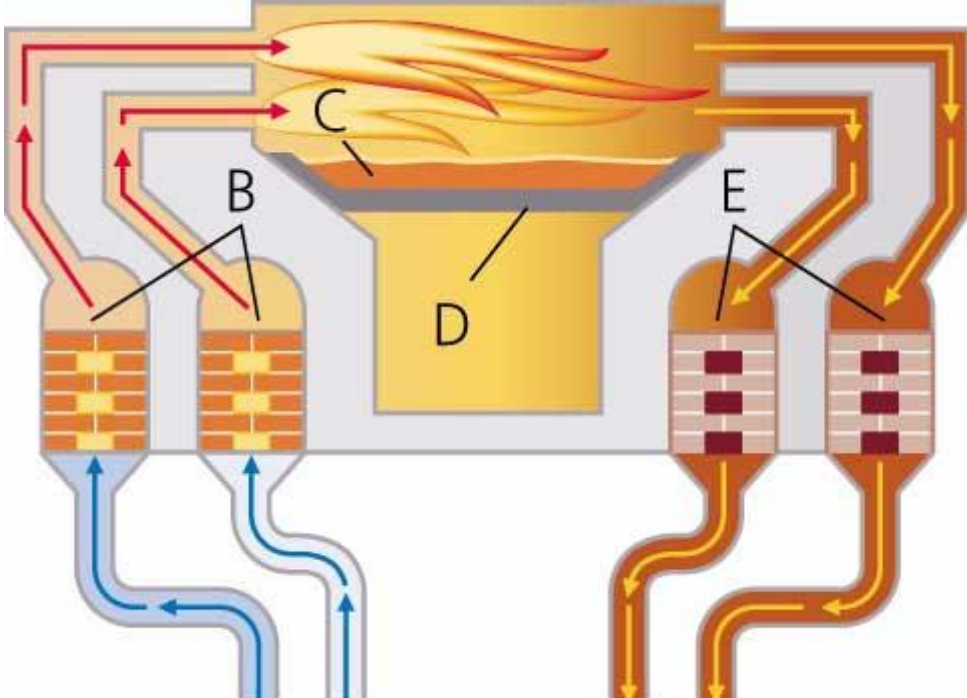
В основе большинства используемых в промышленности методов контроля расхода гомогенных потоков лежит принцип измерения перепада давлений на сужающих устройствах, таких как диафрагмы, сопла, трубы Вентури. Однако абразивный износ измерительных сужающих устройств, неизбежный в условиях транспортирования пылеугольного топлива, существенно снижает точность измерения. Кроме того, возрастает вероятность образования пылевых пробок, что может привести к полному прекращению подачи пылеугольного топлива в печь. Использование же статистических зависимостей расхода пылеугольного топлива от перепада давлений между питающим бункером и кольцевым воздухопроводом горячего дутья и от расхода транспортирующего воздуха вообще не выдерживает критики, так как не учитывает динамических факторов, характерных для реальных условий работы доменной печи.

Более перспективным является использование в качестве параметра, определяющего расход угольной пыли, перепада давлений на входном отверстии питателя. Предварительный анализ показал, что одним из преимуществ предлагаемого метода является то, что величина коэффициента расхода жидкости (газа) через отверстие или насадок, в отличие от коэффициента сопротивления трубопровода, слабо чувствительна к параметрам потока и определяется, главным образом, конструктивными особенностями отверстия. Кроме того, расход газа через отверстие питателя может поддерживаться в течение всего времени работы установки неизменным, так как зависит от расхода газа, подаваемого на аэрирование.

---

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

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ





## КОНТРОЛЬ ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА

Абрамова О.С. (ФС-81)\*

Національний технічний університет України „КПІ”

Швидкість зневуглицювання металу  $V_c$ , %/хв., визначається за хімічним складом газів, що відходять, і дорівнює:

$$V_c = \frac{0,536(\text{CO} + \text{CO}_2)}{(1 + \alpha \cdot t_r) \cdot m_{\text{ст}}^p \cdot 10^3} \cdot v_r, \quad (1)$$

де  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  – відповідно вміст окису і двоокису вуглецю в газах, що відходять, %;  $v_r$  – витрата газів,  $\text{м}^3/\text{хв.}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт об’ємного розширення газів, що дорівнює  $1/273 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $t_r$  – температура газів,  $^\circ\text{C}$ ;  $m_{\text{ст}}^p$  – розрахункова маса рідкої сталі, т.

Враховуючи, що хімічний склад газів, що відходять, вимірюють на під’ємній частині газоходу, а витрату – після газоочищення, транспортне запізнення призводить до похибок в обчисленні швидкості зневуглицювання за формулою (1). Ними досліджений контроль  $v_r$ , за балансом аргону і азоту:

$$v_r = \frac{\text{Ar}_n \text{N}_{2д} - \text{Ar}_д \text{N}_{2п}}{\text{Ar}_п \text{N}_{2г} - \text{Ar}_г \text{N}_{2п}} v, \quad (2)$$

де  $\text{Ar}_п$ ,  $\text{Ar}_д$ ,  $\text{Ar}_г$  – відповідно вміст аргону у повітрі, дугті й газах, що відходять, %;  $\text{N}_{2п}$ ,  $\text{N}_{2д}$ ,  $\text{N}_{2г}$  – відповідно вміст азоту в повітрі, дугті й газах, %;  $v$  – витрата дугтя,  $\text{м}^3/\text{хв.}$

Прогнозований вміст вуглецю в металі по ходу продувки

$$C_{\Gamma}^p = \frac{C_{\text{ч}} m_{\text{ч}} + C_{\text{б}} m_{\text{б}} + C_{\text{в}} m_{\text{в}}^p}{m_{\text{ст}}^p} - \int_0^{\tau_{\text{пр}}} V_c d\tau, \quad (3)$$

де  $C_{\text{б}}$ ,  $C_{\text{в}}$  – вміст вуглецю в брукті і вапні, %. Тут вміст вуглецю в чавуні визначається за хімічним складом чавуна й його температурою

$$C_{\text{ч}} = \kappa_0 + \kappa_1 \text{Si}_{\text{ч}} + \kappa_2 \text{Mn}_{\text{ч}} + \kappa_3 \text{P}_{\text{ч}} + \kappa_4 \text{S}_{\text{ч}} + \kappa_5 t_{\text{ч}}, \quad (4)$$

де  $\kappa_0 \dots \kappa_5$  – умовно-постійні коефіцієнти.

Вміст вуглецю в брукті визначається як середньомасове з його вмісту в окремих складових. Вміст вуглецю у вапні визначається аналізом його проб.

В останній фазі продувки вміст вуглецю в металі визначається як:

$$C_{\Gamma}^p = \sqrt{1 / (\beta_1 / V_c + \beta_2)} \quad \text{при} \quad \tau_{\text{пр}} \geq 0,8 \tau_{\text{пр}}^p, \quad (5)$$

де  $\tau_{\text{пр}}$  – час від початку продувки, хв;  $\tau_{\text{пр}}^p$  – розрахункове значення загальної тривалості продувки, хв.;  $\beta_1, \beta_2$  – умовно-постійні коефіцієнти.

В подальшому планується проведення промислових іспитів методу на ВАТ „Міттал Стіл Кривий Ріг”.

\* Керівник – д.т.н., професор кафедри ФХОТМ Богусевський В.С.

# НЕКОТОРЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПАРЕНИЯ МЫШЬЯКА, СЕРЫ И ФОСФОРА ИЗ ЧУГУНА ПРИ ЕГО ВАКУУМИРОВАНИИ

Бендич А.В. (МС-06м)\*

Приазовский государственный технический университет

Создание новых высокопроизводительных процессов качественной металлургии требует всемерного развития металлургической науки.

Немаловажное значение имеет вакуумная обработка жидкого чугуна как эффективное средство облагораживания этого металла, что влияет на повышение качества получаемой из него стали и на снижение себестоимости его передела.

Цель данной работы – изучить кинетику процесса удаления примесей из чугуна в вакууме.

На специальной установке были проведены экспериментальные исследования, которые дали возможность выявить некоторые кинетические особенности испарения As, S и P из чугуна при его вакуумировании. Исследования по выявлению зависимости степени их извлечения проводились по разным направлениям.

## **1. Влияние длительности вакуумирования и давления.**

Выплавляли слитки массой  $\sim 0,5$  кг одинакового химического состава из переловного фосфористого чугуна. Каждый слиток в корундовом тигле помещали в нагревательное устройство установки и подвергали вакуумированию, изменяя длительность выдержки от  $6,0 \cdot 10^2$  до  $3,6 \cdot 10^3$  с (с интервалом  $6,0 \cdot 10^2$  с) при температуре  $1380 \pm 30^\circ\text{C}$ , близкой к температуре чугуна на выпуске его из доменной печи. Вакуумирование образцов производили при трёх различных режимах давления: I –  $6,7 \cdot 10^{-2} \dots 1,3 \cdot 10^{-1}$  Па; II –  $1,3 \dots 19,9$  Па; III –  $1,3 \cdot 10^2 \dots 2,7 \cdot 10^2$  Па.

После завершения эксперимента образцы извлекали из тигля и подвергали химическому анализу на содержание мышьяка, серы и фосфора. Согласно полученным данным, наиболее интенсивное испарение всех трёх примесей чугуна происходит при первом режиме вакуумирования (давление  $6,7 \cdot 10^{-2} \dots 1,3 \cdot 10^{-1}$  Па). В этом случае за первые  $1,2 \cdot 10^3$  с процесса степень извлечения мышьяка достигает  $\sim 20\%$ , а серы –  $\sim 40\%$ .

## **2. Влияние диффузии чугуна в пограничном слое жидкий чугун – вакуум.**

Согласно экспериментальным данным было установлено, что удаление мышьяка из чугуна при его вакуумировании лимитируется диффузией его в пограничном слое жидкий чугун – вакуум. Это подтверждается малой энергией активации процесса удаления мышьяка из чугуна.

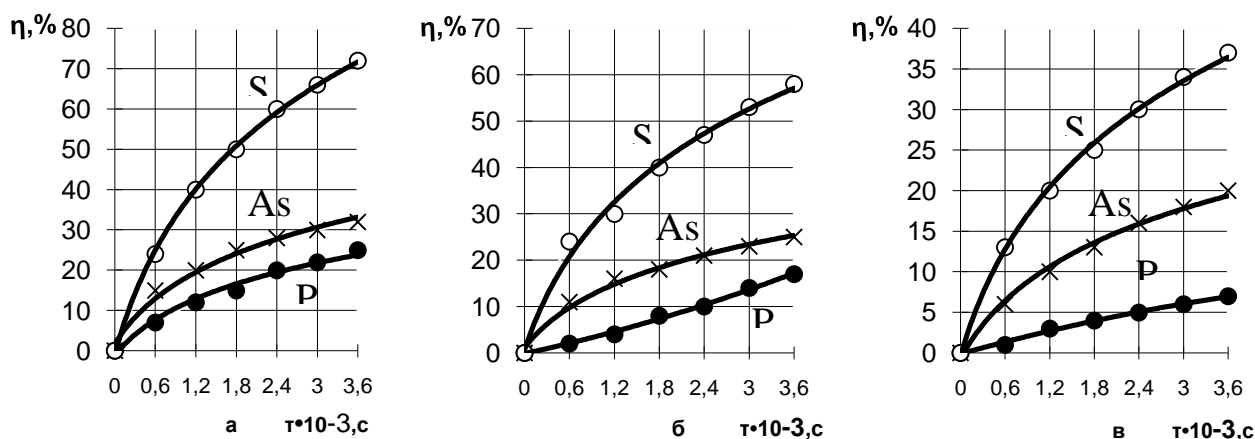
---

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры МС Харлашин П.С.

Энергия активации невелика (менее 150 кДж/моль). Следовательно, процесс испарения мышьяка в опытных условиях лимитируется диффузионной стадией.

### 3. Увеличение поверхности раздела фаз расплав – вакуумная среда.

Экспериментально было доказано, что как скорость удаления вредных примесей, так и степень их извлечения из чугуна при его вакуумировании (использовали давление  $(1,3...2,7) \cdot 10^2$  Па) могут быть доведены до экономически целесообразного уровня за счёт соответствующего увеличения поверхности раздела фаз расплав – вакуумная среда при достаточной длительности их взаимодействия.



а – 0,067...0,013 Па ; б – 1,3...19,9 Па ; в – 130...270 Па

Рисунок – Изменение степени извлечения примесей (As, S и P) чугуна при различных режимах вакуумирования

Используя исследовательские данные по удалению As и S из чугуна при его вакуумировании, в промышленных условиях получают эффективный результат.

Прежде всего, при выпуске чугуна из доменной печи в установку для вакуумирования должна быть увеличенная высота падения струи жидкого чугуна; быстрое создание рабочего давления ( $\sim 1,3 \cdot 10^2$  Па) в вакуумной системе перед поступлением в неё чугуна; продолжительность вакуумирования струи в течение всего времени выпуска чугуна из доменной печи должна составлять в среднем  $(1,8...2,1) \cdot 10^3$  с.

Были также проведены исследования на промышленной установке, которая включала в себе все выше перечисленные особенности.

В указанных условиях достигли значительного снижения содержания As и S без нарушения технологического потока на линии «домна – сталеплавильный цех», а P удалялся незначительно. В экспериментах проведенных на такой установке в опытно-промышленном варианте, степень извлечения As и S составила соответственно 25 – 30 и 55 – 60 %.

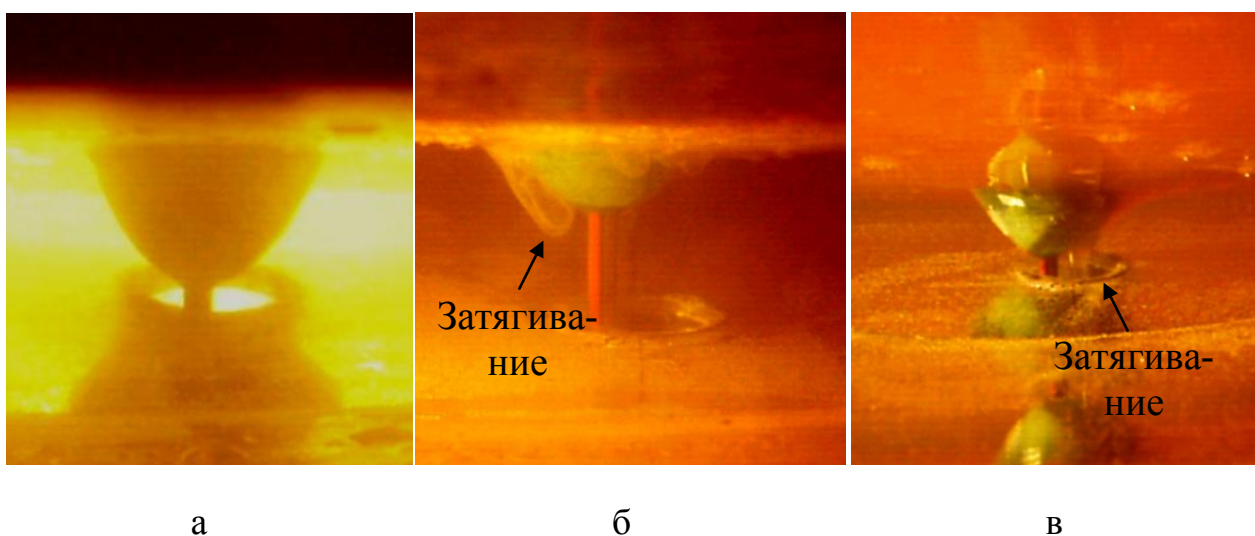
## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТСЕЧКИ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА ЭЛЕМЕНТАМИ ПОПЛАВКОВОГО ТИПА ПРИ ВЫПУСКЕ СТАЛИ

Барановский В.А., Антонов Б.О. (МЧМ – 076)\*  
Донецкий национальный технический университет

Для эффективной отсечки окисленного шлака в конвертер на заключительном этапе выпуска вводят отсечной элемент поплавок. Для эффективного разделения металла и шлака отсечной элемент должен находиться на границе раздела двух фаз. При полном выпуске жидкой стали поплавок должен закрывать лётку и отделять шлак, оставляя его в конвертере.

Для выполнения этой функции поплавок должен иметь среднюю кажущуюся плотность между плотностями жидкой стали и жидкого шлака. Также его геометрические размеры должны обеспечивать полное закрытие выпускного отверстия и предотвращение затягивания шлака в образующуюся воронку.

Исследования поведения поплавок проводили на физической модели кислородного конвертера. Из полученных результатов видно, что соблюдение выше изложенных требований приводит к перекрытию сталевыпускного отверстия без попадания в него шлака (рисунок а). В противном случае наблюдается затягивание шлака с различной степенью в лётку конвертера (рисунок б, в).



а – без попадания шлака; б, в – с различной степенью затягиванием шлака  
Рисунок – Поведение разных поплавок во время моделирования процесса

В дальнейшем планируется проведение исследований по подбору нужной конфигурации поплавок для стабильной отсечки шлака с учётом характера износа лётки и других факторов, влияющих на данный процесс.

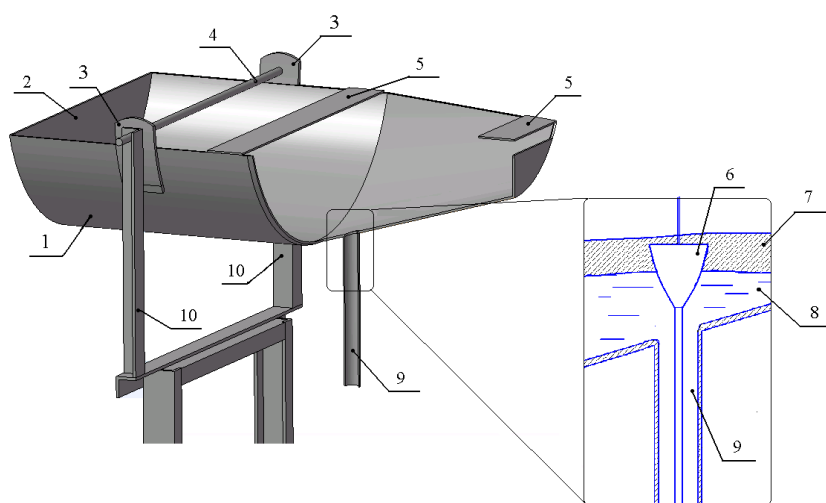
\* Руководитель – доцент кафедры МС Лебедев Е.Н.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТСЕЧКИ ШЛАКА ПРИ ВЫПУСКЕ ИЗ КОНВЕРТЕРА

Барановский В.А., Антонов Б.О., Руденко Е.С. (МЧМ – 076)\*  
Донецкий национальный технический университет

При выпуске плавки в сталеразливочный ковш попадает окисленный шлак, который может содержать до 20 – 30%  $FeO$ . Попадание печного шлака в ковш приводит к повышенному угару раскислителей и легирующих добавок, рефосфорации металла, снижает эффективность внепечной обработки стали и выход годного.

Значительно распространён способ отсечки шлака, при котором с помощью манипулятора в конвертер вводят отсечной элемент поплавкового типа, который имеет среднюю плотность между плотностями стали и шлака. При полном истечении металла он перекрывает выпускное отверстие. С целью получения новых и дополнительных данных выше описанного явления была изготовлена физическая модель 160 тонного конвертера в масштабе 1:6 (рисунок). При её проектировании учитывались критерии геометрического подобия, Рейнольдса и Фруда.



1 – корпус модели; 2 – днище; 3 – цапфы; 4 – опорная ось; 5 – перекладины; 6 – поплавок; 7 – масло; 8 – вода; 9 – лётка; 10 – вертикальные опоры

Рисунок – Общий вид установки

Модель позволяет проводить исследования по подбору нужной конфигурации поплавок и исследовать гидродинамику обтекания поплавок жидкостью во время выпуска. Данную установку в дальнейших работах можно использовать для моделирования более широкого числа процессов в конвертерной плав-

\* Руководитель – доцент кафедры МС Лебедев Е.Н.

ки.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕТЕКАНИЯ СТАЛИ ЧЕРЕЗ СТАЛЕПРОВОДЯЩИЙ КАНАЛ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАКАНОВ

Верзилов А.П. (МЧМ-076)\*

Донецкий национальный технический университет

Заращение калибровочного стакана приводит к нарушению турбулентной картины движения потоков в сталепроводящем канале и его досрочной замене. В этом аспекте исследования направленные на повышение стойкости разливочного стакана представляются актуальными и имеют важное значение.

В основу математической модели легли две конструкции калибровочных стаканов представленные на рисунке и три различных диаметра верхнего калибровочного стакана 19, 20 и 21 мм. Диаметр нижнего калибровочного стакана оставался постоянным (18 мм). Таким образом, общее число исследуемых вариантов составило 6.

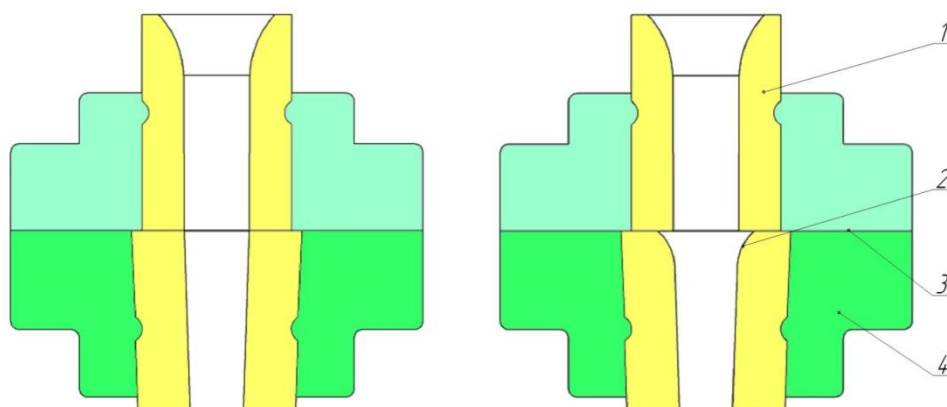


Рисунок – Калибровочные стаканы а) без скругления; б) с скруглением: 1 – верхний калибровочный стакан; 2 – сталепроводящий канал; 3 – плоскость скольжения; 4 – нижний калибровочный стакан

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: 1. При незначительном расхождении диаметров верхнего и нижнего калибровочных стаканов на 1-1,5 мм использование скруглений в нижнем стакане не требуется. 2. При расхождении диаметров калибровочных стаканов на 1,5-2 мм возможно использование скругления нижнего стакана на 6-8 мм (в исследуемом случае 10 мм) 3. Расхождение диаметров калибровочных стаканов на более чем 2 мм требует обязательного скругления нижнего калибровочного стакана.

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

## СТАБІЛІЗАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ

Горбачова М.В. (ФС-81)\*

Національний технічний університет України „КПІ”

При побудові системи управління конвертерним процесом слід вияснити можливості конвертера відносно компенсації деяких збурень, що мають місце на практиці. Досвід експлуатації статичних моделей управління плавкою показав, що відхилення початкових умов по параметрам чавуна не призводить до відповідного відхилення параметрів готового металу, визначеного із балансних співвідношень.

Так збільшення вмісту вуглецю в чавуні призводить до перерозподілення кисню дуття таким чином, що стимулює реакцію окиснення вуглецю до СО

$$\gamma_{\text{CO}} = -0,24 + 0,285C_{\text{ч}}; \quad (R = 0,744, \sigma = 0,044, P > 0,950), \quad (1)$$

де  $\gamma_{\text{CO}}$  – масова частка вуглецю ванни, що окиснюється до СО в порожнині конвертера за рахунок кисню дуття;  $C_{\text{ч}}$  – вміст вуглецю в чавуні;  $R$  – коефіцієнт кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення;  $P$  – достовірність.

Залежність (1), обумовлена відносним скороченням періоду низької швидкості зневуглецювання, при якому спостерігається велика об’ємна частка СО<sub>2</sub>, в газах що відходять.

Така ж тенденція до стабілізації процесу спостерігається при зміні частки мангану в чавуні, що приводить до зміни окисненості кінцевого шлаку

$$\Sigma\text{FeO} = 29,1 - 10,1Mn_{\text{ч}}; \quad (R = -0,648, \sigma = 2,08 \%, P > 0,950), \quad (2)$$

де  $\Sigma\text{FeO}$  – сумарна масова частка оксидів заліза в шлаку, %;  $Mn_{\text{ч}}$  – масова частка мангану в чавуні, %.

Установлена також залежність

$$\gamma_{\text{CO}} = 0,385 + 0,026 \Sigma\text{FeO}; \quad (R = 0,332, \sigma = 0,049, P > 0,980), \quad (3)$$

що зв’язана з накопичуванням оксидів заліза при зменшенні енергії струменя на рівні поверхні ванни, знижуючи ступінь допалювання СО в СО<sub>2</sub>.

Тенденція до самостабілізації теплового балансу плавки спостерігається по ходу кампанії футерівки конвертера. Внаслідок зносу стінок реторти проходить зміна тепловтрат конвертера і глибини спокійного металу. Остання впливає на гідродинаміку ванни, що призводить до зміни окисненості шлаку. Характер зміни частки оксидів заліза в шлаку співпадає з екстремальною кривою тепловтрат, забезпечуючи суттєву їх компенсацію.

Модель киснево-конвертерної плавки, що створена з урахуванням факторів самостабілізації масо- і теплообмінних процесів, дозволяє підвищити точність керування вихідними параметрами продувки.

В подальшому планується проведення досліджень впливу на само-стабілізацію процесу інших початкових умов плавки.

\* Керівник – д.т.н., професор кафедри ФХОТМ Богушевський В.С.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОСФОРА НА ПЛОТНОСТЬ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗА

Машнина Е.В. (МС-06М)\*

Приазовский государственный технический университет

Известно, что поверхностные явления существенно влияют на окислительные реакции примесей в сталеплавильных процессах.

Цель проведенной работы - исследование термодинамических и физических свойств расплавов железо-фосфор.

Определение поверхностного натяжения расплавов железо-фосфор осуществлялось в ряде работ, в которых показано, что фосфор является поверхностно-активным элементом, который снижает поверхностное натяжение жидкого железа.

С целью подтверждения или опровержения данных, полученных в других работах, на кафедре металлургии стали Приазовского государственного технического университета была разработана установка и предложена методика, позволяющая изучить влияние фосфора на интересующие свойства железа.

В опытах использовали железо высокой степени чистоты, плотность чистого железа изменялась в интервале от 7,15 г/см<sup>3</sup> до 7,2 г/см<sup>3</sup>. Концентрация фосфора, вводимого в расплаве железа, изменялась от 0,006 до 0,24. После введения примеси – плотность в интервале изучаемых концентраций изменялась незначительно.

Исследование проводили при температуре  $t=1600^{\circ}\text{C}$ , в печи в атмосфере очищенного аргона. При этом поверхностное натяжение чистого железа  $\sigma_{\text{Fe}}$  изменялось в интервале 1855-1860 Эрг/см<sup>2</sup>.

В настоящее время для расчета величины капиллярной постоянной по размерам капли пользуются методикой, предложенной С.Н. Попелем. Этот способ отличается простотой и обеспечивает достаточную точность расчета экспериментальных значений поверхностного натяжения. Для определения поверхностного натяжения расплава Fe-P была использована именно эта методика.

При известных значениях плотности обеих фаз и экспериментально найденных размеров капли была найдена капиллярная постоянная  $a$ .

Так, при использовании данной методики, поверхностное натяжение изучаемого расплава было определено по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{\rho_{\text{Fe}} \cdot g}{a}$$

где  $\rho_{\text{Fe}}$  - плотность чистого железа, г/см<sup>3</sup>;

$g = 9,81, \text{ см/с}^2$ ;

$a$  – капиллярная постоянная, 1/с.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры МС Харлашин П.С.



Результаты измерения величины поверхностного натяжения и других поверхностных свойств для сплавов железа с фосфором сведены в таблице.

Таблица. Поверхностные свойства сплавов железо-фосфор.

Концентрация фосфора, вес. %	Поверхностное натяжение $\sigma$ , эрг/см <sup>2</sup>	Краевой угол $\theta^\circ$	Адгезия $W$ , эрг/см <sup>2</sup>	Адсорбция на границе с газом, г. ат/см <sup>2</sup>
0,006	1710	141	380	$0,74 \cdot 10^{-10}$
0,17	1710	142	400	$0,74 \cdot 10^{-10}$
0,2	1680	140	390	$0,74 \cdot 10^{-10}$
0,24	1720	141	400	$1,09 \cdot 10^{-10}$

Изменение поверхностного натяжения с увеличением содержания фосфора в расплаве с железом следующее: оно снижается от 1855-1860 эрг/см<sup>2</sup> для чистого исходного железа до 1680 эрг/см<sup>2</sup> для сплава, содержащего  $\approx 0,2$  вес. % фосфора. При этом, стоит отметить, что в пределах первых значений интервала содержания фосфора снижение величины поверхностного натяжения железа происходит более интенсивно.

Следовательно, напрашивается вывод, что введение в железо фосфора сопровождается ослаблением межчастичных связей.

Поскольку электроотрицательность фосфора сравнительно выше электроотрицательности железа, то электроны соседних атомов железа стремятся сместиться к атомам фосфора. Таким образом, уменьшение когезии возникает в следствие ослабления взаимодействия между атомами железа и сочетаниями Fe-Fe-P.

Значения адсорбции фосфора, рассчитаны с помощью уравнения Гиббсам и также сведены в таблицу. Адсорбция увеличивается с ростом концентрации фосфора, но не достигает максимума. Поэтому, поверхностный слой расплава не достигает насыщения.

В пределах изученных концентраций фосфора, он не оказывает существенного влияния на адгезию фаз.

В результате исследований удалось сравнить расчетные и экспериментальные данные, получить ряд зависимостей, позволяющих более полно рассмотреть влияние фосфора на поверхностные свойства железа. Эти исследования позволили также определить величину адсорбции компонентов расплавов, краевой угол смачивания и адгезию.

# ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТАЛУ В КОНВЕРТЕРНІЙ ВАННІ ПІД ЧАС ПРОДУВКИ

Чернушевіч Я.Д. (ФС-82) \*

Національний технічний університет України “КПІ”

Виплавка сталі із заданими властивостями, окрім контролю маси і складу вихідних матеріалів, потребує оперативного контролю температури і складу розплаву в сталеплавильній ванні.

У зв'язку з цим, за допомогою математичного моделювання знайдено рівняння, для визначення температури металу в конвертерній ванні під час плавки:

$$t = t_{\text{н}} + \int_0^{\tau_{\text{пр}}} v_t d\tau, \quad (1)$$

де  $t_{\text{н}}$  - початкове значення температури ванни, °С;  $v_t$  - швидкість зміни температури ванни, °С/хв;  $\tau_{\text{пр}}$  – тривалість продувки, хв.

Початкове значення температури ванни визначається по формулі:

$$t_{\text{н}} = c_1 t_{\text{ч}} + \sum_1^3 c_2(\varphi) m_{\text{л}}(\varphi) + c_3 m_{\text{ид}} + c_4(f) \tau_{\text{п}} + \Delta t, \quad (2)$$

де  $t_{\text{ч}}$  - температура чавуна, °С;  $m_{\text{лх}}(\varphi)$  – маса розплавленої частини лому при заливці чавуна, т;  $m_{\text{ид}}$  - маса вапна, яка завантажена на дно конвертора, т;  $\tau_{\text{п}}$  – тривалість простою конвертора, час;  $\Delta t$  - поправка за досвідом попередніх плавок, °С;  $\varphi, f$  – функції, які визначаються відповідно насипною масою лому і тривалістю простою конвертора;  $c_1 - c_4$  – умовно – постійні коефіцієнти.

Поправка по досвіду попередніх плавок визначається по формулі

$$\Delta t = c_{15} \sqrt{t_{(n-1)}^{\text{ф}} - t_{(n-1)}^{\text{р}}} \text{Sign}[t_{(n-1)}^{\text{ф}} - t_{(n-1)}^{\text{р}}], \quad (3)$$

де  $t_{(n-1)}^{\text{ф}}, t_{(n-1)}^{\text{р}}$  – відповідно фактичне і розраховане значення температури на (n - 1) плавці, °С;  $\text{Sign}[t_{(n-1)}^{\text{ф}} - t_{(n-1)}^{\text{р}}]$  - функція, яка приймає значення “плюс”, якщо вираз в квадратних дужках додатній, і “мінус”, якщо вираз в квадратних дужках від’ємний;  $c_5 - c_{15}$  – умовно – постійні коефіцієнти.

Запропоноване рівняння, дає можливість контролювати температуру металу у конвертерній ванні, протягом усього процесу продувки.

---

\* Керівник – асистент кафедри ФХОТМ НТУУ “КПІ” Жук С.В.

## ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СОВРЕМЕННЫМ ШЛАКООБРАЗУЮЩИМ СМЕСЯМ ДЛЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Шабловский А.В. (МЧМ-10бм)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время непрерывная разливка стали является наиболее эффективной ресурсо- и энергосберегающей технологией завершающего этапа сталеплавильного производства. Более 35 % всей производимой в Украине стали разливается непрерывным способом и каждый год этот показатель увеличивается вследствие строительства новых и реконструкции старых МНЛЗ. Применение шлакообразующих смесей (ШОС) для кристаллизатора во многом способствует стабильной работе машин и получению качественной продукции.

Шлакообразующая смесь представляет собой мелкодисперсную многокомпонентную систему, которая позволяет выполнять ряд важных функций: защиту стали от вторичного окисления, теплоизоляцию зеркала металла в кристаллизаторе, поглощение всплывающих из стали неметаллических включений, смазку между корочкой слитка и кристаллизатором, обеспечение однородного теплового потока между слитком и кристаллизатором, формирование и защиту мениска стали.

Для того, чтобы ШОС хорошо выполняла вышеперечисленные функции, она должна обладать необходимым уровнем технологических свойств: вязкости, температуры затвердевания, количества кристаллической фазы в затвердевшем шлаке, поверхностного натяжения и др. Регулирование этих свойств осуществляют изменением химического состава ШОС.

Вязкость и температура начала затвердевания ШОС определяется в лабораторных условиях с помощью электроротационного вискозиметра. Установка обладает хорошей воспроизводимостью результатов измерений, достаточной точностью (3...5 %), широким диапазоном измерения вязкости жидких шлаков (0,05...10 Па•с) и возможностью автоматической записи результатов измерений.

При выборе компонентного состава шлакообразующих смесей следует исходить из следующих критериев:

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

- обеспечение необходимых физико-химических свойств готовых ШОС и их расплавов;
- снижение затрат на приобретение и предварительную подготовку исходных материалов (дробление, сушка, помол) и на изготовление смеси;
- использование известных компонентов, применяемых для изготовления ШОС.

К исходным материалам для производства ШОС предъявляют следующие требования: для обеспечения более равномерного плавления исходные материалы должны иметь близость температур плавления, для достижения требуемого химического состава число используемых материалов должно быть минимальным (простота рецепта), в исходных материалах должно быть минимальным содержание вредных веществ, таких как летучие фтористые соединения или кварц.

По физическому состоянию ШОС делятся на порошкообразные и гранулированные. Порошкообразные смеси изготавливаются путем простого измельчения исходных компонентов в различного рода мельницах с последующим их смешением в специальных смесителях.

Производство гранулированных ШОС, помимо измельчения исходных материалов, включает в себя операцию гранулирования смеси в специальных устройствах – грануляторах. Несмотря на несомненные преимущества использования гранулированных ШОС, их производство примерно в 1,5 раза дороже обычных порошкообразных смесей.

Таким образом, для создания шлакообразующей смеси высокого качества и обладающей необходимым уровнем основных технологических свойств необходимо подбирать исходные материалы отвечающие ряду приведенных выше требований. Достижение соответствующего условиям разливки сочетания физико-химических свойств ШОС осуществляют путем подбора соотношения выбранных исходных компонентов смеси в сочетании с лабораторными исследованиями свойств полученных ШОС и их промышленными испытаниями.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОДУВКИ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕЙ ГАЗА.

Куркурин А.Э., Лизун А.Ю., Пильгаев Р.В. (МЧМ-086)\*  
Донецкий национальный технический университет

Современная технологическая схема производства стали обязательно включает выпечную обработку. Один из методов обработки - это продувка стали инертными окислительными и восстановительными газами. Для этого газ подводится сверху к расплаву через специальные погружные фурмы. Наиболее эффективным является способ продувки, при котором газ подводят снизу. Продувку осуществляют через специальные устройства – пористые и, состоящие из отдельных ячеек, пробки. От правильно выбранного устройства и режима продувки зависит эффективность технологического приёма.

В настоящее время, при проектировании процесса широко применяют методы моделирования. Эффективность процесса определяют по косвенным признакам - электросопротивление, температура, цвет и т.д.

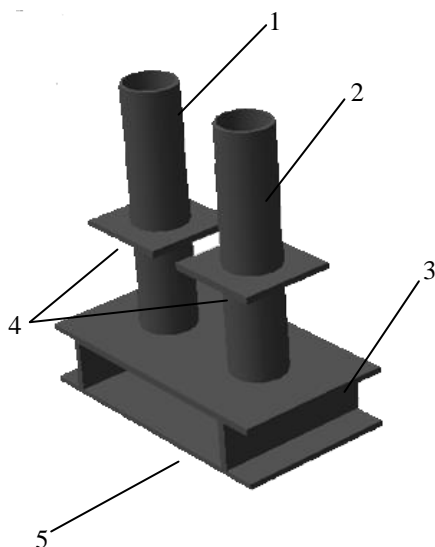


Рисунок 1.- Общий вид установки. 1.-Ёмкость 1. 2.- Ёмкость 2. 3.-Платформа 4.-Кронштейн 5.- Платформа

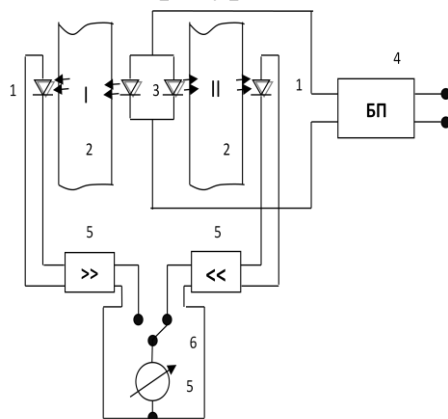


Рисунок 2.-Электрическая схема установки: 1.- Фотоприёмник. 2.-Ёмкости 1 и 2. 3.-Источник света. 4.-Блок питания. 5.-Усилители 6.- Переключатель. 7.Измерительный прибор.

На изменении оптических свойств жидкости основана лабораторная установка, предназначенная для исследования процессов продувки металла снизу (рис. 1,2). Водный раствор целого ряда химических веществ, при окислении кислородом воздуха меняет свою оптическую плотность или изменяет цвет.

Особенностью установки является то, что в её составе две одинаковые рабочие

ёмкости. Одна ёмкость является исследовательской, вторая – сравнительной. Это необходимо для того, чтобы автоматически исключалась случайная ошибка измерений из-за температуры, вибрации, а в нашем случае и дополнительная внешняя освещённость.

Изготовленная исследовательская установка позволяет определять скорость поглощения кислорода из воздуха при изучении влияния на процесс изменения конструкции продувочных устройств, расхода газа и других факторов.

Полученные результаты исследований позволят оптимизировать процесс выпечной обработки стали.

Руководитель – доц. кафедри МС Лебедев Е.Н.  
**ВПЛИВУ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ БРУХТУ НА МАСОПЕРЕНОС У  
 КОНВЕРТОРІ**

Лізун А. Ю. Пільгаєв Р.В. Куркурін А. Е. . (МЧМ-086)\*  
 Донецький національний технічний університет

Дослідження впливу фракційного складу брухту на масоперенос в конвертерній ванні було проведено на установці для вивчення зміни оптичної щільності рідини. При проведенні дослідів продування ванни у присутності спеціальної моделі металевого брухту (трьох варіантів фракційного складу), здійснювали газом що асимілюється.

Для проведення експериментів було створено три зонди. Відрізняються вони кількістю отворів, що у свою чергу імітували перекриття потоку донного дуття відповідно на 30,50 і 70 %.

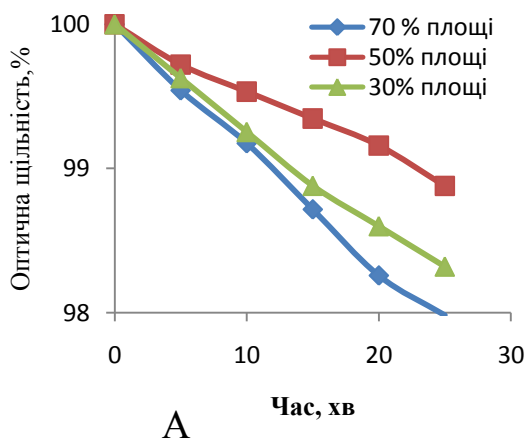
Отримані експериментальні дані представлені в таблиці .

Таблиця - Залежність оптичної проникності від заваленої площі.

	1	2	3	4	5	6
30 %площі	100	99,5417	99,17507	98,71677	98,25848	97,9835
50 %площі	100	99,71989	99,53315	99,34641	99,15966	98,87955
70 %площі	100	99,62687	99,25373	98,8806	98,60075	98,3209
t, мін	0	5	10	15	20	25

Після проведення серії експериментів були встановленні залежності які приведені на рисунку 1

З даних наведених на рисунку витікає, що при часі продування до 25 хвилин оптична проникність повністю прозорого розчину (100%), змінюється відповідно для першої ємкості до 97 %, а для другої 98,8 %.



Б

Рисунок 1. А - Зміна в часі оптичної щільності, Б - Зонд що здійснює опір масопереносу.

що струмінь повітря зустрічаючи на на своєму шляху перешкоду, подібнюється на менші струмені, при цьому площа контакту газу з рідиною збільшується.

Таким чином опір на шляху газового струменя суттєво знижує ефективність методів позапічної обробки

З рисунка виходить, що найбільша швидкість засвоєння кисню розчином спостерігалася при створенні опору зондом потоку повітря в 30% (98%), тобто струмінь практично безперешкодно проходить крізь зонд. Повільніше всього швидкість зміни оптичної щільності спостерігалася при перекритті зондом 50% дна (98,8%). При збільшенні площі перекриття зондом дна більше 50%, спостерігається зростання швидкості засвоєння кисню розчином. Це пояснюється тим,

## ВПЛИВ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ МЕТАЛОБРУХТУ НА ЙОГО РОЗПОДІЛ ПРИ ЗАВАЛЦІ.

Пільгаєв Р.В. Куркурін А. Е. Лізун А. Ю.(МЧМ-086)\*  
Донецький національний технічний університет

З метою зниження витрат у сталеварному виробництві застосовують сталевий і в незначних кількостях чавунний брухт. Виходячи з теплового балансу конвертерної операції, в цьому агрегаті можна переробляти залежно від складу і температури чавуну лише 20—30 % металевого лому. Якість брухту характеризується вмістом сірки, легуючих елементів, кольорових і неметалічних домішок.

Металобрухт по щільності розділяється на легковагий, такий, що володіє великою питомою поверхнею, і ваговитий, такий, що володіє малою питомою поверхнею. Насипна щільність лому визначає не тільки тривалість завалення, що є достатньо важливим показником, але хід конвертерної плавки і її показники.

При зіткненні з холодним металобрухтом рідкого чавуну останній охолоджується і можливе його повне або часткове твердіння. Таким чином, початкова стадія продування здійснюється в умовах, коли струмінь кисню потрапляє на в'язку твердорідку масу металу.

Для отримання додаткових даних про вплив фракціонного складу металобрухту при його постійній витраті 24 % були виконані лабораторні дослідження, вони включали:

- Розрахунок фракціонного складу металевого брухту для моделі 1:33.
- З урахуванням цього була визначена потреба кожного фракціонного складу на 1 пл. при заданій його витраті.

На підставі цих даних була складена програма досліджень, вона включала комбінації різних варіантів фракціонного складу металобрухту, при попутному вивченні рівномірності його розподілу в конвертері при заваленні.

Для завантаження шматків, що моделюють металевий брухт був сконструюваний совок з прозорого полімеру.

В якості лому використовували гіпсові моделі, пофарбовані в залежності від фракціонного складу У кисневий конвертер завантажують 17 видів металевого брухту. Розміри брухту були вираховані з пропорцій. За оригінальний розмір узяті реальні види брухту з ДСТУ. Для проведення дослідів відібрали 6 типорозмірів.

Таблиця 1 – використовувані види металобрухту

Характеристика	Розмір, м <sup>3</sup>	Колір	Об'єм, см <sup>3</sup>
Злиток	3,15	червоний	9,3
Пакети № 1,2,3,4	1,575	синій	4,65
Пакет №5	0,3	зелений	1
Брухт сталевий №4, брухт товстолистовий конструкційний	0,25	помаранчевий	0,8
Брухт сталевий №3, сталева обрізь, пакети №6	0,2	жовтий	0,8
Брикети зі сталеві стружки №2	0,01	білий	0,33

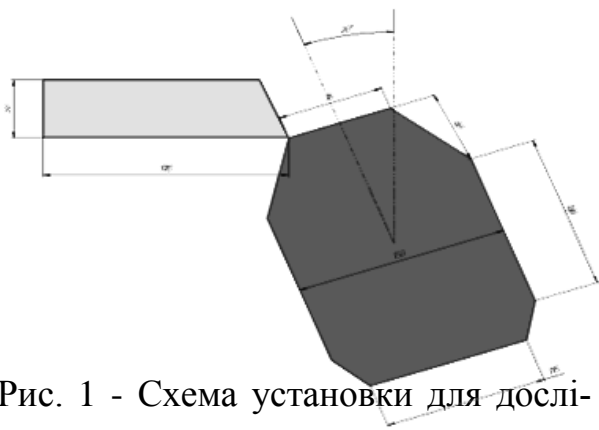


Рис. 1 - Схема установки для дослідження завантаження металевих брухту.  
фотознімків.

На рисунку 1 зображено завантаження металевих брухту. У савок завантажували різні за розміром шматки, які імітують металобрухт, а також складалися різні комбінації по розмірах шматків (100%, 50/50 %, 60/40%, 70/30%).

При завантаженні совка на його край положили завжди більш легкового брухту, а під борт укладався «металобрухт» більшої маси.

«Металобрухт» завантажувався в конвертер при його нахилі на кут  $20^\circ$ . Після завантаження положення «металобрухту» фіксувалося за допомогою

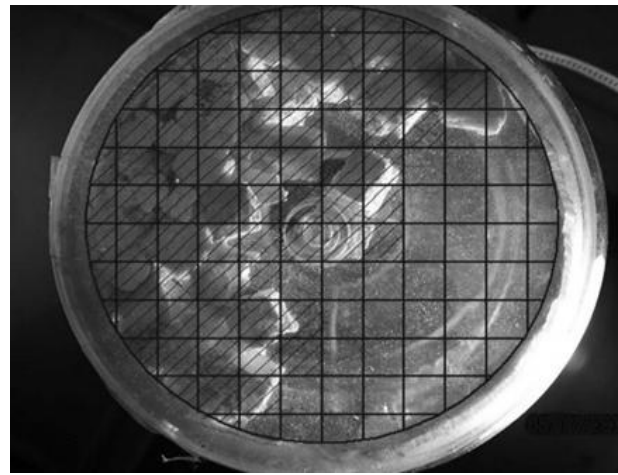
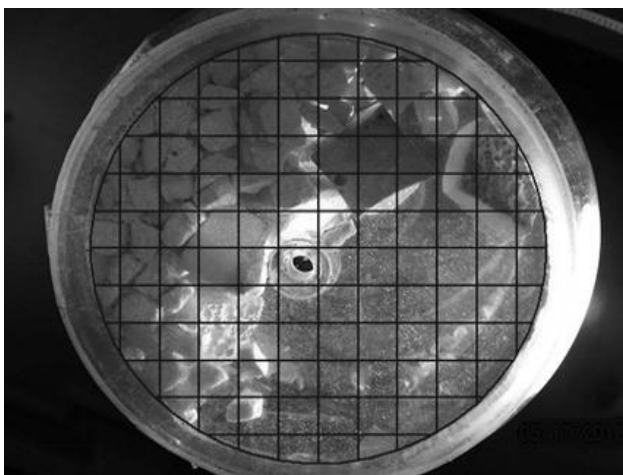


Рис. 2 - Площа займана металобрухтом.

Після аналізу всіх фотознімків був зроблений висновок, що металевий брухт після завантаження залишається лежати у стінки конвертера навіть після його підйому в робоче положення.

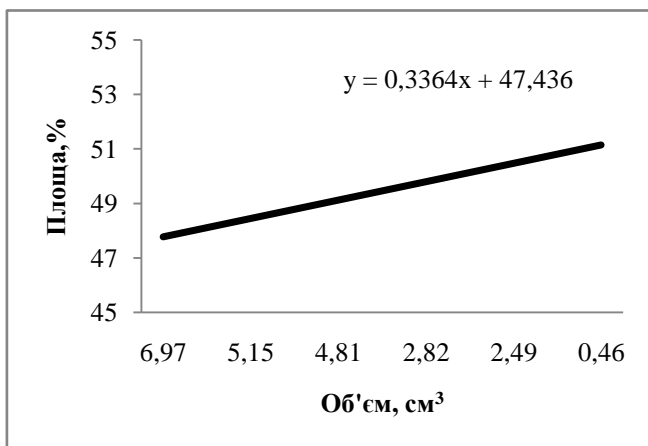


Рисунок 3 - Залежність площі дна займаною ломом від його об'єму

металобрухту виникає необхідність додаткового нахилу конвертору, що знижує продуктивність агрегату.

Крім того вивчалася займана площа дна після завантаження брухту. Підрахунок площі відбувався шляхом накладення на знімок сітки, площа квадрата складала  $1\text{см}^2$  (Рисунок 2).

Після аналізу всіх фотознімків було встановлено, що металобрухт займає не менше 40 та не більше 65 % дна конверетора. Дані були оброблені і отримані залежності (Рисунок 3).

Для раціональної конверторної плавки необхідно використовувати металевий брухт, за умови використання якого площа дна буде найбільш зайнята. Без відповідного підбору ме-



# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ



# ВПЛИВ ГЛИБИННОЇ ОБРОБКИ РОЗПЛАВІВ ПЛАЗМОРЕАГЕНТНИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Лавренко С.М. (ФС-62)

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут"

Збільшення міжфазної поверхні і часу контакту розплаву з рафінуючим середовищем прискорює газовиділення із сплавів в кінетичному і дифузійному режимах. Цьому сприяє подрібнення бульбашок рафінуючого газу, яке не тільки збільшує поверхню контакту фаз і час життя бульбашки в розплаві, але й прискорює масообмінні процеси на кордоні поділу за рахунок зменшення часу оновлення поверхневого шару бульбашки.

Газліфтне перемішування являється ефективним способом інтенсифікації процесів тепло та масообміну у розплавах. Однак великі втрати температури металу при обробці не дозволяють в повній мірі використати технологічні переваги газліфтних пристроїв. У ФТІМС НАН України була заснована та пройшла промислове випробування технологія обробки алюмінієвих сплавів у газліфтній установці з плазмовим нагрівом.

Подрібнення інтерметалідних фаз можливо пояснити впливом термотимчасової обробки, яка перешкоджає утворенню їх в сплаві і можливим руйнуванням інтерметалідів при високотемпературному впливі на розплав („тепловий удар”) плазмовим струменем. Під впливом високих температур в зоні стикання плазмового струменя, поряд з інтерметалідами можуть руйнуватись оксидні включення в інтенсивно перемішуваному розплаві. В результаті цього подрібнюється мікроструктура і підвищуються характеристики міцності сплавів у литому стані.

Структурні зміни розплаву, що проходять під дією плазмового струменя, добре спостерігається в евтектичному силуміні. Не дивлячись на значну розчинність кремнію в алюмінії, сплав АК12 при термічній обробці не зміцнюється. Це пояснюється високою швидкістю розпаду  $\alpha$ -твердого розчину і коагуляцією виділених частинок кремнію в силуміні. Тому єдиним способом підвищення фізико-механічних властивостей виливок з цього сплаву являється його модифікування спеціальними реагентами. Мікроструктура силуміну, виплавленого із низькосортної шихти з вмістом 80 % стружки, після різної тривалості обробки розплаву представлена на рис. (верхній знімок). Після продувки плазмовим струменем протягом 10 хв. зменшуються розміри структурних складових.

---

Керівник - доктор технічних наук, професор Богушевський В.С., НТУУ „КПІ”

Міцність та відносне видовження литого металу при цьому підвищуються до значень, що визначені ДСТУ для цього сплаву. При більш тривалій обробці збільшується об'єм металу, на який впливає високотемпературна дія плазмового струменя, змінюється будова розплаву та фізико-механічні характеристики виливок. Аналогічно розглянутим змінюється структура і властивості у виливках із сплаву АК5М2, виплавленого із свіжих шихтових матеріалів (рис. нижній знімок).

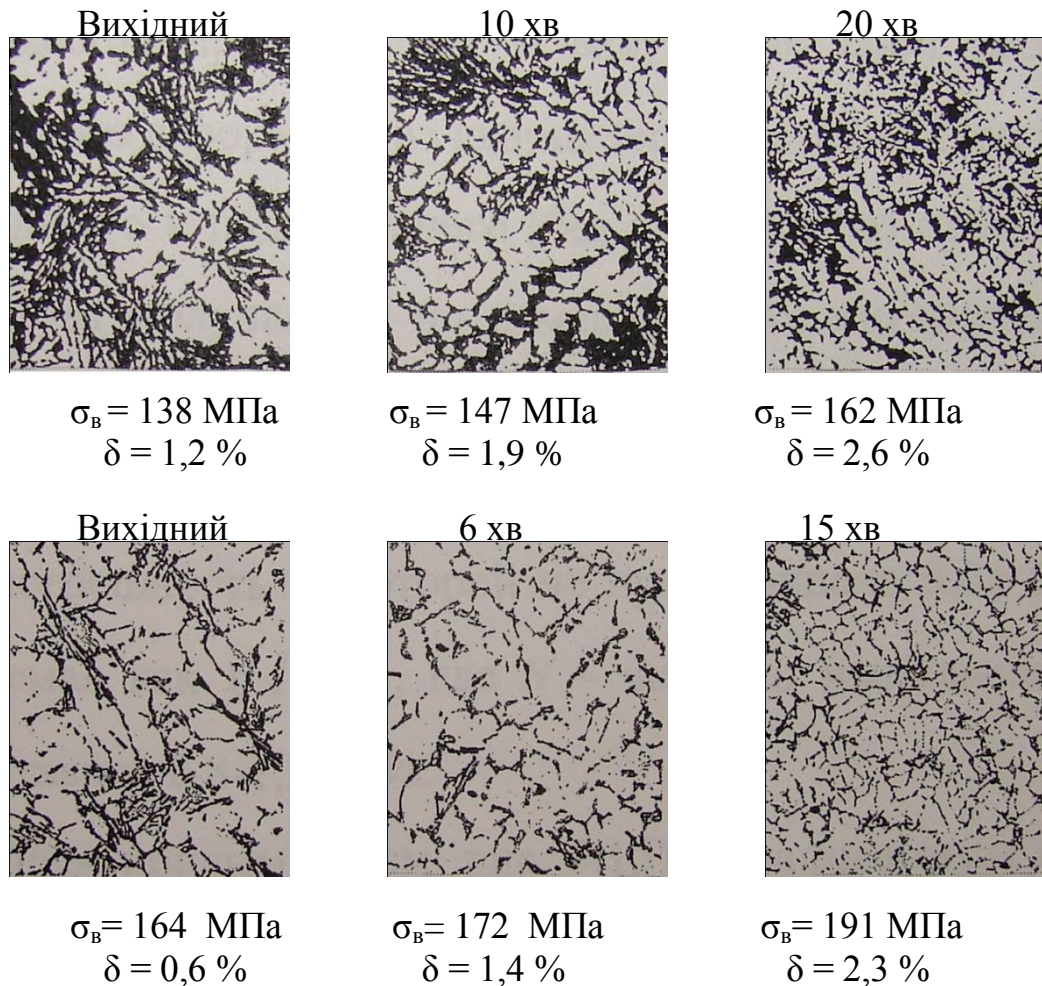


Рисунок - Мікроструктура і властивості виливок із сплаву АК12 з низькосортної шихти (верхній знімок) та АК5М2 із чушки (нижній знімок) після різної тривалості плазмової обробки розплаву.

Промислове освоєння розроблених технологій показало, що плазмореагентна обробка дозволяє: знизити вміст водню на 70 – 80 %, неметалевих включень – в 2 – 2,3 рази; збільшити межу міцності на розрив литого металу на 14 – 26 %, відносне подовження – на 35 – 54 %; зменшити брак виливків на 20 – 30 % і скоротити витрати на виробництво.

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА В МЕДИ, ПРИ НАГРЕВЕ ДУГОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Богушев А.П. (ФС-62)\*

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Многочисленными исследованиями установлено, что распределения ряда параметров дуги и плазмы характеризуется существенным изменением интенсивности по радиусу пятна нагрева. Это относится как к распределению плотностей тока и тепловых потоков, так и газодинамического давления. Кривые имеют общий характер и описываются, как правило, законом нормального распределения.

С учетом неравномерного распределения параметров плазмы в радиальном направлении, следует ожидать также и радиального изменения равновесных концентраций газа.

К настоящему времени разработано большое количество методов изучения процессов взаимодействия газа с жидким металлом в условиях дугового нагрева.

Однако, ни один из этих методов не позволяет производить отбор или фиксировать равновесные количества растворенного газа в разных точках пятна нагрева дуги или плазмы.

В связи с этим, было принято решение проводить исследования процессов локального, по пятну нагрева дуговой плазмы, взаимодействия газа с жидким металлом.

Для изучения был выбран метод закалки жидкого металла в водоохлаждаемом ячеистом кристаллизаторе непосредственно из состояния контакта с плазмой (рис.1).

Такая схема закалки обеспечивала фиксацию установившегося равновесного содержания газа в каждой точке поверхности пятна плазменного нагрева.

Отбор проб производился по двум схемам. В первом случае, вокруг центральной ячейки, симметрично располагались остальные. Это позволяло производить отбор и закалку проб как по пятну нагрева, так и в центре дуги (рис.1).

---

\* Руководитель – чл.-кор. НАН Украины, д.т.н., профессор, заведующий кафедры ФХОТМ Чернега Д.Ф.

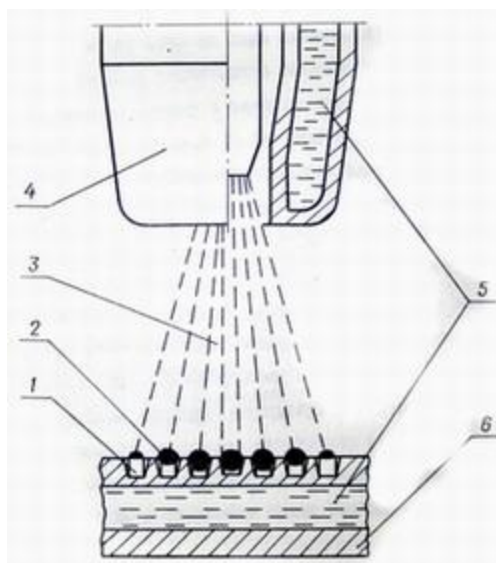


Рисунок 1 – Схема закалки металла в ячеистом кристаллизаторе:  
 1- исследуемый образец; 2 – расплавленный металл; 3 – плазменная дуга;  
 4 – плазмотрон; 5 – вода; 6 – кристаллизатор

Во втором варианте, вместо центральной ячейки в кристаллизатор был впаян электрод из лантанированного вольфрама, который обеспечивал дополнительную фиксацию анодного пятна плазменной дуги (рис.2).



Рисунок 2 – Расположение образцов в ячеистом кристаллизаторе с вольфрамовым электродом

В качестве проб были использованы образцы цилиндрической формы,

размером 4x7 мм, что позволило производить их надежное расплавление и за-  
калку на расстоянии 0...14 мм от оси плазменной дуги.

Расплавленные в кристаллизаторе образцы выдерживали в контакте с  
плазмой заданное время, в течение которого достигалось состояние равновесия,  
после чего плазмотрон отключался и жидкий металл обдувался холодным газом.

Поглощение газа в пятне нагрева дуговой плазмы был изучен примени-  
тельно к азоту. Такой выбор обусловлен достаточно низкой его диффузионной  
подвижностью, что позволяло надежно фиксировать равновесные количества  
растворенного азота в жидком металле.

Опыты проводились на чистой меди марки МВ в смесях аргона и гелия с  
азотом. Высокая теплопроводность и, таким образом, скорость кристаллизации  
позволяет при выбранном методе закалки надежно фиксировать растворенный  
азот.

В результате выполненных исследований была выведена зависимость аб-  
сорбции азота по радиусу пятна нагрева жидкой медью, которая представлена  
на рис.3.

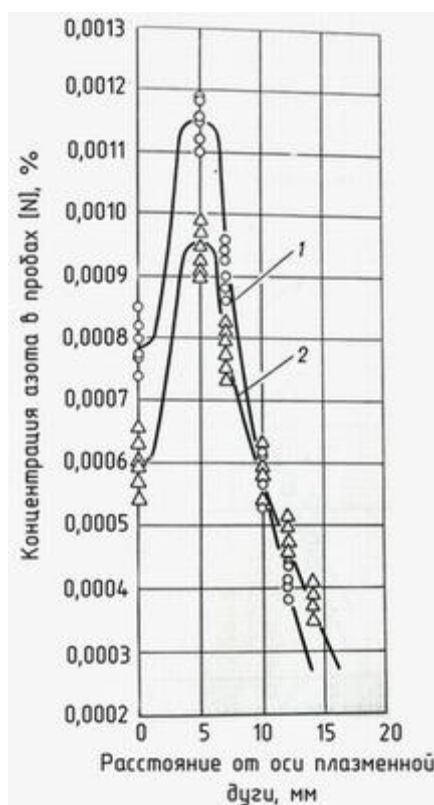


Рисунок 3 – Распределение концентраций азота в жидкой меди по радиусу пятна  
нагрева плазменной дуги в аргоне (1) и гелии (2)

## ЗМІНА ВМІСТУ ВОДНЮ В ЛАТУНІ ЛЦ40С ПРИ ПЛАЗМОВО-ІНДУКЦІЙНІЙ ПЛАВЦІ

Скачок О.Е. (ФС-62)\*

Національний технічний університет України «КПІ»

Плазмово-індукційна плавка дозволяє отримувати якісне лиття з 100% відходів. Додатковий плазмовий нагрів не тільки прискорює процес плавлення шихти, але і дозволяє ефективно очищати метал від неметалевих і газових включень.

У мідних сплавах активність водню відрізняється від його активності у чистій міді, що істотно позначається на вмісті газових домішок в сплавах. Ця різниця зумовлена головним чином наявністю тих чи інших легуючих елементів і домішок, що входять до складу сплаву, та їх спорідненістю до водню.

Газова пористість виливків з мідних сплавів обумовлена, головним чином, наявністю водню, основним джерелом потрапляння якого в метал є волога, що міститься в шихті та пічній атмосфері. При взаємодії металу з парами води останні дисоціюють і утворений водень легко розчиняється в металі.

Однак мідні сплави з досить високим вмістом цинку не схильні до поглинання водню завдяки високій пружності парів цинку над розплавом. Легування міді марганцем, хромом і залізом сприяє збільшенню розчинності, а кремнієм, цинком, свинцем і оловом – зменшення розчинності водню в міді.

При вивченні поведінки водню в мідних сплавах у процесі плазмової плавки об'єктами досліджень служила свинцювата латунь ЛЦ40С, хімічний склад якої (за ГОСТ 859-66) наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сплаву ЛЦ40С

Сплав	Масова доля компонентів, %		
	Cu	Pb	Zn
ЛЦ40С	57-61	0.8-1.9	решта

В процесі дегазації вміст водню в розплавах експоненціально наближається до постійної величини, чисельно рівній рівноважній розчинності водню в металі при температурах дослідів, обумовлених струмовим навантаженням на дузі, парціальним тиском водню і пари води в плавильній камері.

Якщо початковий вміст водню в сплаві невеликий ( $1-2\text{см}^3/100\text{г}$  металу), поведінка його при плавці характеризується більш складною залежністю, а процес плавки ділиться на два періоди: I період – адсорбція водню сплавом з вологи

\* Керівник – д.т.н. Шаповалов В.О.

пiчної атмосфери i плазмоутворюючого газу, II перiод – десорбцiя водню до рiвня рiвноважної розчинності в металі. Два рiзні перiоди плавки добре видно на кiнетичних кривих (рис. 1), що утворюють злам (перегин) приблизно через 25-30с, пiсля початку плавки. Такий характер взаємодії водню з розплавом пояснюється тим, що пiсля запалювання плазмової дуги відбувається випаровування вологи зi стiнок камери та iнших охолоджуваних елементiв. У газовій фазі над рiдким металом пiдвищується концентрація водяної пари, внаслідок чого в розплавi рiзко зростає вміст водню. Пiсля закінчення цього часу вологiсть в плавильній камері поступово знижується, тому зменшується i концентрація водню в сплавi. Динамiчна рiвновага водню в розплавi досягається приблизно через 120с.

Надалі вміст вологи в атмосфері плавильної камери знижується через те, що через плазмотрон щохвилини надходить 10...12л аргону. У цих умовах досягнута в розплавi концентрація водню iстотно перевищує рiвень динамiчної рiвноваги, тому у газообмiнних процесах починає переважати швидкiсть десорбцiї водню i вміст його в розплавi знижується.

Аналіз отриманих кiнетичних кривих дозволяє зробити висновок про те, що кiнцевий вміст водню практично не залежить вiд його початкової концентрації в металі i визначається вологiстю пiчної атмосфери.

Використання бiльш чистого аргону для плавки, а також попереднє його сушіння з метою зниження концентрації водяних парiв не принесла очiкуваного результату i практично не змiнила рiвень залишкового вмісту водню в сплавi.

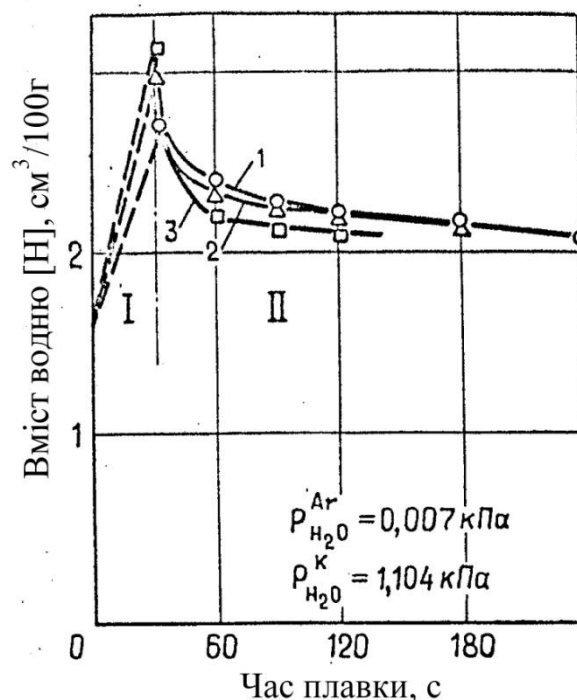


Рисунок 1 – Зміна вмісту водню в латуні ЛЦ40С при різних значеннях струму дуги:  
 I – період адсорбції водню; II – період десорбції водню;  
 1 – 200А; 2 – 300А; 3 – 450А



## ТЕРМОДИНАМІКА ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ТИТАНАТІВ

Белая Л. (МЦ-10), Листопад Д.А. (аспірант)\*  
Запорізька державна інженерна академія

Про можливість протікання тієї або іншої хімічної реакції можна судити, в першому наближенні, по зміні її термодинамічного потенціалу. Як відомо, чим більше зміна ізобарного термодинамічного потенціалу при протіканні реакції, тим вище хімічна спорідненість, тобто здатність речовин вступати в хімічну взаємодію між собою.

Дані про зміну ізобарного потенціалу (енергії Гіббса) хімічних реакцій отримують в результаті розрахунку із застосуванням законів термодинаміки. При цьому використовують значення теплоємностей початкових речовин і продуктів реакції, теплот утворення хімічних сполук і ентропії всіх компонентів:

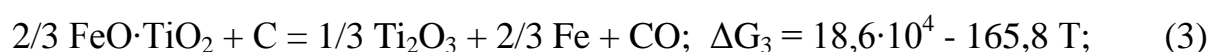
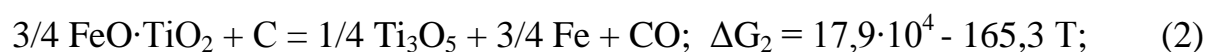
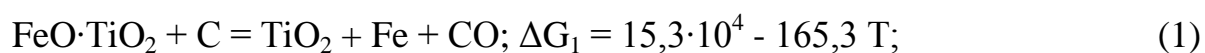
$$\Delta G_T = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0,$$

де  $\Delta G_T$  - зміна ізобарного термодинамічного потенціалу залежно від температури, Дж/моль ;

$\Delta H_T^0$ ,  $\Delta S_T^0$  - зміна ентальпії, Дж/моль і ентропії, Дж/(моль·К) реакції (відповідно) з температурою.

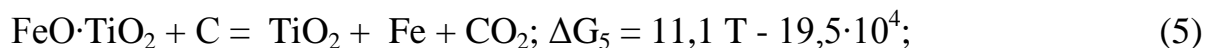
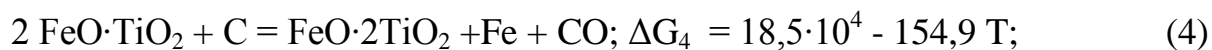
З декількох можливих реакцій переважно буде протікати та, для якої абсолютне негативне значення зміни термодинамічного потенціалу більше.

Продуктами відновлення титанатів можуть бути різні складні речовини; при достатній повноті протікання реакцій такими речовинами є головним чином  $Ti_2O_3$ ,  $Ti_3O_5$ , двоокис титану  $TiO_2$  і металеве залізо Fe. Рівняння зміни ізобарних термодинамічних потенціалів, що приводяться нижче, залежно від температури для реакцій відновлення метатитану заліза вуглецем розраховані, виходячи з протікання реакції до різних кінцевих продуктів. Значення термодинамічних потенціалів представлені у Дж/моль:



---

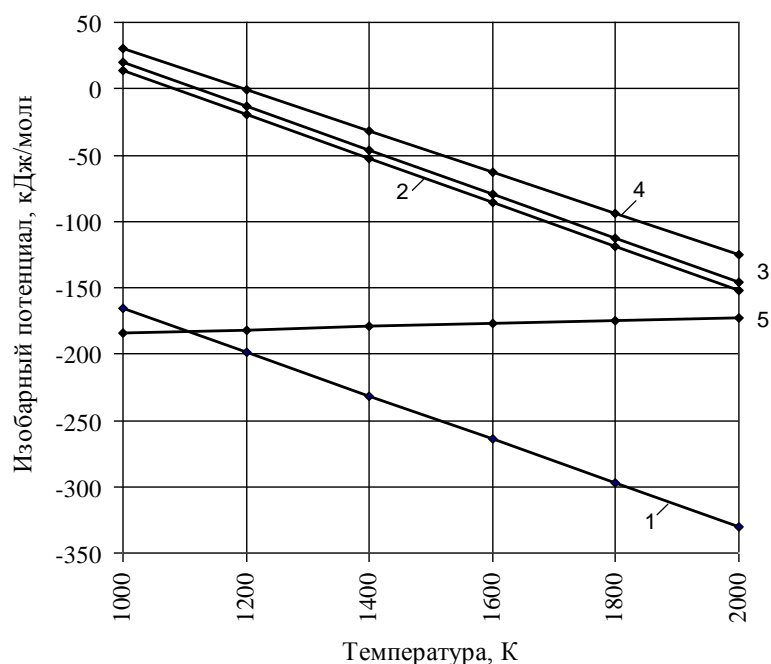
\* Научный руководитель – д.т.н., профессор, академик АИН Украины, зав. каф. металлургии цветных металлов Червонный И. Ф.



На підставі термодинамічного аналізу реакцій відновлення сполук титану, результати якого приведені на рис., встановлено наступне – термодинамічно можливі реакції відновлення титанатів заліза з утворенням металевого заліза, двоокису титану, а також нижчих оксидів титану  $\text{Ti}_3\text{O}_5$  і  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ . Аналіз залежності ізобарно-ізотермічного потенціалу від температури показує, що реакції відновлення протікають інтенсивніше з підвищенням температури.

Головним завданням при відновній плавці титанових концентратів, є найбільш раціональне здійснення реакцій відновлення оксидів заліза. Тому дуже важливо знати закономірності протікання цих реакцій на будь-якій стадії процесу плавки.

Швидкість відновлення оксидів заліза з титанових концентратів визначається як мінералогічним складом матеріалу, що переробляється, так температурою і тривалістю процесу, величиною і пористістю зерен концентрату, виглядом і кількістю відновника, способом здійснення процесу відновлення і так далі.



1 – реакція (1); 2 – реакція (2); 3 – реакція (3);  
4 – реакція (4); 5 – реакція (5);

Рисунок – Зміна ізобарно-ізотермічного потенціалу реакцій відновлення ільменіту

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПЕЧИ С ПОДОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Тищенко А.П. (МЧМ-10в)\*

Донецкий национальный технический университет

На металлургических предприятиях имеются значительные накопления железосодержащих техногенных отходов: окалина, различные шламы, шлаки и т.д. и их количество со временем возрастает. В условиях растущих цен на основные виды шихтовых материалов, используемых в сталеплавильном производстве: металлолом, чугун, металлизированное сырье, актуальной становится задача использования железосодержащих отходов.

Способы утилизации таких отходов можно разделить на твердофазные и жидкофазные. Жидкофазные процессы более производительны, менее требовательны к параметрам сырья (в частности допускают применение материалов с более низким содержанием оксидов железа), в большинстве случаев не требуют специальной предварительной подготовки шихты (например, изготовления окатышей или брикетов). Продуктом жидкофазного процесса является металл, близкий по составу к чугуну доменной плавки. Из существующих разработок в данной области можно отметить жидкофазный процесс “OxyCup” фирмы Kuttner GmbH (Германия). Однако он требует достаточно затратной подготовки исходных материалов: перемешивание, брикетирование, сушка брикетов и предполагает использование дефицитного кокса в количестве 200-300 кг/т продукта, что существенно повышает инвестиционные затраты.

Актуальной задачей представляется разработка электротермического процесса восстановления железосодержащих отходов с использованием низкосортных углей или отходов коксового производства. Разработана и изготовлена лабораторная установка вместимостью 100 кг (рисунок).

Печь представляет собой футерованную плавильную емкость 1 с подовыми электродами 2, соединенными с источником переменного тока через понижающий трансформатор. Размеры емкости (наружные) 1990x580x600 мм, толщина футеровки стен 65 мм, пода- 130 мм. Для футеровки использовали хромомагнезитовый кирпич ПХС. Печь снабжена шахтой 3, формирующей в рабочем пространстве агрегата конус 4 из смеси восстанавливаемого материала и углеродистого восстановителя. Для интенсификации процесса в своде 5 установлены две газокислородные горелки 6. Удаление пылегазовой среды, образующейся при плавке, производится через патрубок 7.

---

Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ЭлМет Троянский А.А.

Печь имеет две летки для выпуска металла (с обеих сторон конуса) и одну шлаковую летку.

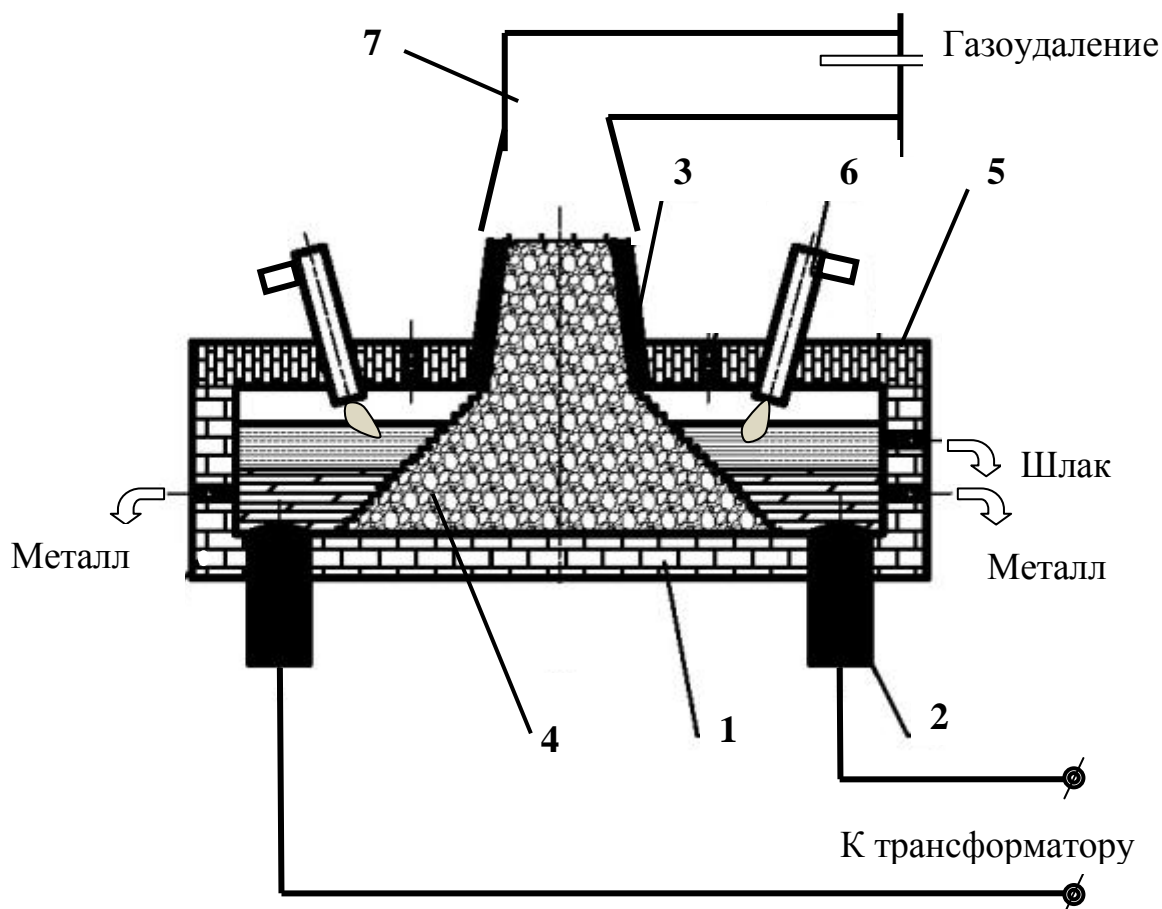


Рисунок - Схема установки электротермического восстановления. Обозначение позиций дано в тексте

В качестве исходной шихты использовали железосодержащие «хвосты» ООО «Транс-Трейд» состава, %:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -86;  $\text{FeO}$ -6;  $\text{SiO}_2$ -6;  $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  -2; в качестве восстановителя - антрацит марки АС.

Проведена опытная плавка, в течение которой за 110 минут из 120 кг исходного материала было получено 42 кг металла. Технологические параметры опытной плавки были следующие: напряжение 60-70В; ток 500-700А; расход электроэнергии 1,5 кВтч/кг; расход кислорода и природного газа соответственно 0,052 и 0,023 м<sup>3</sup>/кг продукта.

Состав полученного металла, %: Fe=87,7; Cr= 6,7; C= 2,6; S=0,03; P= 0,02.

Опробование показало принципиальную работоспособность технологии. Выход годного составил 54% по металлу. Хром в металле, по-видимому, был электрохимически восстановлен из огнеупоров.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Лучкова А. (зр. МЦ-10м), Листопад Д.А. (аспірант)\*,  
Запорожская государственная инженерная академия

Продуктом магниетермического восстановления тетрахлорида титана является блок реакционной массы, представляющий собой губчатый титан, пропитанный магнием и хлоридом магния. Реакционная масса в среднем по блоку имеет следующий состав, %: Ti 55...60, Mg 25...35, MgCl<sub>2</sub> 9...12. Также в ней присутствуют низшие хлориды титана (0,01...0,1 %). Для получения губчатого титана из реакционной массы проводят вакуумную сепарацию. Процесс вакуумной сепарации реакционной массы основан на значительной разнице равновесного давления паров магния, хлористого магния и титановой губки при температурах 960...1020 °С. При этом хлорид магния и магний, имеющие достаточно высокое давление паров, испаряются и конденсируются в специальном устройстве – конденсаторе.

При разогреве реакционной массы, имевшей контакт с влажным воздухом, происходит окисление, хлорирование, потери металлического титана и увеличение содержания внутреннего хлора. После удаления Mg и MgCl<sub>2</sub> с открытой поверхности начинается длительное испарение из капилляров, скорость которого увеличивается с уменьшением давления в аппарате сепарации и с увеличением поверхности испарения. Лимитирующей стадией всего процесса является диффузией паров Mg и MgCl<sub>2</sub> в капиллярах и порах блока губчатого титана, а также уменьшающаяся во времени теплопроводность пористого блока титана в результате непрерывного испарения Mg и MgCl<sub>2</sub>. Давление пара MgCl<sub>2</sub> начинает снижаться при его содержании от 10 до 15 %.

Скорость испарения Mg и MgCl<sub>2</sub> можно описать уравнением:

$$w = 5,833 \cdot 10^{-2} \cdot (p_1 - p_0) \cdot F \cdot \sqrt{\frac{M}{T}},$$

где  $w$  – скорость испарения вещества, г/(см<sup>2</sup>·с);  $p_1$  – парциальные давления паров Mg или MgCl<sub>2</sub>, (мм. рт. ст.);  $p_0$  – общее давление в системе, (мм. рт. ст.);  $F$  – поверхность испарения, (см<sup>2</sup>);  $M$  – молекулярная масса испаряющегося вещества, (г/моль);  $T$  – температура, (°С)

---

\* Научный руководитель – д.т.н., профессор, академик АИН Украины, зав. каф. металлургии цветных металлов Червонный И. Ф.

Как показали расчеты (рис.) скорость испарения магния значительно выше, чем  $MgCl_2$ , что подтверждается практикой – в начале процесса вакуумной сепарации интенсивно испаряется смесь  $Mg$  и  $MgCl_2$ , после чего долго (до 10 часов для 0,87 т аппарата) отгоняется  $MgCl_2$ .

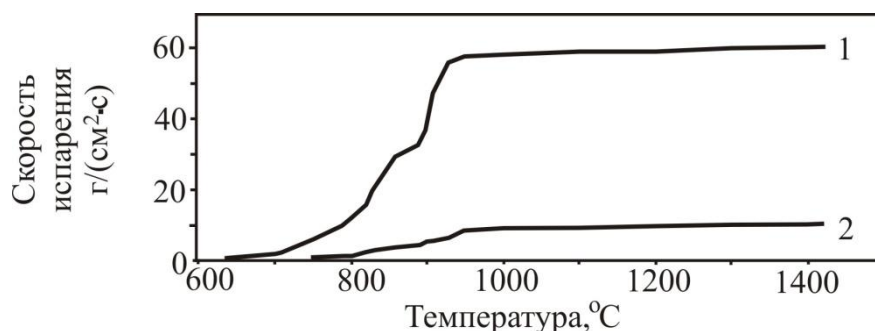


Рисунок – Температурная зависимость скорости испарения  $Mg$  и  $MgCl_2$  от давления в аппарате вакуумной сепарации (1 –  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст., 2 – 0,5 и 0,05 мм. рт. ст;).

При повышении температуры в реакторе выше 600...700 °С начинается бурная возгонка магния и хлористого магния (см. рис.), в результате чего давление в аппарате сепарации возрастает, также возрастает температура конденсатора в результате конденсации  $Mg$  и  $MgCl_2$  на его внутренних стенках. В дальнейшем давление в аппарате уменьшается. Продолжительность вакуумной сепарации в период падающей скорости определяется структурой материала и длиной свободного пробега молекул.

В таких условиях наиболее рационален ступенчатый подъем температуры (от 750 до 900 и от 930 до 1050 °С) и разряжении до  $5 \cdot 10^{-3}$  мм. рт. ст. т.к. при дальнейшем повышении температуры больше 1050 °С губчатый титан будет образовывать эвтектический сплав с материалом реактор и загрязняться железом и никелем. Разряжение менее  $5 \cdot 10^{-3}$  мм. рт. ст. нецелесообразно, т.к. скорость испарения будет незначительно увеличиваться. Изменение остаточного давления мало влияет на длительность этой стадии процесса. Глубокое удаление хлора при меньшем остаточном давлении объясняется большей степенью дегазации поверхности металла.

На скорость вакуумной сепарации значительное влияние оказывает состав реакционной массы и структура блока губчатого титана. Сепарация реакционной массы, полученной при низком коэффициенте использования магния, заканчивается быстрее, чем при высоком. Скорость испарения из мелких пор меньше, а из крупных – больше, чем со свободной поверхности расплава. Таким образом, при небольшой поверхности испарения в верхней части задерживается удаление из губчатого титана соли, поднявшейся из нижних слоев. Сокращение длительности вакуумной сепарации возможно, при сокращении продолжительности прохождения паров  $MgCl_2$  внутри блока, при условии сохранения теплопроводности реакционной массы на уровне монолитного блока, что требует дальнейшей модернизации технологического оборудования.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ НА СТЕПЕНЬ УСВОЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Баландин Д.С. (МЧМ-10вм)\*

Донецкий национальный технический университет

В современных условиях активное внедрение украинских производителей стали в мировой рынок требует соответствующей сертификации металлопродукции, отвечающей по качественным характеристикам международным стандартам. Это достигается наличием на предприятиях черной металлургии Украины и, в частности, в сталеплавильном производстве необходимого оборудования и высокоэффективных технологических процессов выплавки и разлива стали, а также использование высокотехнологичных и более экономичных материалов.

Используемая в настоящее время технология производства стали, предусматривает при выпуске металла из сталеплавильного агрегата в ковш предварительное раскисление. Для раскисления используют чушковый алюминий, ферросилиций, силикокальций. В качестве альтернативы FeSi предлагается к применению комплексный раскислитель, виде карбид кремния (SiC), определенной фракцией и химического состава.

Предлагаемая технология раскисления основана на высоком сродстве к кислороду карбида кремния, при этом активность комплексного раскислителя (SiC) близка к активности алюминия и на много выше, чем отдельно у кремния и углерода.

В настоящее время при наличии агрегатов печь-ковш, окончательное раскисление также может быть обеспечено SiC путем раскисления шлака в ковше, тем самым частично отказаться от алюминия.

Более высокие усвоения кремния и марганца связаны с физико-химическими процессами, происходящими при усвоении карбида кремния металлом, в результате чего активность кислорода снижается в большей степени, чем при использовании ферросилиция и, соответственно, угар кремния и марганца в данных условиях меньше.

Согласно полученным данным опытных плавов с использованием карбида кремния металлургического (SiC), видно, что степень усвоения элементов Si, C, Mn на выпуске металла в ковш, зависит от содержания углерода, - чем больше содержание углерода, тем выше степень усвоения элементов.

\*Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ЭМСиФ Храпко С. А.

Анализ полученных результатов (при сопоставимых начальных условиях: вес плавки, длительность обработки на У КП, расход электроэнергии, начальный хим. состав металла, расход раскислителей) показал следующее:

- усвоение кремния от выпуска до начала обработки плавки на У КП на опытных и сравнительных плавках практически не отличаются (31,4% и 30,6%, соответственно);

- сквозное усвоение углерода, кремния и марганца выше на опытных плавках – 96,3%; 44,1% и 92,6% против 87,4%; 38,0% и 88,0% на сравнительных, соответственно;

- степень десульфурации и степень использования извести на удаление серы также выше на опытных плавках – 76,4% и 7,1% против 72,8% и 6,3% на сравнительных.

Несколько лучшая степень десульфурации на опытных плавках объясняется тем, что на сравнительных плавках для науглероживания металла использовались антрацит (АС) и УСМА (АШ), которые вносят дополнительное количество серы и золы, ухудшая тем самым показатели процесса рафинирования металла.

Сквозное усвоение элементов опытных плавок с использованием карбида кремния металлургического выше, чем сравнительных плавок с использованием ферросилиция ФС65 и ФС45.

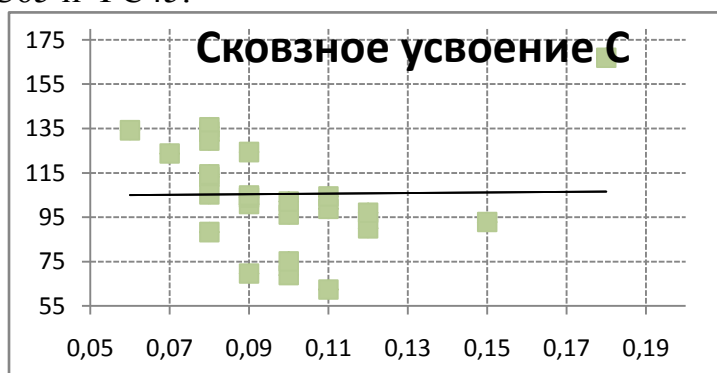


Рисунок - Диаграмма сквозного усвоения С (с использование SiC)

Экономический эффект при использовании карбида кремния вместо ферросилиция ФС65 и ФС45 при выплавке стали марки СтЗсп, разливаемой на МНЛЗ открытой струей значительно выше.

Учитывая отсутствие в карбиде кремния вредных примесей, присутствующих в ферросилиции (цветные металлы, неметаллические включения, растворенные газы), а также при использовании его в технологии внепечной обработки стали на У ПК, следует ожидать улучшения качественных показателей по механическим свойствам, содержанию неметаллических включений и газов в готовом прокате и как следствие уменьшение затрат на производство некоторых марок стали не требующих дополнительной обработки в виде вакуумирования.



## **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ И ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ**

Бондаренко М. Ю. (МЧМ-10вм)\*

Донецкий национальный технический университет

Повышение качества металла является важнейшей народно-хозяйственной проблемой. Актуальность проблемы «чистой стали» обусловлена непрерывным ужесточением требований, предъявляемых потребителями к качеству металла. Согласно современным представлениям, определяющее влияние оказывает не только абсолютное содержание включений в металле, но и их состав, форма, распределение и деформируемость при прокатке.

Теория и практика раскисления, а также десульфурации значительно расширили представления о поведении кислорода, серы, оксидных и сульфидных включений. Выявлена также возможность воздействия на состав и морфологию включений путем их модифицирования присадкой различных элементов – модификаторов.

Проблема устранения или снижения вредного влияния включений на долговечность сталей для различных изделий и для каждой конкретной среды является одной из наиболее сложных в металлургии. Проблема качества поэтому в значительной степени должна решаться оптимизацией состава и структурных составляющих системы сталь - включение, т. е. наиболее высоких эксплуатационных характеристик стали.

Эндогенные неметаллические включения образуются при реакции компонентов стали с растворёнными в ней кислородом, серой и азотом.

Экзогенные неметаллические включения представляют собой продукты эрозии огнеупоров, частицы шлака, включения из ферросплавов, руды и т.д., не успевшие всплыть на поверхность жидкого металла или раствориться.

В особенности качество высокоуглеродистой стали для металлокорда обусловлено ее чистотой по неметаллическим включениям. В данном случае важное значение приобретает размер, форма, состав (отсутствие включений, обогащенных  $Al_2O_3$ ). Результаты расчетов показывают, что активность  $Al_2O_3$  имеет пикообразный характер и что при малой основности активность глинозёма меньше чем при высокой.

$CaO$  неблагоприятно воздействует на удаление глинозёма, так как не образует прочных связей. Помимо этого высокоосновный шлак препятствует удалению неметаллических включений за счет присутствия в нём серы, которая является поверхностно активным элементом и сосредотачивается

\*Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ЭМСиФ Храпко С. А.

на границе металл-шлак являясь препятствием для неметаллических включений.

*Раскисление в порядке возрастания температуры плавления продуктов раскисления.*

При такой последовательности присадок раскислителей образовавшиеся неметаллические включения с низкой температурой плавления будут преимущественно жидкоподвижные. Эти жидкоподвижные включения могут выступать в роли центров зарождения неметаллических включений при присадке следующих порций раскислителя.

*Раскисление в порядке возрастания сродства к кислороду раскислителя.*

Последовательность присадки раскислителей в порядке возрастания сродства к кислороду также способствует образованию легкоплавких смесей оксидов. Это происходит за счёт восстановления компонентов неметаллических включений раскислителем.

При использовании ферромарганца необходимо отдавать небольшое количество ферросилиция, а количество раскислителя должно быть увеличено. В этом случае образующиеся неметаллические включения будут иметь смешанный состав. Ферромарганец использовать нежелательно, так как для получения благоприятных неметаллических включений необходимо одновременно отдавать ферросилиций. Поэтому силикомарганец имеет преимущества по сравнению с ферромарганцем с точки зрения образующихся неметаллических включений.

Для глубокого раскисления можно ввести небольшое количество алюминия. Перед вводом алюминия содержание кислорода будет низкое (так как большая часть кислорода связана силикомарганцем и ферросилицием) и потому образующиеся включения  $Al_2O_3$  будут малых размеров.  $Al_2O_3$  преимущественно будет находиться на наружной части включения, за счёт чего включение будет иметь низкую смачиваемость, что способствует его удалению из металла.

Для благоприятного состава неметаллических включений предлагается следующая схема раскисления:

Первым вводится силикомарганец, вторым ферросилиций и последним вводится в небольших количествах алюминий. В результате неметаллические включения будут иметь смешанный состав типа  $MnO - SiO_2 - Al_2O_3$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ КЭШП

Зинченко А.С. (МЧМ-10вм)\*

Донецкий национальный технический университет

Сегодня широкое применение титана и титановых сплавов ограничивается их высокой ценой, обусловленной сложной и многостадийной технологией производства. Вакуумнодуговой и электроннолучевой переплавы, плазменно-дуговая плавка на холодном поду сегодня являются основными технологическими процессами для производства слитков из титана и его сплавов. Однако в ряде случаев и они уже не обеспечивают необходимого качества металла. Существенно расширить возможности вакуумных переплавных процессов может электрошлаковый переплав (ЭШП), который характеризуется простотой используемого оборудования, гибкостью технологических параметров, высоким качеством и относительно низкой себестоимостью получаемого металла. Однако "классический" ЭШП, как открытый металлургический процесс, не позволяет получать качественные слитки из высокорекреационных металлов, таких как титан, хром, ванадий и другие.

В Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) (ранее известном как Донецкий политехнический институт) длительное время проводятся научные исследования и разработка электрошлаковой технологии. В последние годы исследования были сфокусированы на новом варианте технологии ЭШП в контролируемой атмосфере под "активными" металлсодержащими флюсами (КЭШП). Как показал цикл работ, выполненных в ДонНТУ электрошлаковый переплав металлов и сплавов под шлаковыми системами с активными добавками в печах камерного типа, позволяет реализовать ряд задач, решение которых традиционными способами спецэлектрометаллургии за труднительно, а в некоторых случаях и невозможно. К таким задачам можно отнести и получение высококачественных слитков из титана, его сплавов, и интерметаллидов. Инновационные аспекты и главные преимущества Наличие камеры и контролируемой атмосферы создает благоприятные условия для эффективного рафинирования, модифицирования и легирования металлов и сплавов при использовании активных компонентов в шлаке (кальций, редкоземельные металлы и др.).

\*Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ЭМС Рябцев А.Д.

К преимуществам КЭШП можно отнести:

- Высокое качество после первого переплава (хорошая химическая и структурная однородность и поверхность слитка не требующая дополнительной механической обработки);
- Возможность гарантированного снижения содержания примесей (например, обогащенных азотом включений титана);
- Уменьшение количества переплавов для получения качественных слитков;
- Возможность получения квадратных и прямоугольных слитков, что очень важно для дальнейшей механической обработки (прокатки);
- Использование более простого и дешевого оборудования;
- Снижение потребления энергии.

В настоящее время сотрудниками ДонНТУ разработаны теоретические основы данного процесса КЭШП, исследованы его основные закономерности, что позволило создать и реализовать технологии получения товарных слитков из различных высокорекреационных металлов, таких как титан, хром и их сплавы.

Эта технология может быть использована для решения различных задач:

1. Производства высококачественных титановых слитков из титановой губки или порошка.
2. Рафинирование первичного сплава TiAl, полученного методом алюминиотермического восстановления оксидов титана в процессе производства компактных слитков.
3. Утилизация титановых отходов (скрап, стружка). Камерный ЭШП может быть перспективным методом для производства высококачественных слитков и из других высокорекреационных металлов: Zr, V, Cr, и их сплавов.

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА КИНЕТИКУ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ СТАЛИ

Когтев С.А. (МЧМ-10вм)\*

Донецкий национальный технический университет

Современное производство стали ответственного назначения требует высокой чистоты металла по содержанию вредных примесей, в частности серы (< 0,001 – 0,003%). В настоящее время особо низкое содержание серы в металле чаще всего достигается путем десульфурации на агрегате печь – ковш (АПК).

Высокая степень десульфурации стали на АПК достигается только в условиях интенсивного перемешивания металла и шлака аргоном. Аргон при продувке не растворяется, поэтому в объеме жидкой стали образуется большое количество пузырей, которые интенсивно перемешивают металл и выносят на его поверхность неметаллические включения. Перемешивание аргоном интенсифицирует массоперенос серы из металла в шлак.

Приведено уравнение кинетики десульфурации для момента времени  $t$ :

$$\frac{d[\%S]_{\tau}}{d\tau} = -K_s \frac{A}{V} * ([\%S]_{\tau} - \frac{(\%S)_{\tau}}{L_s}) \quad (1)$$

где  $K_s$  – коэффициент, характеризующий условия перемешивания,  $m^3 \cdot c^{-1}$ ;  $A$  – площадь реакционной зоны на уровне поверхности раздела металл-шлак,  $m^2$ ;  $V$  – объем стали,  $m^3$ ;  $[\%S]_{\tau}$  и  $(\%S)_{\tau}$  – концентрации серы в металле и шлаке в момент  $t$ ;  $L_s$  – коэффициент распределения серы между металлом и шлаком.

Вид уравнения отражает ограничение скорости, обусловленное главным образом переносом серы в жидкой металлической фазе, и остаётся несправедливым для всей обычной области низких концентраций серы в металле ( $[S] < 0,05\%$ ); для жидких шлаков, для одинакового во всём объёме металла значения  $[S]$ . Таким образом, необходимо, чтобы длительность гомогенизации была меньше скорости массопереноса к поверхности раздела.

Для установок различных размеров и объёмов жидких фаз получено удовлетворительное описание реакций металл-шлак при десульфурации в ковшах с перемешиванием инертным газом, выражающее  $K_s$  в следующем виде:

$$K_s = \beta * (D_s * \frac{Q}{A})^{1/2} \quad (2)$$

где  $D_s$  – коэффициент диффузии серы,  $m^2 \cdot c^{-1}$ ;  $Q$  – реальный объёмный расход газа,  $m^3 \cdot c^{-1}$ ;  $\beta$  – коэффициент, определённый экспериментально и позволяющий учесть совокупность результатов.

Энергия перемешивания может быть оценена по уравнению:

$$E = \frac{U \cdot R \cdot T}{1467} * \ln \frac{P_a}{P} * (1 - \frac{289}{T}) \quad (3)$$

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

где  $E$  – энергия, В;  $U$  – скорость потока, н.л/мин.;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг\*К);  $P_a$  – атмосферное давление в ковше или камере, Па;  $P$  – давление на поверхности раздела металл-шлак, Па;  $T$  – абсолютная температура.

Энергия перемешивания, как это следует из уравнения (3), пропорциональна скорости газового потока. На рисунке показано влияние удельного газового перемешивания или скорости газового потока на кинетический коэффициент десульфурации приведено для гипотетического ковша — печи емкостью 220т с диаметром 3,8 м. Заштрихованная площадь, определенная для ковша-печи емкостью 60 т, установки ВAD емкостью 50 т, ковшей емкостью 150 и 250 т.

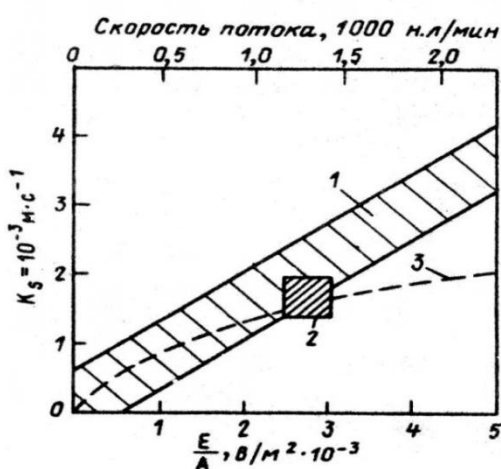


Рисунок – Зависимость кинетического коэффициента десульфурации при перемешивании в ковшах от энергии перемешивания и скорости газового потока.

На рисунке приведены также данные рафинирования стали аргоном в электропечи с рафинированием газом. Эти результаты показывают, что кинетический коэффициент десульфурации является функцией удельной энергии перемешивания поверхности. Не отмечено зависимости его значения от размера ковша или массы плавки. Индукционное перемешивание не обеспечивает такой энергии перемешивания как газовое, для нормальных эксплуатационных условий. Для типичных энергий перемешивания, обусловленных индукционным перемешиванием, значения  $K_s$  составляют  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  -  $3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . При таком низком значении кинетического коэффициента интенсивность перемешивания будет недостаточна для высоких скоростей десульфурации. Промышленные исследования указывают на необходимость применения газового перемешивания дополнительно к индукционному для получения удовлетворительных скоростей десульфурации.

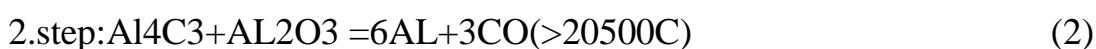
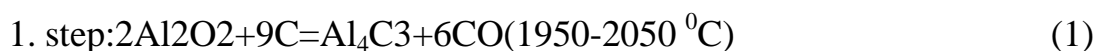
# CARBOTHERMIC REDUCTION OF ALUMINIUM AND SILICON OXIDE MIXTURE

V. Omelchenko (MЧМ-10BM)\*  
Donetsk National Technical University

After secondary aluminium production appears oxide residue which contains mostly aluminium and silicon oxides. Nowadays, there are no opportunities to extract these metals and slag is mainly used in building industry. Such as more than half of aluminium is applied for AlSi-based cast alloys, carbothermic reduction becomes perspective direction in metallurgy. There are clear advantages of carbothermic reduction: high productivity, lower energy consumption, environmental issues.

Lots of investigations were carried out to develop carbothermic reduction of aluminium oxide, but up to now there are no metallurgical processes were accomplished to produce metallic aluminium. The reactions for reduction of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> to produce Al or an AlSi alloy are very complex, because numerous components are formed and react during the process.

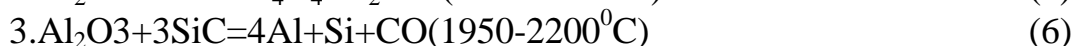
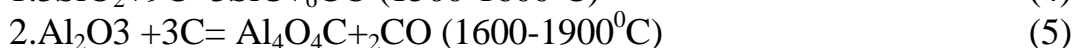
The required reduction temperature of aluminium oxide varies between 2100°C and 2300°C and the process runs in two steps.



The main problem of the process is solubility of aluminium carbides and oxides. They are formed during the process, dissolve in Al and must be separated.

The first carbothermic reduction of aluminium ores for the production of AlSi alloys was carried out by Lurgi-Thermie in Germany 1925 until the beginning of the Second World War and then was abandoned. In spite of continuing research work in the United States the process couldn't gain the commercial acceptance except for Zaporoschje, Ukraine. The advantages of this process is the prevention of the aforementioned solubility of aluminium carbides and oxides in Al. This can be prevented by adding oxides (for instance SiO<sub>2</sub>), which causes a decomposition of the carbides.

The reactions of the process run in three steps:



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

## Thermochemical Calculation

The goal of thermochemical calculation is to understand how  $\text{SiO}_2$  influence the reduction process. As described in the previous chapter winning of aluminum by direct carbotermic reduction is very difficult unless impossible. The addition of  $\text{SiO}_2$  can reduce the formation of carbides. The higher the amount of silicon in the alloy the lower is the formation of carbides. However, the silicon amount in the ally should be as low as possible considering of the late use of the alloy. We took the range of temperature between 1500 and 2400°C. The amount of carbon is stoichiometrically relative to the amount of oxides. Calculations were done for AlSi35

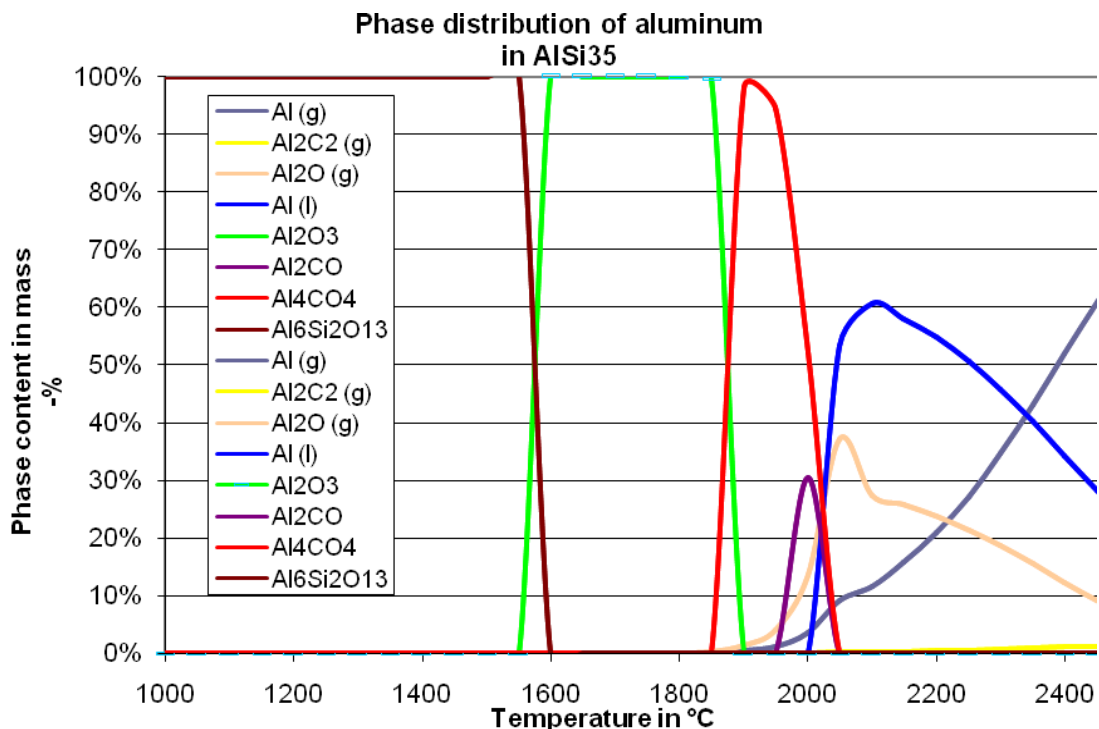


Figure 1 – Distribution of Al at the production of AlSi35

From the figure 1 we see that the amount of  $\text{Al}_4\text{CO}_4$  starts to decrease rapidly from the point of 1900°C and after 2050°C it is substituted by increasing of pure aluminum content. The highest amount of aluminum appears approximately at temperature 2100°C. Increasing temperature we lose pure aluminum through the gas phase. Thus, it is clear that 2100°C is optimal temperature for this process.

After modeling of this process it is designed to conduct trials in Taman furnace. Oxide residue will be mixed with additions of sent for reaching the desirable ratio Al-Si35 and binder. Then the mixture will be pelletized.



# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



## АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ НИГЕРИИ

Езеикебуру Ч. У. (МКМ – 10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

Алюминий по распространенности в природе среди металлов занимает первое место, по практическому использованию – второе (после железа). Кларк алюминия равен 8,05%, что в пересчете на  $Al_2O_3$  составляет около 15%.

Для производства глинозема в мире используются следующие руды: бокситы, нефелины, алуниты, кианиты и каолины. Однако, основной рудой является боксит. В зависимости от того, какие гидроксиды алюминия преобладают, бокситы подразделяются на моногидратные ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) – бемитовые и диаспоровые и тригидратные ( $Al_2O_3 \cdot 3 H_2O$ ) – гиббситовые. По условиям образования месторождения, бокситы делят на латеритные (65% общих мировых запасов), полигенные или карстовые (20%) и осадочные (15%)

Латеритные бокситы чаще имеют кайнозойский возраст и образовались в странах с тропическим климатом, куда относится и Нигерия.

Нигерия находится на западном окончании Гвинейского щита, в пределах которого известно более 640 латеритных месторождений и проявлений бокситов. Общие запасы района оцениваются в 13 млрд. т при среднем содержании  $Al_2O_3$  около 48%. Минеральный состав руд в основном гиббситовый кроме того, на этой территории обнаружены и полигенные месторождения тоже гиббситового состава.

Геологическая разведка месторождений бокситов в Нигерии была начата почти три десятилетия назад. Однако, из-за отсутствия соответствующего оборудования и, главным образом, приборов для химического анализа руд серьезно этот вопрос разрабатывается последние 5-6 лет. В настоящее время разработано и освоено несколько месторождений. Руда одного из них (взятая для исследований) имеет следующий средний состав по основным компонентам, %:  $Al_2O_3$  – 48,08;  $SiO_2$  – 18,90;  $TiO_2$  – 1,26;  $Fe_2O_3$  – 7,71. Кремниевый модуль этой руды составляет 2,53 (практически один из самых низких для используемых в мире бокситов). Кроме того, она содержит минимальное количество сопутствующих примесей, таких как цирконий, марганец, калий и др. Это значительно снижает затраты на производство глинозема.

В горно-металлургическом комплексе Нигерии для производства глинозема используется классический байер-процесс. Технологическая схема этого процесса представлена на рисунке.

---

\* Руководитель – д.т.н., проф. зав. кафедрой КМ и КМ Маняк Н.А.

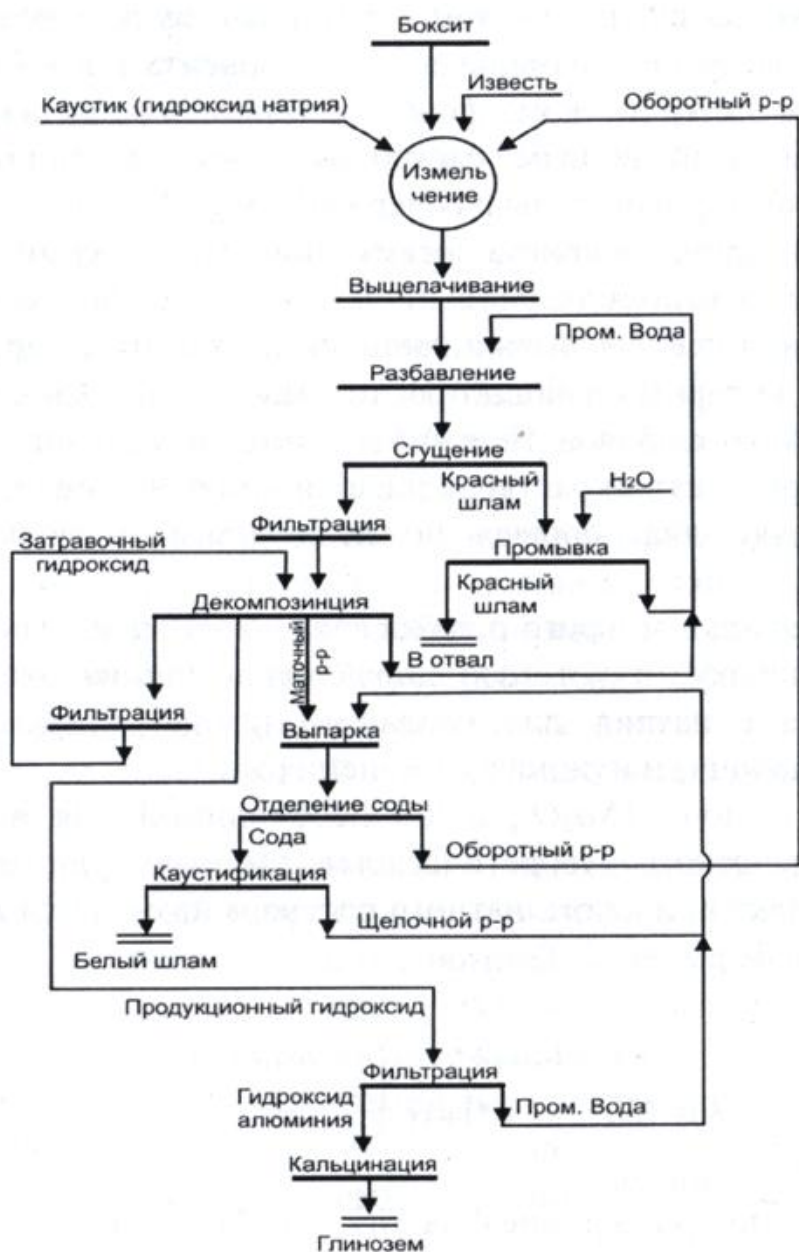


Рисунок – Схема производства глинозема способом Байера

Процесс складывается из следующих технологических переделов: размол; выщелачивание; осаждение красного шлама; разложение алюминатного раствора; фильтрация гидрата оксида алюминия; сушка и прокаливание гидроксида алюминия с получением глинозема; выпарка других растворов и получения сухих веществ.

Для выщелачивания используется автоклавная схема. Целью дальнейших исследований является разработка трубчатого выщелачивания, более дешевого по аппаратному оформлению.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ni-Cr В ТИГЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПЕЧАХ

Колесник А.С. (МКМ-10М)\*

Донецкий национальный технический университет

Для электрических нагревательных печей сопротивления в качестве нагревательного элемента используют проволоку сечением от 0,5 до 10 мм изготовленную из деформированных полуфабрикатов нихрома, инконеля или кронита (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав никелевых сплавов

Наименование	Содержание элементов, % (по массе)		
	Fe	Cr	Ni
Нихром 80/20	Ост.	20-23	75-78
Нихром 85-15-5(инконель)	5	15	Ост.
Нихром 65-15-20(кронит)	20	15	Ост.

Плавку этих деформируемых сплавов ведут в дуговых печах с магнезитовой футеровкой. Плавка никелевых сплавов на воздухе сопровождается окислением и интенсивным насыщением расплава водородом. Эти процессы определяют загрязнение расплава твердыми нерастворимыми включениями окислов легирующих компонентов и образование газовых раковин и пористости в отливках. Предохранение от интенсивного взаимодействия с газами достигается применением флюсов, расход которых составляет 2—10% от массы расплава.

С помощью флюсов невозможно полностью подавить растворение водорода, поэтому одной из важнейших операций при выплавке никелевых сплавов является рафинирование их от растворенных газов. Эту операцию осуществляют наведением в конце плавки окислительного шлака, который вызывает кипение ванны. Для наведения окислительного шлака используют окись железа  $Fe_2O_3$ , закись никеля  $NiO$  или двуокись марганца  $MnO_2$ .

Растворенный водород может быть удален также продувкой расплава аргоном.

Еще одним из основных условий при плавке нихромов является предотвращение загрязнения расплава серой и углеродом, резко снижающих эксплуатационные свойства сплавов.

Значительно упростить технологию выплавки таких сплавов возможно с использованием технологии электрошлакового кокильного литья (ЭКЛ) из вторичного сырья, которая позволяет устранить вышеперечисленные трудности при выплавке такого металла в дуговых печах, а именно: при ЭКЛ нет контакта расплавленного металла с воздухом, высокоосновные флюсы позволяют достаточно глубоко проводить рафинирование металла от серы, и значительно снижается угар легирующих компонентов (в данном случае – хрома). Далее при со-

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЦМ и КМ Пасечник С.Ю.

вместной разливке металла и шлака в кокиль, последний предотвращает контакт металла с атмосферой и на этой стадии процесса.

В данной работе нами были проведены несколько плавок:

1) с использованием расходуемого электрода из сплава Х20Н80 сваренно-го аргонодуговой сваркой из отработанных нагревательных элементов – кусков проволоки диаметром 2...10мм, (рисунок 1а).

2) с использованием нерасходуемого медного водоохлаждаемого электрода с плазменным напылением его рабочей части нитридом бора и шихтой в виде тех же прутков, но не сваренных и подаваемых в печь поштучно (рисунок 1б).



Рисунок 1 - Шихта для ЭКЛ: а-расходуемые электроды; б-кусовой материал (куски спирали Ø6 мм)

В качестве флюса использовали флюс системы  $Al_2O_3$ -  $CaO$ -  $CaF_2$  марки АН-295(15,2%  $CaF_2$ , 52,4%  $Al_2O_3$ , 28,1%  $CaO$ , 2,7%  $MgO$ , 1,7%  $SiO_2$ ).

Разливку опытных сплавов проводили в металлический кокиль с внутренним диаметром 40 мм и высотой 500мм. Из полученных отливок брали пробы на хим. анализ и металлографию. В таблице 2 представлены результаты.

Таблица 2 – Результаты химического анализа

материал	Cr	Ni	Fe	S	C	Si	Mn	Al	P
Х80Н20 расход эл-д, кус- ки	22,04	76,51	0,84	0,015	0,06	0,013	0,35	0,15	0,02
плавка 1	21,65	77,81	0,72	0,0035	0,04	0,01	0,45	0,13	0,019
плавка 2	19,83	77,80	0,54	0,0015	0,03	0,082	0,54	0,17	0,021

Из таблицы видно, что в обоих случаях металл соответствует ГОСТу, а по некоторым элементам (сера) - и выше его требований.

Выводы: технология ЭКЛ может быть применима для получения нихромов из вторичного сырья.

## ПОЛУЧЕНИЕ БРОНЗОВЫХ СЛИТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭШП В ГРАФИТОВОМ ТИГЛЕ

Остапенко В. В. (МКМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Для плавки литейных бронз применяют различные типы печей. У каждого типа есть свои преимущества и недостатки.

Особенностью дуговых печей являются повышенный угар металла, его газонасыщение. У тигельных индукционных печей малая производительность, низкий тепловой КПД, повышенный расход электроэнергии. Для канальных индукционных печей необходимость наличия постоянного уровня так называемого «болота», что создает трудности при переходе с одной марки сплава на другую. Для отражательных печей характерны большой расход топлива, большая трудоемкость обслуживания, значительное окисление металла при плавке. Вакуумные плавильные печи имеют сложное и громоздкое оборудование. Характерной чертой шахтных печей является сложность регулировки, большой расход кокса, низкое качество металла.

Многие недостатки этих методов устраняются применением электрошлаковых технологий, в частности электрошлаковой тигельной плавки (ЭШТП). Процесс электрошлакового переплава в графитовый тигель – метод специального переплава, при котором сварной расходуемый электрод расплавляется в слое жидкого шлака, или в случае применения мелкокусковой шихты (например, стружки) переплав ведут нерасходуемым графитовым электродом. Изменяя состав применяемого флюса можно в широких пределах регулировать температуру расплава, а, соответственно, и угар легкоплавких металлов (например, цинка в латунях или олова в оловянных бронзах); при переплаве сплавов на основе меди не происходит взаимодействия с углеродом футеровки, поэтому расплав не загрязняется материалом тигля; высокая теплопроводность и малый температурный коэффициент линейного расширения графита обуславливают высокие стойкость и прочность тиглей; из-за легкой обрабатываемости графита стоимость тиглей меньше чем из других материалов.

Целью настоящей работы является выбор оптимального состава флюса для переплава вторичных бронз.

С одной стороны флюс должен обеспечить стабильность процесса переплава, что определяется его электросопротивлением, а, с другой стороны, он должен обеспечивать получение заданного химического состава переплавляемого металла и снизить угар и окисление компонентов сплава.

В качестве флюсов при ЭШП применяют солевые, оксидные и комбинированные соле-оксидные флюсы. В связи с большой растворимостью водорода в медных сплавах и возможностью окисления компонентов сплава оксидные и комбинированные флюсы использовать не желательно. В связи с вышеизложен-

---

\* Руководитель – д.т.н., доцент кафедры КМ и КМ Пасечник С.Ю.

ным, для ЭШП медных сплавов в качестве флюсов можно применить следующие компоненты:  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaF}$  и их композиции.

Фтористый кальций ( $\text{CaF}_2$ ), имеющий температуру плавления  $1411^\circ\text{C}$ , значительно дешевле остальных фторидов и имеет наименьшую упругость пара. Поэтому он нашел широкое применение при ЭШП как в чистом виде, так и в качестве основного компонента сложных солевых флюсов. Однако для меди и медных сплавов он неприемлем из-за высокой температуры плавления.

Меньшую температуру плавления ( $650^\circ\text{C}$ ) и стоимость имеет  $\text{CaCl}_2$ , однако он сильно гигроскопичен, это усложняет его хранение и загрязняет металл водородом.

Фтористый натрий ( $\text{NaF}$ ) (температура плавления  $997^\circ\text{C}$ ) имеет высокую упругость паров, что приводит к обильному выделению дыма в процессе переплава, а также он очень токсичен.

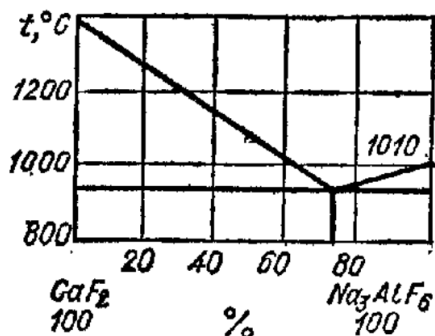


Рисунок 1 – Диаграмма плавления системы  $\text{CaF}_2$  и  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$

Снизить температуру плавления используемого флюса можно за счет применения двухкомпонентных солевых флюсов на базе  $\text{CaF}_2$  :  $\text{CaF}_2$ - $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{CaF}_2$ - $\text{NaF}$ . Последний более предпочтителен (не насыщает металл водородом), а его токсичность можно значительно уменьшить заменив  $\text{NaF}$  в его составе, например,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  (криолит). Исходя из диаграммы состояния (рис.1) требуемую температуру плавления ( $\approx 900^\circ\text{C}$ ) для переплава медных сплавов имеет флюс близкий к эвтектическому составу:  $80\% \text{CaF}_2 + 20\% \text{криолит}$ .



Рисунок 2 Внешний вид слитка ЭКЛ

Проведенный химический анализ (см. табл) слитка выплавленного из стружки бронзы марки БрОЦС6-6-3 по технологии ЭШП (рис.2) показал правильность выбора состава флюса, что подтверждается экспериментальными данными.

Таблица – Химический состав бронзы до и после переплава

Материал	Химический состав, мас. %							
	Sn	Zn	Pb	Sb	Fe	Al	Si	Cu
Исходная шихта: БрОЦС6-6-3	6.85	6.93	2.71	н.б. 0,5	н.б. 0,4	н.б. 0,05	н.б. 0,05	82.51
Сплав после переплава	6.67	3.25	2.58	0,4	0,45	0,05	0,05	86,55

# ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ БРОНЗЫ В ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ (ЭШТП)

Рязанцев И.В. (МКМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Основное количество крепежа для работы в агрессивных средах (винты, болты, гайки, втулки и т.п.) требует наличия относительно длинной заготовки круглого, квадратного, шестигранного и др. сечения из сплавов на основе меди, в частности из бронз.

Промышленное получение таких заготовок может осуществляться следующими методами: обработкой давлением (прокатка, штамповка, протяжка, экструдирование); фасонным литьем: центробежным (используется преимущественно при изготовлении втулок из медьсодержащих сплавов - бронз и латуны: БрАЖ, БрОЦС, БрОФ, ЛС59-1, Л63, ЛАЖМц, и др); литьем по выплавляемым моделям; литьем по газифицируемым моделям; литьем под давлением; литьем намораживанием; жидкой штамповкой; непрерывным литьем (горизонтальным, вертикальным или с использованием литейно-прокатных модулей различных конструкций: валковые, ленточные и т.д.); полунепрерывным литьем с дальнейшей обработкой давлением (протяжка или экструдирование).

В современных условиях в Украине при значительной дороговизне чистых шихтовых материалов и практически отсутствия крупных заводов вторичной цветной металлургии полного цикла, актуальность приобретают методы получения таких заготовок из относительно небольшого кол-ва шихтовых вторичных материалов на небольших мини заводах. При этом желательно иметь комбинированные агрегаты, позволяющие совместить плавление, вытяжку, доводку заготовки требуемой конфигурации и качества.

Одним из таких вариантов может стать технология ЭШТП, использующая электрошлаковый переплав мелкокусковой шихты нерасходуемым электродом в графитовый тигель.

В данной работе представлена одна из разновидностей этой технологии - электрошлаковая тигельная печь с системой горизонтальной вытяжки слитка непосредственно из плавильного тигля, минуя промежуточный ковш и миксер (рисунок 1а).

После накопления необходимого количества жидкого сплава на дне тигля включают привод вытяжки слитка, при этом переплав шихты можно не прекращать. Литье происходит через графитовый кристаллизатор, хвостовик которого входит в металлоприемник, где находится в контакте с жидким металлом; головная часть запрессована в водоохлаждаемый корпус. Между охлаждаемой и неохлаждаемой частями возникает переходная зона, в которой начинается формирование заготовки. По окончании времени остановки формируется начальная

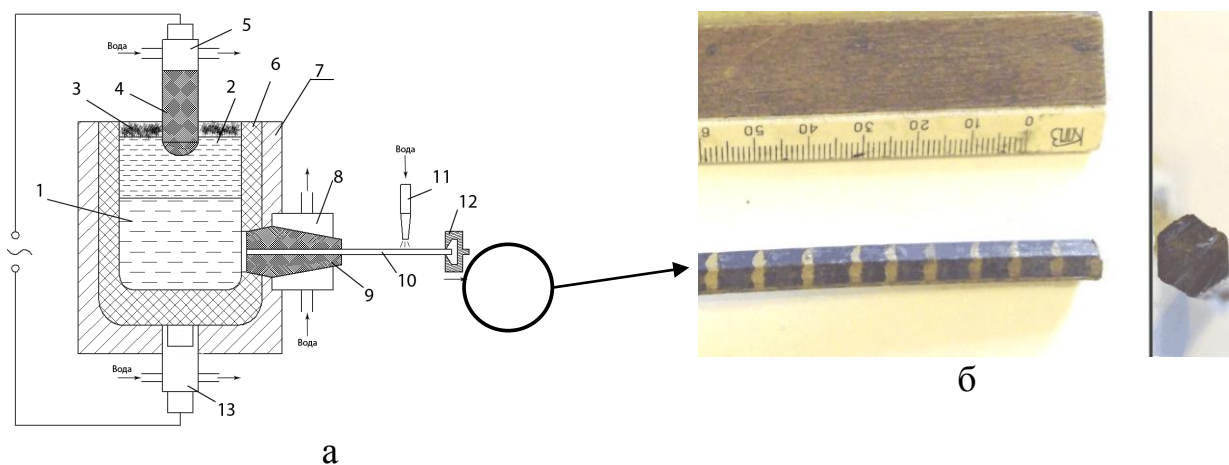
---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЦМ и КМ Пасечник С.Ю.



корка, которая плотно прилегает к поверхности кристаллизатора.

При вытягивании заготовки, корка скользит по рабочей поверхности вставки. Одновременно происходит усадка отливки и образование зазора между коркой и вставкой, в который затекает жидкий металл. За время движения происходит дальнейшее затвердевание отливки. На ее хвостовике нарастает тонкая корочка, которая прижимается к поверхности катализатора металлостатическим напором расплава. Одновременно на освобождающейся поверхности в переходной зоне кристаллизатора в условиях покоя и плотного контакта, затвердевает новая корочка. Во время остановки, затвердевание продолжается и происходит смыкание корочек, сформировавшихся в условиях покоя и движения. Эта характерная особенность отражается на внешнем виде заготовки (рисунок 1б)



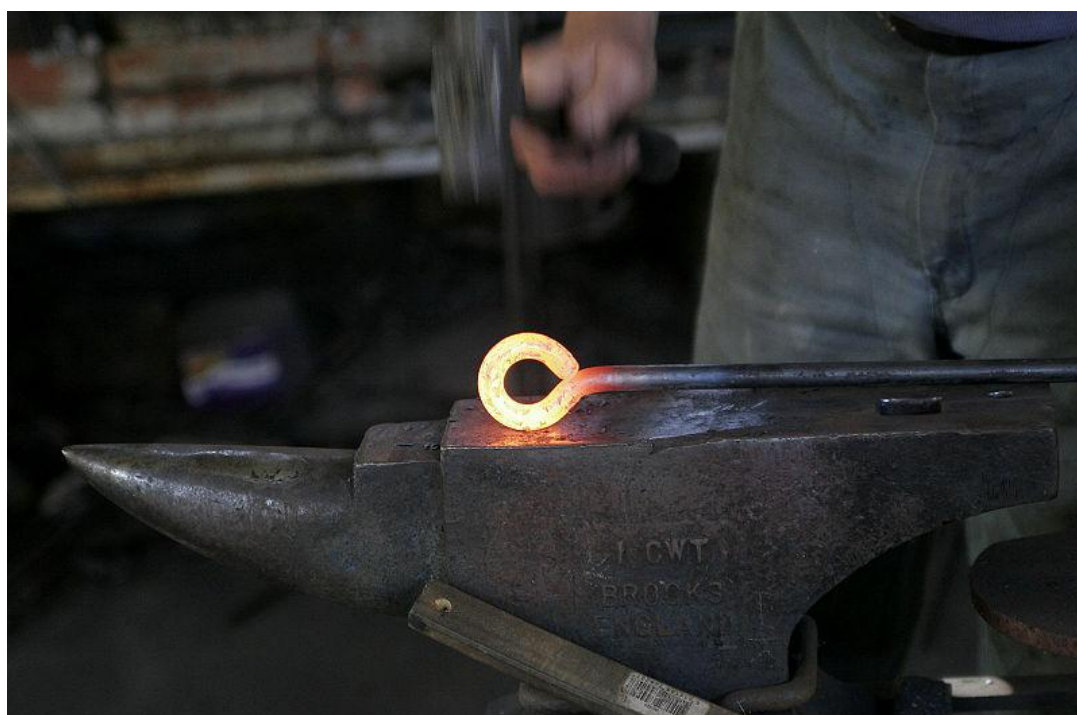
а - электрошлаковая тигельная печь с системой горизонтальной вытяжки слитка; б - литая заготовка из медного сплава БрАЖН10-4-4

Рисунок 1 – Схема получения литой шестигранной заготовки в электрошлаковой тигельной печи с системой горизонтальной вытяжки слитка

1 – жидкая металлическая ванна; 2 - шлаковая ванна; 3 - шихта; 4 - графитовый электрод; 5 - верхний токоподвод; 6 - графитовый тигель; 7 - кожух тигля; 8 - узел кристаллизатора; 9 - графитовая вставка кристаллизатора; 10 - заготовка прутков; 11 - вторичное охлаждение; 12 - система вытяжки; 13 - нижний токоподвод.

Основными параметрами процесса являются: температура жидкого сплава в тигле (её можно регулировать за счет изменения напряжения и тока на шлаковой ванне); диаметр литого прутка от которого зависит: скорость литья; время вытягивания; время остановки; шаг литья (их регулируют приводом вытягивания). Для приведенных на рис 1а заготовок эти параметры соответственно равны:  $T_{\text{сплава}}=1100-1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; диаметр заготовки=8мм; скорость литья=0,002м/с; время вытягивания=1с; время остановки=3с; шаг вытягивания=8мм.

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ДИСКОМ И МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАЛИБРОВОК

Колупаева И. В. (ОМД-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Анализ существующих схем штамповки железнодорожных колес в колесопрокатных цехах ВАТ «Нижнеднепровский трубный завод» (Украина) и ВАТ «Выксунский трубный завод» (Россия) позволил установить причины получения заката или невыполнения гребня. Ими являются: значительный развес заготовок, формовка колесных заготовок без предварительного получения гребня, выполнение ассиметричных заготовок.

Работа направлена на усовершенствование технологической схемы штамповки железнодорожных колес и методов компьютерного проектирования калибровок, что определяет ее актуальность.

Была рассмотрена технологическая схема штамповки колесных заготовок с гребнем для колес  $\varnothing 957$  мм с криволинейным диском. Предусмотрено использование верхней фигурной плиты на заготовочном прессе силой 50 МН, что обеспечивает предварительную формовку части обода и ступицы.

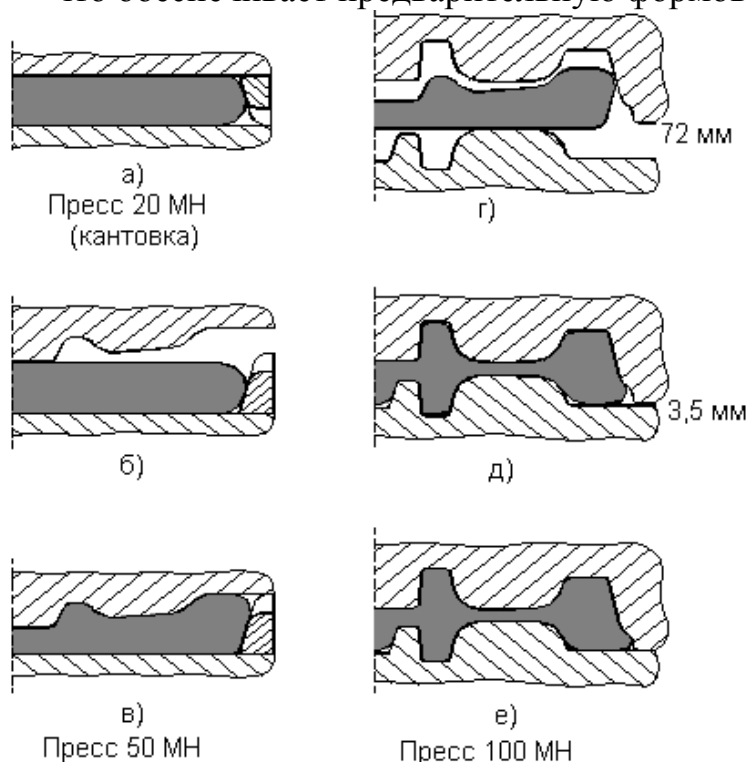


Рисунок 1 – Технологическая схема штамповки колесных заготовок с гребнем  $\varnothing 957$  мм.

На рисунке 1 показана последовательность технологических операций. Осадку исходной заготовки на прессе силой 20 МН производят в верхнем тех-

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

нологическом кольце. Одновременно с осадкой выполняется формовка части боковой поверхности заготовки (рис. 1, а). Затем заготовка кантуется и подается на пресс силой 50 МН. Ее центровка в нижнем технологическом кольце выполняется по отформованной на прессе силой 20 МН конической боковой поверхности заготовки. Причем нижнее технологическое кольцо прессы силой 50 МН устанавливается по оси штамповки (рис. 1, б). На прессе силой 100 МН заготовка центруется верхним формовочным кольцом (рис. 1, г). Представлены первый, промежуточный и последний моменты заполнения металлом штампа (рис. 1, г, д, е). Обеспечивается практически одновременное заполнение обода и ступицы. Верхний формовочный штамп обеспечивает самоцентрировку заготовки. Она возможна, так как заготовка (рис. 1, г) не зажимается штампами в первый момент контакта, потому, что первым с заготовкой контактирует формовочное кольцо, которое и выполняет ее самоцентрировку. Обеспечивается уменьшение асимметрии заготовок на прессах силой 20 МН, 50 МН и 100 МН.

С помощью компьютерной программы была спроектирована усовершенствованная калибровка для колес  $\varnothing 957$  мм с криволинейным диском. Для указанных условий (предварительная формовка части обода и ступицы, выполнение гребня) на основе планового расчетного эксперимента была получена зависимость для расчета положения нейтрального сечения  $y = D_H/d_c$ , относительно которого металл течет в зону обода и ступицы в последний момент штамповки. Представлено окно визуализации формоизменения металла в штампах (рис. 2). Откуда видно, что относительно указанной нейтральной линии массы соответствующих частей заготовки равны.

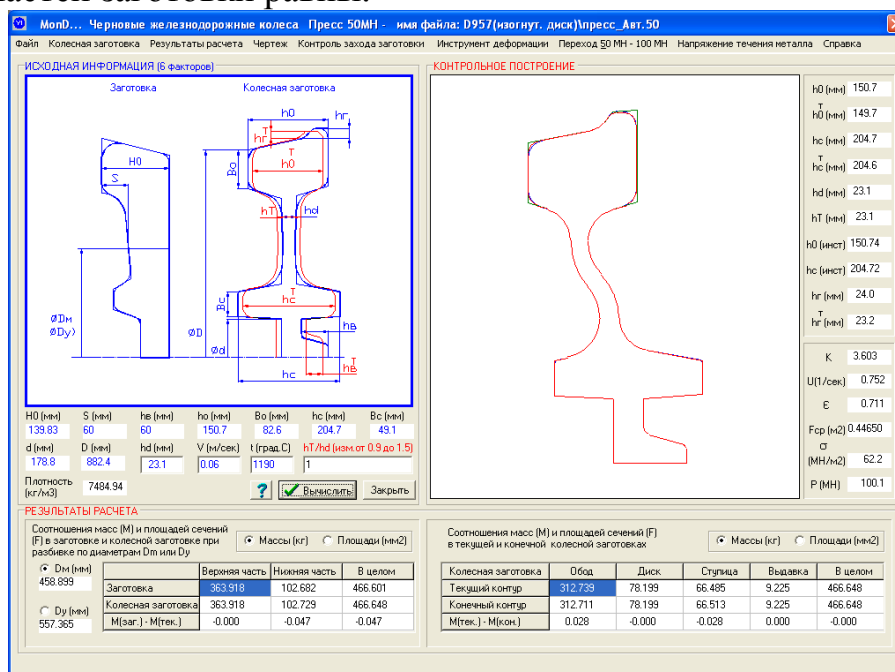


Рисунок 2 – Формоизменение металла в штампах при соотношении  $h_T / h_D = 1$

Весь комплекс данных операций позволяет обеспечить повышение точности железнодорожных колес, снижение брака по дефектам профиля и затрат металла за счет уменьшения припусков.

# ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТЫХ СЛИТКОВ НА СТАДИИ НЕПОЛНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Волков А.Г. (ОМТ-10М) \*

Донецкий национальный технический университет

Реализация экспериментальных исследований процесса деформирования непрерывнолитых слитков на стадии неполной кристаллизации, требует правильного подбора материалов, которыми моделируют каждую из составляющих слитка, а именно: закристаллизовавшуюся составляющую (твердая часть) и осевую составляющую (жидко-твердая часть). При этом, как показала практика моделирования процессов прокатки заготовки с непрерывным температурным полем, оправданным является подход при котором достигается условие теплового подобия за счет выполнения равенства отношений напряжения течения в  $i$ -й точке сечения ( $\sigma_{si}$ ) к напряжению течения в точке, примыкающей к внутренней границе закристаллизовавшейся составляющей ( $\sigma_{s\text{ вн.зр.}}$ ) натурной (индекс “н”) полосы и физической модели (индекс “м”), т.е.:

$$\left( \frac{\sigma_{si}}{\sigma_{s.\text{в.зр.}}} \right)_н = \left( \frac{\sigma_{si}}{\sigma_{s.\text{в.зр.}}} \right)_м \quad (1)$$

С учетом вышеуказанного, выполнены расчеты по соотношению (1) применительно к условиям разливки блюма 335×400 мм (табл. 1).

Таблица 1 - Распределение температуры и напряжения течения в натурном непрерывнолите блюме из стали 09Г2С

$t_{нов}, ^\circ\text{C}$	$t_{сол}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{см}$	$\varepsilon, \%$	$\bar{U} \times 10^{-3},$ 1/с	$\sigma_{s\text{ н зр}},$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{s\text{ вн зр}},$ Н/мм <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{s\text{ н зр}}}{\sigma_{s\text{ вн зр}}}$
775	1463	688	0,470	0,3-1,2	4,25	$39,17 \div 53,53$ 46,4	$0,5 \div 1,9$ 1,0	46,4
925	1463	538	0,368	0,3-1,2	4,25	$23,45 \div 32,04$ 27,7	$0,5 \div 1,9$ 1,0	27,7
1250	1463	213	0,146	0,3-1,2	4,25	$9,79 \div 13,38$ 11,6	$0,5 \div 1,9$ 1,0	11,6

Из приведенных данных можно сделать предположение о том, что предел текучести материала, имитирующего внутреннюю жидко-твердую составляющую, должен обеспечивать выполнение соотношения  $\left( \frac{\sigma_{s.\text{н.зр.}}}{\sigma_{s.\text{вн.зр.}}} \right)_м = \left( \frac{\sigma_{s.\text{н.зр.}}}{\sigma_{мод}} \right)_м$ . Это будет соответствовать одному из граничных значений, возникающих в реальных условиях, а именно: напряжения текучести материала осевой составляющей  $\sigma_{мод}$  не будут превышать предел текучести материала на границе фронта кри-

\* Руководитель – д.т.н., профессор каф. ОМД Смирнов Е.Н.

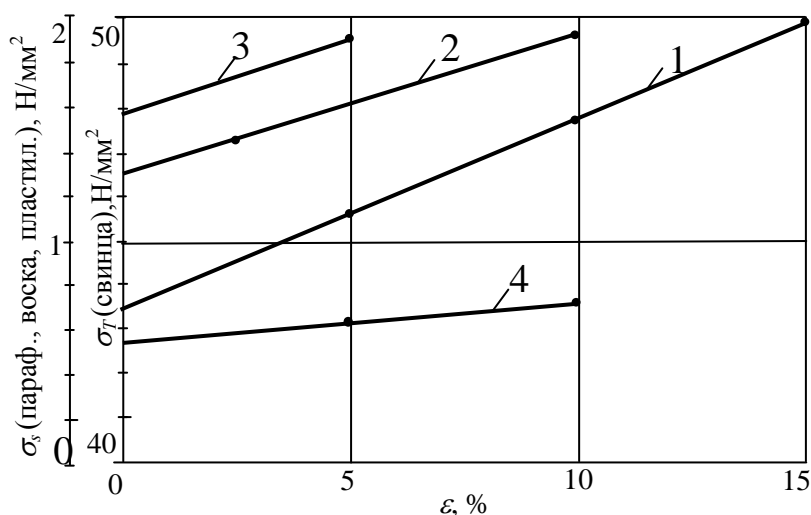
сталлизации  $\sigma_{s.вн.зр.}$ , т.е. происходит процесс деформации осевой составляющей.

В противном случае, будет деформироваться внутренняя граница модели, имитирующая закристаллизовавшуюся часть блюма.

Целью работы было определение зависимости  $\sigma_s = f(\varepsilon)$  для различных моделирующих материалов, используемых в ОМД.

Для проведения эксперимента были изготовлены по три образца каждого моделирующего материала (свинец, воск, парафин, пластилин), размерами 20x20x20 мм. Испытания проводились на лабораторном прессе кафедры ОМД ДонНТУ. Для измерения силы использовалась мездоза мембранного типа с применением полупроводниковых резисторов. Для определения степени деформации (перемещения) использовалась равнопрочная балка, на которой была собрана мостовая схема из полупроводниковых кремниевых датчиков. Для регистрации данных применялся осциллограф Н145.

В результате обработки данных получена зависимость изменения предела текучести моделирующих материалов от степени деформации (рис.1).



1- свинец; 2 – воск; 3 – парафин; 4 - пластилин

Рисунок 1 – Зависимость предела текучести от степени деформации

Анализ приведенных данных показывает, что для каждого материала наблюдается различная протяженность прямолинейного участка зависимости  $\sigma_s = f(\varepsilon)$ . Наибольшая величина характерна для свинца ( $\varepsilon = 15\%$ ), а наименьшая – для парафина ( $\varepsilon < 5\%$ ). С точки зрения обеспечения выполнения соотношения  $\frac{\sigma_{s.н.зр.}}{\sigma_{s.вн.зр.}}$  в модели, наиболее целесообразным видится использование воска в качестве внутреннего имитатора. Сочетание свинца и воска позволяет достигнуть в модели соотношения  $\frac{\sigma_{s.н.зр.}}{\sigma_{s.вн.зр.}} \approx 24,2\%$  (при степени деформации  $\varepsilon = 5\%$ ), что достаточно близко к натуральным условиям.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПРОКАТКИ КРУГЛЫХ ПРОФИЛЕЙ ДИАМЕТРОМ 150 ММ НА ТЗС «900/750-3» ОАО ДМКД

Гайдук Р.Е. (ОМД-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Круглую заготовку применяют для производства бесшовных труб, кольцевых изделий (колеса, бандажи), осей, изделий для переплавных процессов, а также в качестве заготовки для производства калиброванных профилей, периодических профилей переменного диаметра, шаров.

ГОСТ 2590-88 предусмотрено производство круглых заготовок диаметром 50-270 мм, ГСТУ 3-009-2000 – диаметром 70-350 мм из углеродистой обыкновенного качества и качественной, низколегированной, легированной и высоколегированной стали. Из представленных данных видно, что существует тенденция к увеличению диаметра трубной заготовки, что обусловлено и увеличением диаметра производимых бесшовных труб. Так, в ТУ 14-3-420-75 «Трубы стальные бесшовные горячекатаные толстостенные для паровых котлов и трубопроводов» предусмотрено производство труб диаметром до 530 мм.

Большую часть круглой заготовки используют для производства цельнокатаных (бесшовных) труб и кольцевых изделий. Поэтому рассмотрим технологию прокатки круглых профилей, необходимых для этих производств.

Анализ показал, что основными недостатками калибровки валков при прокатке круглых заготовок на трубо-заготовочных станах являются:

- плохое заполнение предчистового овального калибра, что не позволяет получить качественный круглый профиль в чистовом круглом калибре;
- высокая неравномерность деформации и разновременность захвата раскатов в калибре, что отрицательно сказывается на качестве наружной поверхности металла;
- потеря устойчивости подката в первоначальный момент захвата.

Трубо-заготовочный стан «900/750-3» ОАО ДМКД предназначен для производства трубной, сортовой заготовки и слябов из углеродистых обыкновенного качества, качественных конструкционных, низколегированных и легированных сталей. Долгое время на стане прокатывали трубную заготовку диаметром 90-270 мм и лишь в 2005 г. начаты опытные прокатки заготовки диаметром вплоть до 350 мм. Стан состоит из реверсивной двухвалковой клетки 900 и трех одинаковых двухвалковых нереверсивных клеток 750, расположенных последовательно.

Совершенствование калибровки заключается в разработке конфигурации предчистового овального калибра, профиль которого, при его последующей прокатке в чистовом круглом калибре, обеспечивает в момент захвата одновременный по ширине боковых участков контакт металла с валками

Была разработана математическая модель основных параметров очага де-

---

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

формации. На основе разработанной модели создали компьютерную программу для расчета радиуса бокового участка овального профиля (на рисунке указанный радиус равен 82,8 мм). Предложенная конфигурация боковых участков овала обеспечивает переменное обжатие по ширине профиля и зависит от: диаметра валка, глубины ручья, межвалкового зазора, радиуса и ширины калибра, величины выпуска, а также параметров овального калибра (показанных на рисунке). Учитывается также коэффициент вытяжки в чистовом круглом калибре ( $\mu=1,279$ ) и уширение металла ( $\Delta b=3,7$  мм). На рисунке видно, что, например, в крайней левой точке бокового участка овального профиля величина обжатия равна 24,1 мм.

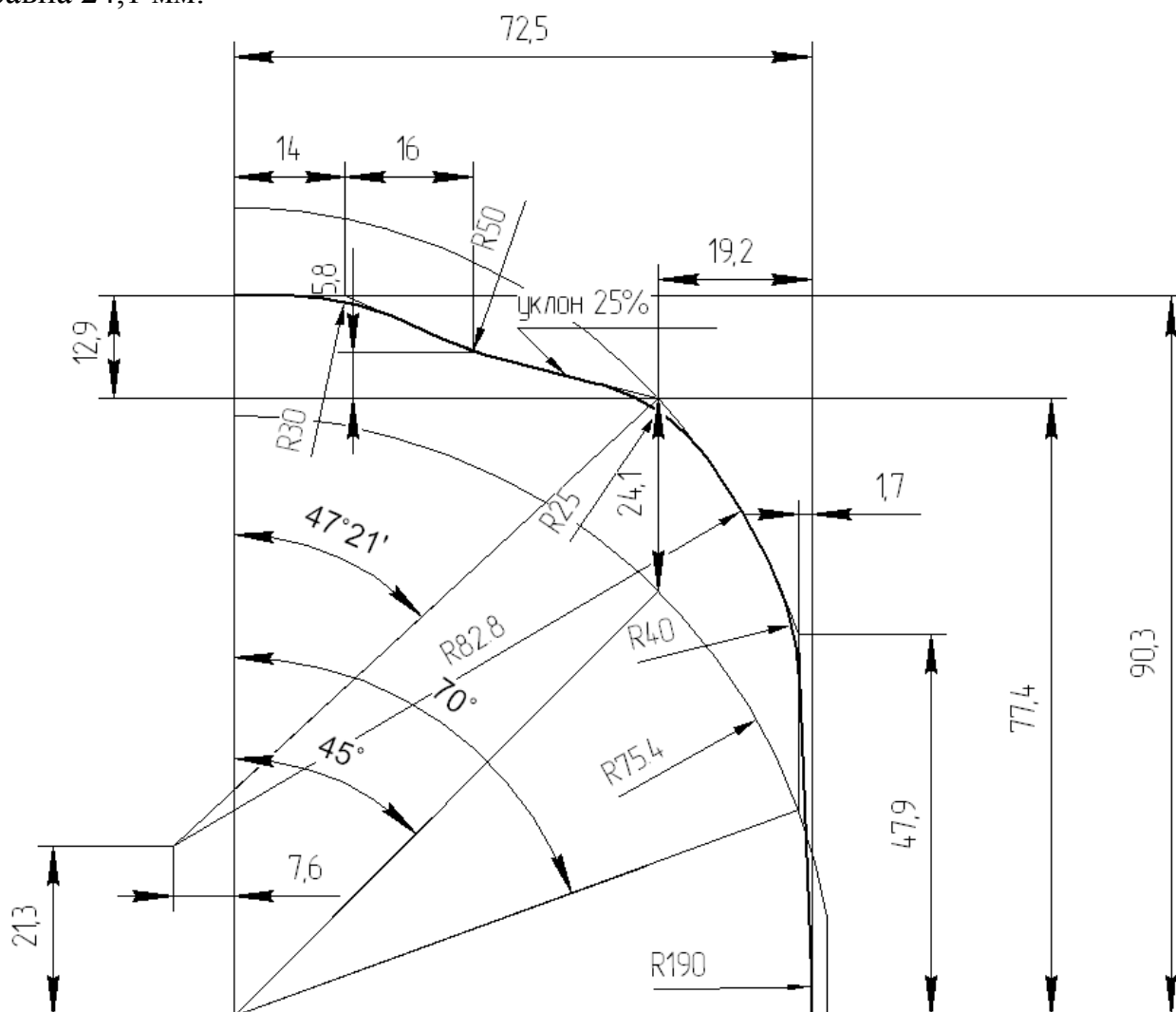


Рисунок – Предчистовой овальный профиль для прокатки круга диаметром 150 мм

Предложенный вариант совершенствования калибровки для прокатки круглых профилей диаметром 150 мм в условиях ТЗС «900/750-3» ОАО ДМКД направлен на повышение устойчивости раската, снижение вероятности его «сваливания» и уменьшение количества брака.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Дворников С.Г., Холодный А.А. (МО-07)\*

Приазовский государственный технический университет

Существующие модели расчёта температурного режима горячей прокатки можно объединить в две группы: статистическую и теоретическую. Статистические модели определяют температурный режим на основе многочисленных опытных данных. Такие модели разрабатываются в условиях конкретного прокатного стана и ограничены в применении. Но статистические модели не применимы для прогнозирования температурного режима, например, при расширении сортамента или проектировании технологического процесса. Такой расчёт возможен только теоретическими моделями, в основу которых положены тепло-технические законы. Существующие теоретические модели идеализируют процесс теплообмена и, как правило, занижают потери тепла.

С учётом изложенного, предложена новая модель расчёта температурного режима. Она основана на критериальных уравнениях теплофизики и строго учитывает потери тепла излучением, конвекцией, с гидросбивом. Кроме того, модель критериальных уравнений позволяет определить количество теплоты, выделившееся вследствие работы деформации. Теплоотдача металла инструменту существенно не влияет на суммарное падение температуры и в предлагаемой модели не рассматривается. Авторами решена задача определения необходимого времени пребывания раската на байпасе. Разработанная модель пригодна для расчёта температурного режима контролируемой прокатки.

Реализация модели осуществляется с помощью ЭВМ программы, в которой выполнен сравнительный расчёт температурного режима прокатки полос из углеродистых сталей в условиях стана 3000 ММК им. Ильича. Экспериментальные данные сопоставлялись с результатами расчётов существующих и предложенной моделей. Сравнение показало, что наиболее точно реальный процесс описывает модель критериальных уравнений. Погрешность расчётов не превысила 10%. Модель критериальных уравнений рекомендуется для практических расчетов температурного режима станов горячей прокатки листовой стали.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Сердюк И.А.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ В ЛИНИИ МНЛЗ С ЦИКЛИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРОМ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЖАТИЯ

Демченко Д.О. (ОМТ - 10 м) \*

Донецкий национальный технический университет

Мировое потребление непрерывнолитой сортовой заготовки продолжает постоянно увеличиваться, что характеризует эффективность инновационных технологических решений, используемых в сортовых МНЛЗ, для повышения ее качества. Перспективы дальнейшего развития процессов непрерывной разливки сортовой заготовки связаны с использованием, как традиционных подходов к реализации технологии на современных МНЛЗ, так и проведением небольших конструктивных и технологических модернизаций, в совокупности с повышением уровня автоматизации работы оборудования МНЛЗ.

Дальнейшее повышение требований к качеству непрерывнолитой заготовки, как на макро-, так и на микро- уровне, обусловленное необходимостью сведения к минимуму последующих видов обработки, определяет основные направления развития технологии непрерывного литья заготовок. Однако наличие осевой пористости и ликвации, сильной химической неоднородности могут сделать металл непригодным для дальнейшего применения в изделиях машиностроения.

Одним из путей устранения этих недостатков является использование метода «мягкого» обжатия непрерывнолитой заготовки в конце цикла затвердевания, при наличии жидкой и твердой фаз. Сущность этого метода заключается в том, что непрерывнолитая заготовка подвергается дополнительному обжатию (на несколько миллиметров) в нижней части ЗВО на участке установки тянущих правильных машин [2].

В рамках дальнейшего развития классической схемы деформирования непрерывнолитой заготовки можно выделить следующие основные направления усовершенствования, которые присутствуют при производстве, как блюмов, так и сортовых заготовок:

1. Изменение формы поперечного перереза непрерывнолитого блюма.
2. Усовершенствование формы рабочего инструмента, т.е. обжимных роликов или валков.
3. Изменение направления прикладывания внешнего деформационного влияния, а именно из вертикального на горизонтальный, или применение комбинированной схемы.
4. Использование в линии МНЛЗ прессов или ковочных агрегатов.

Что касается вопроса оптимизации параметров процесса деформирования непрерывнолитой сортовой заготовки, то большинство исследований однозначно утверждает, что в основном они определяются физико-геометрическим состоянием слитка в предполагаемой области реализации процесса. При этом главное значение отводится содержанию твердой фазы у осевой жидко-твердой состав-

ляющей, которая характеризуется, степенью затвердения.

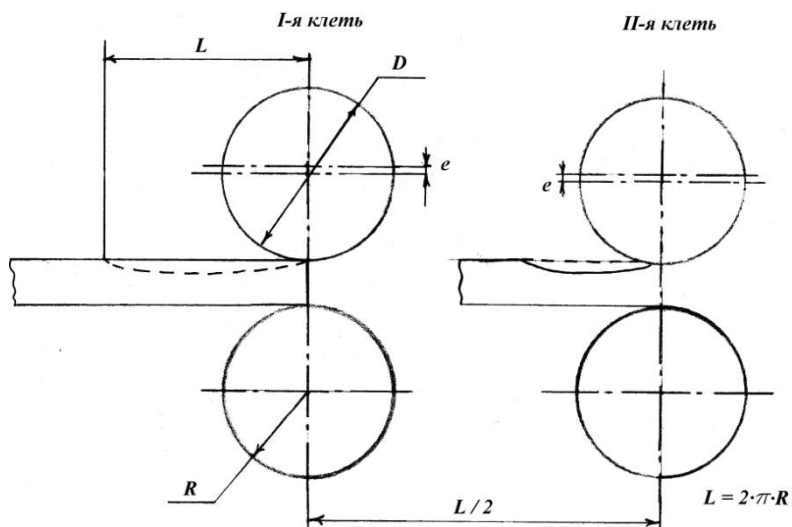


Рисунок 1 - Предлагаемая схема циклической деформации заготовки: R - радиус валков; D - диаметр валков; e - эксцентриситет верхнего валка; L - длина окружности валка;  $L/2$  - расстояние между первой и второй клетью

Учитывая опыт прокатывания на клин, который разрешает повысить уровень обжатия на 1,6 раза, предложено осуществлять циклическую деформацию (рис. 1) непрерывнолитого слитка, при этом реализация процесса будет осуществляться в два этапа.

Первый этап - заготовка обжимается в валках I-ой клетки, которые установлены в подшипниках с «положительным» эксцентриситетом.

Поверхность заготовки получается с циклически повторяющимися вершинами (имеет вид «стоячей волны»), т.е. есть максимальный выступ и, соответственно, минимальная впадина. Такой вид поверхности заготовки обеспечивается точной настройкой I-ой клетки.

Для получения прямоугольной заготовки с гладкой поверхностью предназначенный второй этап деформации. Специфика второго этапа заключается в том, что работа II-ой клетки должна быть жестко синхронизированная с работой I-ой клетки, т.е. «отрицательный» эксцентриситет установки валков, должен быть настроен так, что бы максимум выступа заготовки попадал в максимум обжатия и наоборот. Такая синхронизация позволит в ходе обжатия во II-ой клетке сгладить выступы на заготовке.

Планируемые лабораторные исследования, моделирующие процесс циклической деформации непрерывнолитой заготовки, предполагают изучение особенностей формоизменения в зависимости от связей между величинами: эксцентриситета верхнего валка –  $e$  и диаметра валков –  $D$ , высоты деформируемой заготовки –  $H$  и диаметра валков –  $D$ , обжатия –  $\Delta h$  и высоты деформируемой заготовки –  $H$ .

В процессе подготовки к проведению экспериментальных исследований предполагается выполнить модернизацию подшипниковых опор валков лабораторного прокатного стана, целью обеспечения наличия эксцентриситета при вращении валков (циклической деформации).

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ “РОМБИЧНОСТЬ”

Красенков С. Ю. (ОМД-10м) \*

Донецкий национальный технический университет

Искажение формы прямоугольного поперечного сечения отливаемых непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) приводит к возникновению разности диагоналей их сечения, величина которой в условиях сортовой МНЛЗ может достигать 20 мм. Ромбичность НЛЗ, а точнее ее величина, оказывает существенное влияние на последующую прокатку таких заготовок. Она определяет, во-первых, принципиальную возможность прокатки заготовок с получением требуемой формы и размеров подката в промежуточных проходах, а во-вторых, – способы и режимы прокатки. Анализ результатов промышленных прокаток сортовых профилей в условиях ОАО «ДМПЗ» показал, что величина ромбичности 13-14 мм не является критической и позволяет получить профиль требуемой формы и размеров (рис. 1). А при величине ромбичности 17 мм и более вероятность получения профиля требуемой формы неизвестна.



а

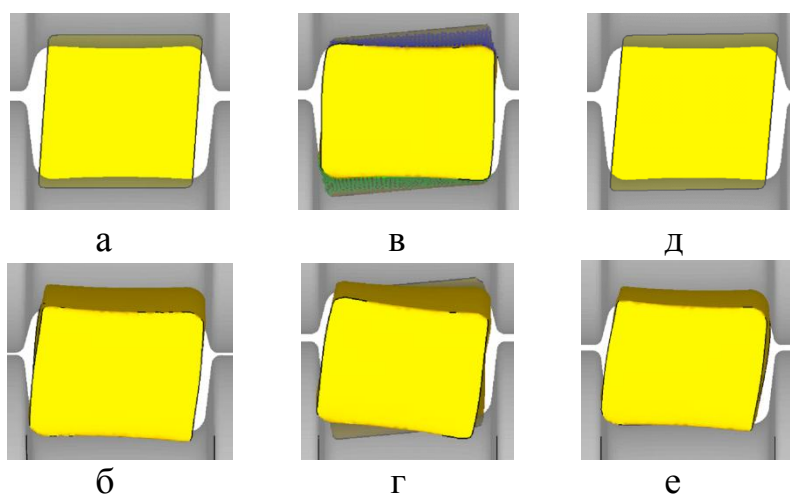
б

Рисунок 1 – Фотографии темплетов, полученных из НЛЗ с ромбичностью 14 мм (а) и конечного круглого профиля Ø 60 мм (б)

Поэтому целью настоящей работы, выполненной совместно с доцентом кафедры ОМД ДонНТУ Снитко С. А., является определение принципиальной возможности прокатки НЛЗ, с большой ромбичностью с получением требуемой формы подката после ящичных калибров в первых черновых проходах.

В качестве метода исследования использовали математическое моделирование на основе метода конечных элементов. Математическое моделирование процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы “ромбичность”, производилось по существующей технологии, применительно к условиям производства и калибровке валков на стане 500/370 ОАО «ДМПЗ». Результаты выполненного моделирования показали, что прокатка качественных профилей из заготовки с ромбичностью 14 мм возможна, то есть искажения формы заготовки не существенны (рис. 2, б), что соответствует практическим данным, полученным в условиях сортопрокатного цеха ОАО «ДМПЗ».

\* Руководитель – д.т.н., член-корр. НАН Украины, профессор, зав. каф. ОМД Минаев А. А.  
Соруководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Снитко С. А.



а – момент захвата заготовки с ромбичностью 14 мм; б – последний момент прокатки заготовки с ромбичностью 14 мм; в – момент захвата заготовки с ромбичностью 20 мм (угол поворота -  $5^\circ$ , возможность поворота ограничена); г – последний момент прокатки заготовки с ромбичностью 20 мм (угол поворота -  $5^\circ$ , возможность поворота ограничена); д – момент захвата заготовки с ромбичностью 20 мм (угол поворота -  $0^\circ$ , без ограничения поворота); е – последний момент прокатки заготовки с ромбичностью 20 мм (угол поворота -  $0^\circ$ , без ограничения поворота)

Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы “ромбичность” в прямоугольном калибре

Выполнена постановка расчетного эксперимента, в котором предусмотрены различные варианты прокатки заготовок с ромбичностью 20 мм в первых 2-х ящичных калибрах с поворотом заготовки вдоль продольной оси на угол от 1 до  $5^\circ$  с ограничением поворота заготовки в процессе прокатки и без него. Предварительные расчеты показали, что условия прокатки, при которых верхняя и нижняя грани заготовки не параллельны дну калибра (например удерживаются привалковой арматурой или под действием силы тяжести заготовки при значительной ее длине), то имеет место существенная неравномерность обжатия по ширине заготовки, что способствует неравномерности вытяжки по поперечному сечению профиля и, как следствие, – продольное скручивание раската (рис. 2, в и г). Дальнейшая прокатка качественного профиля из такого подката невозможна.

Также установлено, что создание условий прокатки, при которых исходная заготовка самоустанавливается в калибре (рис 2, д), обеспечивает более равномерное обжатие по ширине полосы с верхней и нижней ее сторон. Это позволяет избежать продольного скручивания раската и создает предпосылки для получения требуемой формы подката из НЛЗ с большой величиной ромбичности.

На основе выполненных исследований будут разработаны практические рекомендации по прокатке сортовых профилей из НЛЗ с большой величиной ромбичности, вплоть до 20 мм.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ “РОМБИЧНОСТЬ” В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КАЛИБРАХ

Красенков С. Ю. (ОМД-10м) \*

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Для оценки максимального угла скручивания переднего конца заготовки была использована формула, которая применяется при расчете геликоидальных проводов.

$$\varphi = \varphi_0 \frac{L}{l}, (1)$$

где  $l$  - длина проводов;  $L$  - расстояние между соседними клетями;  $\varphi_0$  - угол начального поворота заготовки.

Исходя из формулы, угол поворота заготовки (угол кантовки) зависит от длины проводов, расстояния между соседними клетями и угла начального поворота заготовки за время прохождения ее через провода.

При этом для данного исследования принималось, что длина удерживающей контактной части  $l$  равняется длине очага деформации  $ld$ , а расстояние между соседними клетями  $L$  равно длине заготовки  $l_{заг}$ . Таким образом, формула (1) примет такой вид:

$$\varphi = \varphi_0 \frac{l_{заг}}{ld}, (2)$$

Тогда применительно к условиям сортопрокатного стана 500/370 «ОАО ДМПЗ» были проведены расчеты угла скручивания непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) с разной величиной ромбичности  $\Delta d$  и соответствующим углом начального поворота заготовки  $\varphi_0$ , которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет угла скручивания заготовки в зависимости от величины ромбичности при длине исходной заготовки  $l_{заг} = 1400$  мм

$\Delta d, мм$	5	10	15	20
$\varphi_0, град$	1,5	3	4,5	6
$\varphi, град$	24,3	48,6	73	97,3

Также в ходе данного исследования было проведено математическое моделирование процесса прокатки заготовки в программном комплексе Deform-3D с использованием метода конечных элементов, с целью, чтобы сравнить результаты расчета угла скручивания заготовки, полученные с использованием формулы (2) и в результате постановки расчетного эксперимента на математической модели, который предусматривает процессы прокатки заготовки с разной величиной ромбичности  $\Delta d$  и соответствующим углом начального поворота заго-

\* Руководитель – д.т.н., член-корр. НАН Украины, профессор, зав. каф. ОМД Минаев А. А.  
Соруководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Снитко С. А.

товки  $\varphi_0$  в первом ящичном калибре обжимной клетки. Математическое моделирование процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы “ромбичность”, производилось по существующей технологии, применительно к условиям производства и калибровке валков на стане 500/370 ОАО «ДМПЗ». Результаты, полученные при моделировании, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение величины углов скручивания переднего конца заготовки, полученные теоретическим путем и в результате математического моделирования при длине заготовки  $l_{заг} = 600$  мм

$\Delta d, мм$	10	15	20
$\varphi_0, град$	3,0	4,5	6,0
$\varphi_{теор}, град$	20,8	31,3	41,7
$\varphi_{мод}, град$	12	20	25

Причиной продольного скручивания заготовки является переменный катающий диаметр по контуру калибра, не обеспечивается равенство скоростей выхода металла из очага деформации по ширине калибра со стороны верхнего и нижнего валка, поэтому имеет место существенная неравномерность обжатия по ширине заготовки, что способствует неравномерности вытяжки по поперечному сечению профиля. На рисунке 1 показан контур очага деформации на стадии установившегося процесса прокатки заготовки с величиной ромбичности  $\Delta d = 20$  мм.

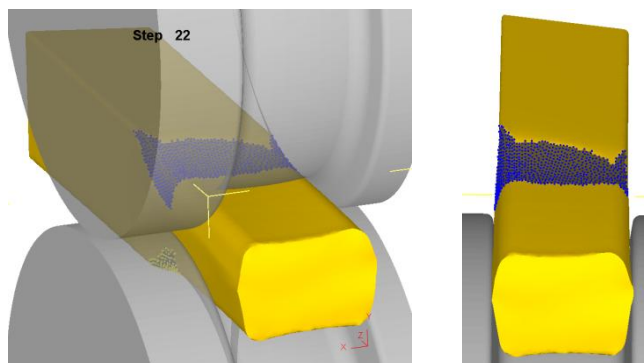


Рисунок 1 – Точки контакта заготовки с поверхностью валка на стадии установившегося процесса прокатки заготовки с величиной ромбичности 20 мм и начальным углом поворота заготовки  $6^\circ$

На рисунке 2 показан последний момент процесса прокатки заготовки с величиной ромбичности  $\Delta d = 20$  мм

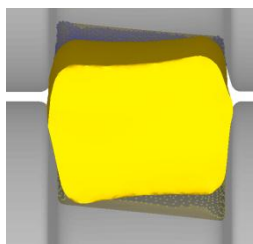


Рисунок 2 – Последний момент процесса прокатки заготовки с величиной ромбичности 20 мм и начальным углом поворота заготовки  $6^\circ$

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ НА ПОПЕРЕЧНУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ТОЛСТЫХ ПОЛОС

Перогив А.А. (ОМД-10м) \*

Донецкий национальный технический университет

Рост требований потребителей листового проката, его качества и усиление конкурентной борьбы требуют от производителей листового проката поиска новых технологий и воплощения их в производство. Одним из таких процессов является асимметричная прокатка.

Асимметричная прокатка - позволяет понизить усилие прокатки и энергозатраты на процесс деформации, уменьшить продольную и поперечную разнотолщинность, улучшить плоскостность и форму полосы, дает возможность оперативно управлять качеством поверхности, физико-механическими свойствами проката.

Анализ факторов, которые влияют на уширение, и способов асимметричной прокатки показал, что наиболее рациональными способами для исследования влияния рассогласования скоростей валков на уширение со стороны ведущего и ведомого валков является скоростная асимметрия.

Применение скоростной асимметрии дает возможность регулировать рассогласование скоростей валков в широком диапазоне непосредственно в процессе прокатки, а также позволяет использовать системы автоматического регулирования.

Исследования проводились на лабораторном стане 100 с индивидуальным приводом рабочих валков, что позволяло использовать скоростную асимметрию. Для прокатки использовали валки с шероховатой поверхностью. Прокатывали физические модели заготовок из свинца, которые имели размеры поперечного сечения 28x42 мм. Обжатие за пропуск составляло 2,0 мм.

После пропуска фиксировали разницу между шириной полосы со стороны верхнего и нижнего валков с помощью соответствующих измирений штангельциркулем. Результаты прокатки образцов приведены в таблице

Таблица 1 – Толщина и ширина образца 28x42 мм после асимметричной прокатки

Номер пропуска	Толщина, Н, мм	Ширина со стороны ведущего валка, В <sub>1</sub> , мм	Ширина со стороны ведомого валка, В <sub>2</sub> , мм
0	28,1	42,4	42,5
5	19,2	46,7	44,6
10	10,1	51,4	44,7

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД. Смирнов Е.Н.  
Соруководитель – к.т.н., доцент кафедры ОМД Митьев А.П.



Фотография темплета поперечного профиля полосы после асимметричной прокатки приведена на рисунке:



Рисунок – Темплет поперечного профиля образца 28x42 мм

В результате проведенного эксперимента было установлено, что уширение со стороны ведущего вала больше чем со стороны ведомого, была показана возможность применения скоростной асимметричной прокатки для получения полос со скошенной боковой кромкой.

На основании проведенных исследований был разработан способ прокатки рессорной полосы, которая имеет форму поперечного сечения в виде трапеции. Который включает нагрев заготовки, её прокатку в прямоугольных калибрах обжимной группы клетей, последующую прокатку в цилиндрических валах на гладкой бочке с рассогласованием скоростей, величина которого зависит от разности ширины готовой полосы со стороны валков, имеющих большую и меньшую скорости вращения соответственно, и составляет не менее 1,020. Последующую прокатку в валах с калибрами со скосом кромок в черновой группе клетей и в чистовом фасонном калибре.

Применение данного способа позволяет за счет скоростной асимметрии формировать подкат с формой поперечного сечения, которая аналогична форме калибра, повысить интенсивность сдвиговой деформации, что приведет к измельчению зерна в металле, и, как следствие, к увеличению уровня механических свойств.

В дальнейшем планируется разработать способы прокатки полосы в асимметричных условиях, которая создаются скрещиванием осей рабочих валков, а также комбинацией скрещивания осей рабочих валков со скоростной асимметрией.

## СОЗДАНИЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ СТАНА 150 ЗАО ММЗ И РАСШИРЕНИЕ СОРТАМЕНТА СТАНА

Петров И.В. (ОМД-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Проволочный стан 150 ЗАО «Макеевский металлургический завод» является одним из самых современных станов и по своему техническому уровню соответствующим аналогичным станам в мире. Стан введен в эксплуатацию в 1994 г. Основным сортаментом стана является катанка диаметром от 5,5 до 12 мм. Скорость прокатки на этом стане возможна до 110 м/с, а годовая производительность 1,2 млн тонн. Исходная заготовка – квадрат сечением 150x150 мм.

Повышение цен на энергетические ресурсы привело к уменьшению прибыли металлопроизводителей. Производственные расходы удалось несколько оптимизировать благодаря внедрению различных технологических новшеств, но радикального уменьшения этих расходов не добились. Вскоре стало ясно, что единственным способом, обеспечивающим значительное сокращение производственных расходов, является принципиальное упрощение производственного цикла и более компактное размещение оборудования.

Одним из решений данной проблемы является создание литейно-прокатных агрегатов, что, как показала практика, позволяет существенно уменьшить энергетические и материальные затраты.

В связи с тем, что ЗАО ММЗ в настоящее время работает в составе двух сортовых станов, заготовка на которые поступает с ОАО ЕМЗ, целесообразно проработать вариант создания на базе ЗАО ММЗ мини-завода с одной электропечью, установками внепечной обработки стали и МНЛЗ. В этом случае наиболее рационально создание литейно-прокатного агрегата.

*В состав комплекса должно входить следующее оборудование:*

- дуговая электросталеплавильная печь емкостью 35т и годовой производительностью 200000 тонн/год;
- печь-ковш вакууматор;
- одноручьевая МНЛЗ для производства сортовой заготовки размером 150x150 мм.

При этом необходимо реконструировать имеющуюся нагревательную печь, предусмотрев возможность, как торцевой посадки холодных заготовок, так и горячих заготовок в специальное посадочное окно, расположенное в боковой стенке печи. Это позволит получать сталь высокого качества, отвечающую требованиям, предъявляемым к стали, предназначенной для производства металлокорда и «людских» канатов. Сооружение ЛПА позволяет вывести стан 150 на частичную загрузку печи горячим посадом, что снизит энергозатраты на производство катанки. Мировая практика показывает, что при таком варианте будут снижены как энергетические, так и материальные затраты. Будет возможность производить высококачественную продукцию, в том числе и катанку для металлокорда и людских канатов, которая в Украине не производится.

В настоящее время на стане прокатывают катанку с максимальной скоростью до 90 м/с, хотя заявленная максимальная скорость 120 м/с. Это дает воз-

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Коновалов Ю.В.

возможность расширить сортамент стана не добавляя никакого дополнительного оборудования. За рубежом уже производят катанку диаметром 5 и 4,5 мм. Освоение на стане прокатки катанки 5 мм позволит расширить сортамент стана 150 и существенно снизить энергозатраты у потребителей. В связи с этим рассчитана калибровка валков для прокатки катанки 5 мм, показанная в таблице, где: S – зазор между валков, Н – высота металла, В – ширина металла, F – площадь металла, м – коэффициент вытяжки, Дн – обжатие, Дб – уширение.

*Таблица – Калибровка валков стана 150 ЗАО ММЗ для прокатки катанки диаметром 5 мм*

Проход	Форма	S	Н	В	F	м	Дн	Дб
1	ящичный	49	113	166	17962	1,28	40	13
2	ящичный	33	85	173	14250	1,26	28	7
3	ящичный	27	115	104	10458	1,36	58	19
4	ящичный	24	80	116	8716	1,2	35	12
5	ящичный	16	74	93	6280	1,39	42	13
6	овал	13	54	108	4731	1,33	20	15
7	р.овал	8	71	64	3526	1,34	37	10
8	овал	12	42	83	2864	1,23	22	12
9	р.овал	8	56	52,5	2107	1,36	27	10,5
10	овал	11	30	66,5	1643	1,28	22,5	10,5
11	р.овал	5,5	43,5	37	1178	1,39	23	7
12	овал	6	21	52	871	1,35	16	8,5
13	круг	5	29,5	27	670	1,3	22,5	6
14	овал	3	16,5	38,8	506,6	1,32	10,5	9,3
15	круг	3,3	22,3	21,4	383,1	1,32	16,5	4,9
16	овал	3,2	13,7	28	306,5	1,25	7,7	5,7
17	круг	3,5	18,5	18,2	270,5	1,13	9,5	4,5
18	овал	2,9	11,4	20,6	193,2	1,4	7,1	2,4
19	круг	1,9	13,75	13,75	148,6	1,3	6,85	2,35
20	овал	2,3	8,5	16,4	107,7	1,38	5,25	2,65
21	круг	1,9	10,65	10,65	89,0	1,21	5,75	2,15
22	овал	2,2	6,6	13,2	67,4	1,32	4,05	2,55
23	круг	2	8,25	8,25	53,5	1,26	4,95	1,65
24	овал	1,25	5,15	10,15	39,1	1,37	3,1	1,9
25	круг	1,65	6,5	6,5	33,1	1,18	3,65	1,35
26	овал	1,2	3,9	8,2	24,5	1,35	2,6	1,7
27	круг	1,1	5	5	19,6	1,26	3,2	1,1

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ВЫНУЖДЕННОЕ УШИРЕНИЕ РАСКАТОВ ДЕФОРМАЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ И ПАРАМЕТРОВ ЯЩЕЧНЫХ КАЛИБРОВ.

Семенова И.С. (ОМД-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время широкое применение получила технология редуцирования слябов в специальной редуцирующей универсальной клети широкополосных станов. Эта технология позволяет получить полосы шириной на 200 – 250 мм меньше ширины исходного сляба. Отклонение ширины полос от заданного значения во многом обуславливает величину боковой обрезки, которая составляет 1,5 – 2% от общей обрезки. Точность ширины зависит от точности определения вынужденного уширения раската после обжатия в вертикальных валках.

Большинство опубликованных исследований посвящены определению вынужденного уширения после обжатия в гладких и калиброванных вертикальных валках за один проход. Процесс редуцирования при значительном уменьшении ширины осуществляется за несколько (2 – 3) последовательных проходов.

В технической литературе отсутствуют исследования по определению вынужденных уширений в литературе в этих условиях. В этой связи работа является актуальной, так как направлена на повышение точности ширины горячекатаных полос путем учета влияния дробности деформаций в вертикальных валках на вынужденное уширение металла после обжатия в вертикальных валках.

Предварительно выполнили экспериментальное исследование вынужденного уширения на лабораторных станах с вертикальными и горизонтальными валками. Масштаб моделирования 1:30, материал – свинец.

Моделировали процесс редуцирования сляба шириной 1800 мм, толщиной 240 мм с обжатиями в вертикальных валках за один, два и три прохода.

На рисунке показаны зависимости частных вынужденных уширений по трем проходам ( $\delta b_{вн1}$ ,  $\delta b_{вн2}$ ,  $\delta b_{вн3}$ ) от суммарного обжатия и от показателя характеризующего размеры ящичного калибра  $K_{кал}$ .

Значение  $K_{кал}$  определяли по формуле:

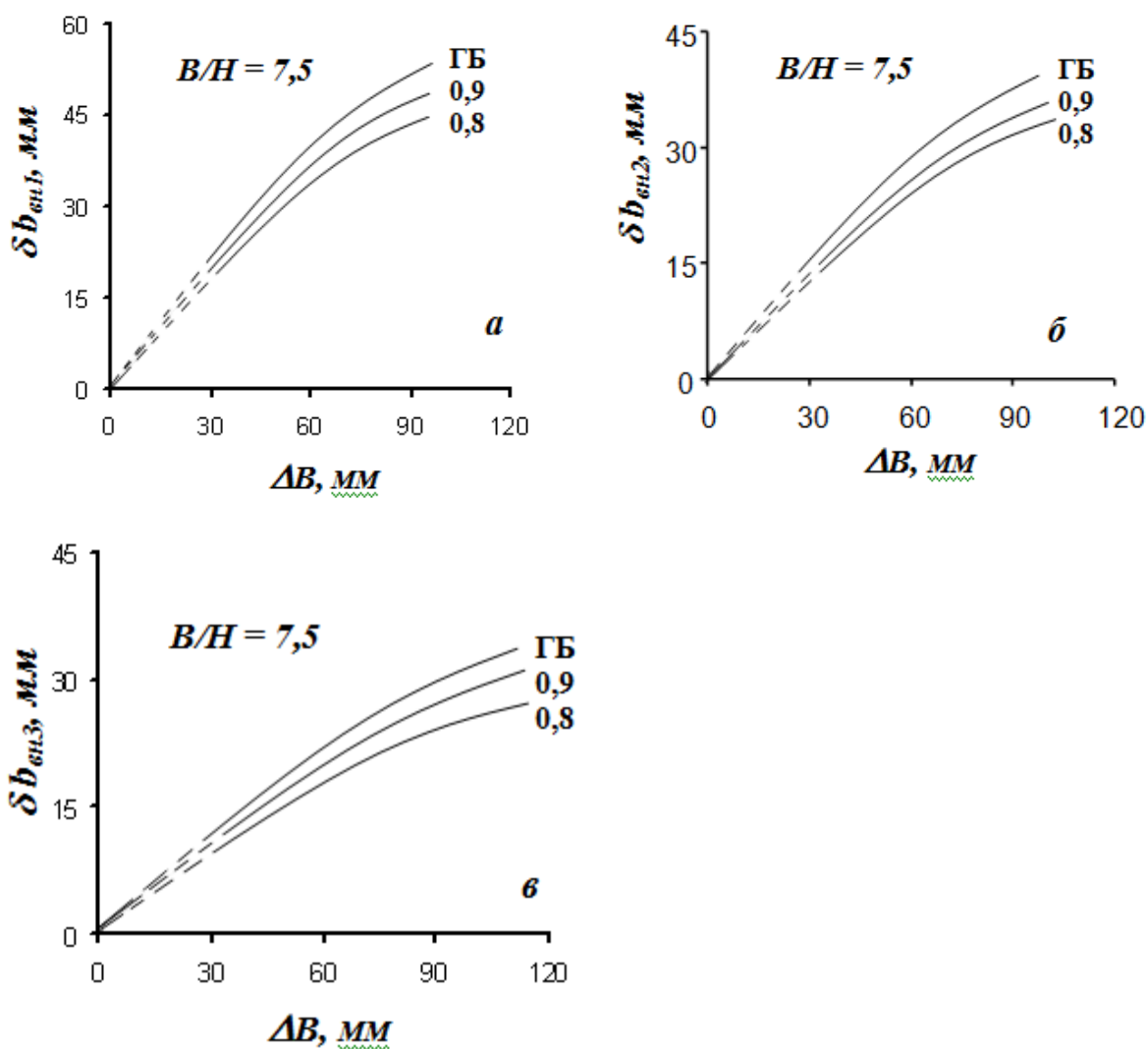
$$K_{кал} = \left( \sqrt{\frac{1 + 0,1 b_p / (h_p - h_d)}{1 - 2 b_p / B}} \right)^{-1}$$

где  $h_p$ ,  $h_d$ ,  $b_p$  - ширина калибра у разъема и дна, глубина калибра соответственно;

$B$  – ширина сляба.

---

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



а – первый проход; б – второй проход; в – третий проход; ГБ – гладкие ВВ; цифры у кривых – значения критерия  $K_{кал}$  калибра.

Рисунок – Зависимость частных вынужденных уширений по проходам от обжата ВВ.

Из рисунка также видно, что с увеличением обжата в вертикальных валках вынужденное уширение возрастает. Вынужденное уширение после обжата в калиброванных вертикальных валках меньше, чем на гладкой бочке. С увеличением значения показателя калибра, вынужденное уширение возрастает. Значение вынужденных уширений уменьшаются после последовательных обжатий в двух и трех проходах.

В дальнейшей работе будет исследовано влияние  $V/H$  на вынужденное уширение ВВ, а также дробности обжатий.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ОБЖАТИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА.

Семенова О.С. (ОМД-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Расход металла в концевую обрезь на станах горизонтальной прокатки зависит от отношения обжатия в вертикальных валках к обжатию в горизонтальных валках во всех универсальных черновых клетях.

Известно, что форма раската после обжатия в горизонтальных валках выпуклая, а после вертикальных валков вогнутая. Концевая обрезь составляет 15-25% от суммарного расхода металла (1,04-1,05).

Из технической литературы известно, что оптимальное отношение  $\Delta B/\Delta H$  обеспечивающее форму концов раската близкую к прямоугольной составляет 0,6-0,8. Работы в этом направлении выполнены только для узкого диапазона отношения ширины сляба  $B$  к толщине  $H$ , (для условий прокатки в первой черновой клети) и только при обжатии в гладких вертикальных валках с цилиндрической бочкой. Влияние отношений  $\Delta B/\Delta H$  по универсальным клетям на форму раската на выходе черновой группы клетей не исследовано. В этой связи работа является актуальной, т.к. направлена на уменьшение концевой обрезки.

Исследования выполнили на лабораторных горизонтальном и вертикальном станах. Масштаб моделирования 1:25, материал свинец. Моделировали процесс формоизменения концов раската в плане в вертикальных и горизонтальных валках универсальных черновых клетей широкополосного стана.

Обжимали слябы (раскатов) толщиной 130-250мм, шириной 800-850мм в валках диаметром 1250мм. В качестве параметров формы концов раската приняли

$\pm f_n; \pm f_3$  - стрелы выпуклости (+) или вогнутости (-) переднего и заднего концов, мм.

$\pm f_{cp}$  - среднего значения стрел, мм.

На рисунке 1 показано влияние отношений  $B/H$ ,  $\Delta B/\Delta H$  на параметры формы концов. Видно, что с увеличением отношения  $\Delta B/\Delta H$  форма переднего и заднего конца изменяется от выпуклой к вогнутой, причем интенсивность изменения возрастает с увеличением отношения  $B/H$ . Чем меньше отношение  $B/H$ , тем при меньшем отношении  $\Delta B/\Delta H$  получается прямоугольная форма концов. На рисунке 2 показана зависимость оптимального значения  $\Delta B/\Delta H$  при котором  $f_{cp} = 0$ ,  $f_{пер} = 0$  и  $f_{зад} = 0$  в зависимости отношений  $B/H$ .

---

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

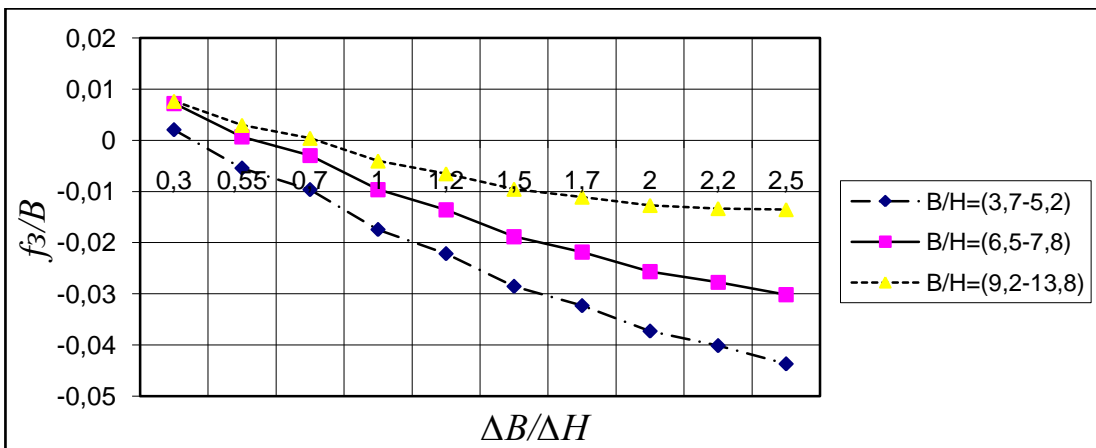
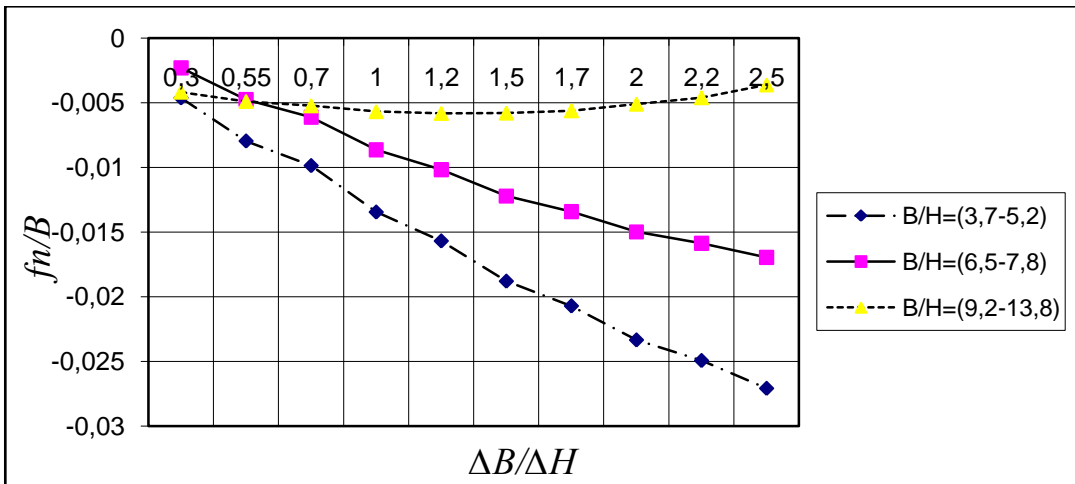


Рисунок 1. Влияние  $B/H$ ,  $\Delta B/\Delta H$  на параметры формы концов.

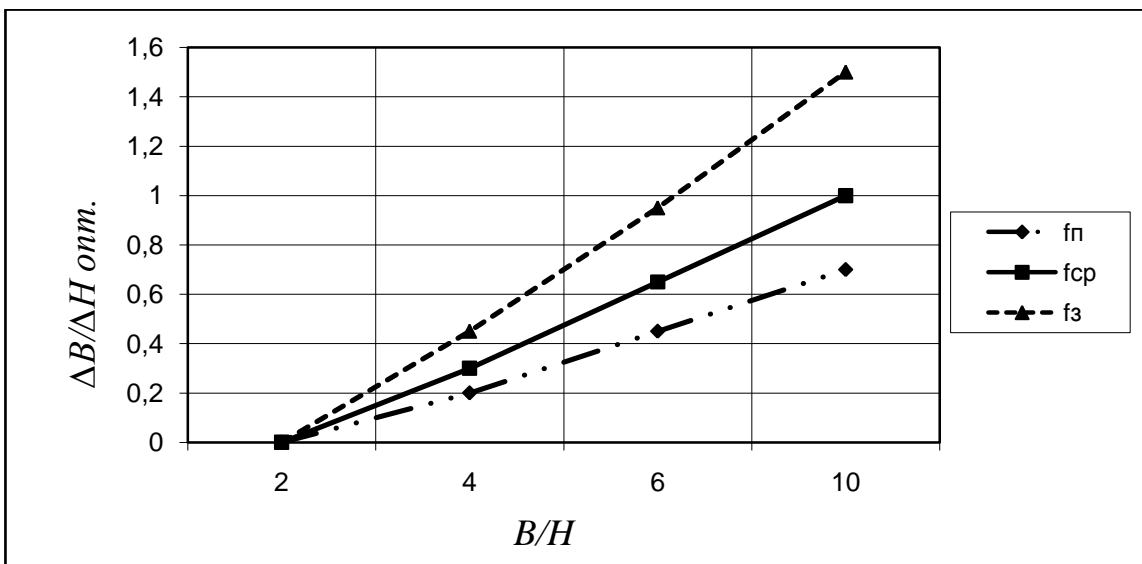


Рисунок 2 – зависимость  $\Delta B/\Delta H$  оптимальные от  $B/H$

Из рисунка 2 видно, что прямоугольный задний конец получается при больших  $\Delta B/\Delta H$ , чем прямоугольный передний, примерно в 2 раза отношениях. Так при  $B/H = 10$  прямоугольный передний конец получили при  $\Delta B/\Delta H = 0,7$ , а прямоугольный задний при отношении  $\Delta B/\Delta H = 1,5$

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КАЛИБРАХ ПО НОВОЙ СХЕМЕ

Шум В.Б. (гл. калибровщик ОАО «ДМЗ»), Игнатков Р.С. (ОМД-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В настоящее время процессы горячей прокатки сортовых заготовок в прямоугольных калибрах обжимных клетей, во многом предопределяющих качество конечной металлопродукции, изучены достаточно полно, как методами физического моделирования, так и в условиях промышленного производства. Однако развитие методов математического моделирования позволило по-новому взглянуть на данный процесс, особенно с повсеместным переводом сортопрокатного производства на использование непрерывнолитой заготовки.

Целью настоящей работы является исследование методами математического моделирования процесса деформирования непрерывнолитой заготовки в первых прямоугольных калибрах технологической линии сортового стана.

В качестве объекта исследования была выбрана усовершенствованная схема деформирования непрерывнолитой заготовки сечением 135×135 мм в первой паре прямоугольных сопряженных калибров, разработанная применительно к условиям обжимной клетки стана 500/370 ОАО «Донецкий металлургический завод» (Рис. 1).

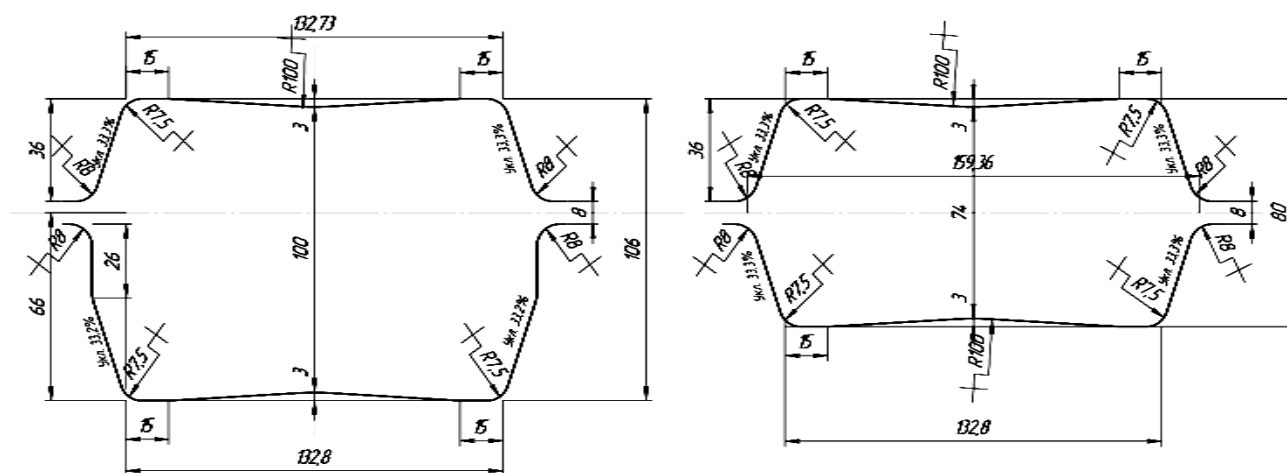


Рисунок 1 - Элемент усовершенствованной калибровки - первая пара сопряженных калибров

Внесенные изменения в калибровку преследовали цель как повышения степени проработки литой структуры, так и минимизации возможности возникновения поверхностных дефектов. Это достигается за счет регламентированного изменения направления деформации поперечного сечения заготовки и увеличе-

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Смирнов Е.Н.



ния длины контактной зоны по ширине, что приводит, в свою очередь, к повышению качества готового проката за счет минимизации вероятности раскрытия дефектов, присутствующих на поверхности заготовки.

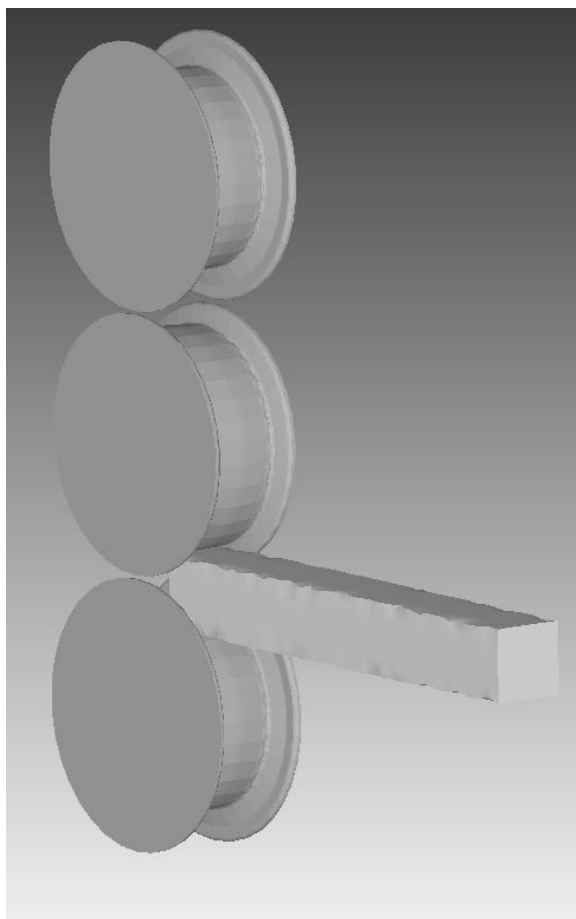
Результаты расчета взаимосвязи вытяжек между группами калибров по новому способу представлены в таблице.

Таблица – Взаимосвязь вытяжек по группам калибров обжимной клетки

№ прохода	1	2	3	4
$\mu_{\Sigma}$	1,65		1,67	
$\mu$	1,27	1,30	1,10	1,51

В процессе работы была выполнена постановка задачи для моделирования процесса прокатки, которая предусматривает моделирование процесса деформации металла в прямоугольных калибрах по новой схеме.

Реализация модели была выполнена в программном комплексе DEFORM – 3D (Рис. 2).



Проверка результатов численного эксперимента была выполнена путем сопоставления расчетных данных с данными физического моделирования. В ходе лабораторного эксперимента физические модели из свинца (выполненные в масштабе 1:6) прокатывались на стане 100 в валках, на которых была нарезана действующая система калибров.

Проведенное сопоставление показало, что расхождение между данными численного и физического эксперимента не превышало 10-15%. Это позволило говорить о корректности разработанной модели и возможности применения её для практических расчетов.

Рисунок 2 – Изображение модели в программном комплексе Deform – 3D

# ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТРУБ МАЛИХ РОЗМІРІВ (МІКРОТРУБ)

Волошин О.М. (МО-06-М)\*  
Національна металургійна академія України

Сучасною прогресивною концепцією є створення ефективних ресурсозберігаючих та екологічно чистих наскрізних технологій виробництва холоднодеформованих прецизійних труб (мікротруб) зовнішнім діаметром менше 6 мм із застосуванням високоефективних процесів волочіння та використанням уніфікованих розмірів трубної заготовки (в першу чергу тонкостінної зварної заготовки малих розмірів) в умовах міні-виробництва. Це викликано необхідністю підвищення їх якості та зниження витрат за рахунок скорочення циклічності виробництва внаслідок використання оптимальних деформаційно-швидкісних параметрів технологічного процесу. Нині істотно зростає роль технологічних розробок на базі теоретичних та експериментальних досліджень для створення сучасних мобільних міні-виробництв з досконалою структурою й тісними технологічними зв'язками, оснащених високопродуктивним обладнанням та надійними наскрізними ресурсозберігаючими та екологічно чистими технологіями для виготовлення наукоємної продукції (прецизійних мікротруб).

Виходячи з цього, першочерговим кроком по реалізації такої концепції було: обґрунтування та вибір методики розрахунку режимів формоутворення при виготовленні мікротруб за наскрізною схемою *«формування-зварювання-волочіння»*, її перевірка з використанням комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень.

Такі комплексні дослідження щодо вибору режимів технології виготовлення наукоємної продукції (прецизійних мікротруб) проводилися за трьома напрямками: а) прецизійні мікротруби широкого сортаменту (діаметр зварних труб - 2,0 - 5,5 мм; діаметр готових труб - 1,0 - 5,5 мм, товщина стінки труб - 0,06 - 0,3 мм), б) труби-оболонки для кабелю та в) труби-оболонки для оптичного волокна (діаметр зварної труби - 2,0 - 5,5 мм; діаметр остаточної труби - 1,0 - 5,5 мм, товщина стінки труби - 0,15 - 0,3 мм).

Моделювання виконуємо на пакеті програм «Transvalor» Forge 3D V2008 (Франція), методом кінцевих елементів.

Мікротруби з нержавіючої сталі по варіанту а) використовуються для низки різних продуктів, таких як початковий матеріал для усіх видів ін'єкційних голлок.

---

\* Керівник – д.т.н., професор кафедри «Обробка металів тиском» Стасовський Ю.М.

З метою зниження циклічності виробництва (скорочення дорогого багато-

прохідного волочіння) такі труби доцільно формувати і зварювати методами *laser* або *TIG* на розмірах, найбільш близьких до необхідного кінцевого діаметру і товщини стінки. Основним елементом такої виробничої лінії повинен стати автоматизований агрегат, який буде чудово координувати процеси формування і зварювання з іншими вимогами виробничого процесу. Така виробнича лінія принципово складається з наступних основних субагрегатів: розмотувач штаби; машина формування і зварювання мікротруб; стан для волочіння труб; приймальний пристрій; управління виробничою лінією; допоміжні пристрої для безперервного процесу виробництва.

Технологічний процес за варіантом б) полягає у формуванні з металеві штаби зварної оболонки кабелю - гладкою або гофрованою. В ході цього процесу, в установку вставляється металева штаба і, в єдиному операційному циклі, її кромки обрізаються, і формується кругла оболонка кабелю. Кромки штаби, що стикуються, зварюються. Гусеничний пристрій з розрізним затиском, що тягне, розташований після зварювального стану, простягає армований кабель через установку і, у разі, коли вимагається додаткова гнучкість, проштовхує його в стан для волочіння. Хороше налаштування операцій формування і зварювання за допомогою гусеничного пристрою, що тягне, з розрізним затиском є передумовою для отримання однорідного зварного шва, забезпечуючи, таким чином, оптимальну якість виробу.

Передумовою для отримання однорідного зварного шва є точне позиціонування кромки штаби в точці зварювання методом *laser*. Вони повинні розташовуватися точно один навпроти одного з мінімальним зазором. Установка складається з наступних основних блоків: подача жили кабелю; подача штаби; формувальний стан; зварювальний стан; волочильний стан; гусеничний пристрій, що тягне, з розрізним затиском; пристрій для гофрирування; намотування кабелю; електроустаткування; прилади для безперервного виробництва. Мікротруби з нержавіючої сталі з оптичними волокнами за варіантом в) використовуються у якості: наземних оптичних кабелів, оптичних фазових дротів, волоконних оптичних підводних кабелів. Оптичні волокна в таких випадках використання мають бути захищені від тяжких умов довкілля. Зварені методом *laser* герметично ущільнені мікротруби з нержавіючої сталі ідеально задовольняють цим вимогам, оскільки вони забезпечують механічний і термічний захист оптичних волокон і хороший опір проникненню вологи і водню. Виробнича лінія для виготовлення таких мікротруб з нержавіючої сталі з оптичними волокнами, які повинні відповідати усім перерахованим вимогам, буде виготовлятися з великою довжиною в єдиному безперервному процесі. Організація в Україні міні-виробництва таких наукоємних мікротруб дасть змогу відмовитися від імпорту та надати позитивний імпульс для розвитку інших пріоритетних галузей.

# ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕЖУ ТЕКУЧОСТІ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ

П'ятак Г.М. (МО – 06м)\*

Національна металургійна академія України

Температура штаби при холодній прокатці досягає 200 – 250 °С. При зазначених температурах протікають такі мимовільні процеси як повернення (відпочинок) та полігонізація, які мають суттєвий вплив на межу текучості матеріалу штаби в лінії безперервного (реверсивного) стану. В наш час встановлено, що збільшення температури до 150 – 250 °С викликає зменшення межі текучості для більшості сталей (сплавів) на 10 – 20% і більш.

Для визначення значень межі текучості матеріалу штаби на вході ( ) і на виході ( ) із осередку деформації із впливом зміцнення і температури можуть бути використані формули:

(1)

(2)

де , - відповідно коефіцієнти, які враховують вплив температури штаби на вході і на виході з осередку деформації на межу текучості.

В літературі є залежності для визначення коефіцієнтів , лише для невеликої кількості сталей (сплавів). Це, безумовно, обмежує застосування формул (1) та (2). З метою отримання залежностей ( – температура штаби на вході в осередок деформації) та ( – температура штаби на виході з осередку деформації) для інших сталей були використані експериментальні дані, які є в літературі, про вплив температури деформації у діапазоні від 20 °С до 0,3...0,4 $t_{пл}$  (де  $t_{пл}$  – температура плавлення матеріалу штаби) на межу текучості, які були отримані при випробуваннях зразків на розтягування в статичних умовах. Ці дані були оброблені методами математичної статистики за стандартними програмами та апроксимовані рівнянням:

(3)

де  $t$ ;  $t_{ст}$ ;  $t_{пл}$  – відповідно температура деформації; температура статичних дослідів ( $t_{ст} = 20$  °С), та температура плавлення матеріалу штаби;  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – коефіцієнти полінома.

За допомогою моделі (3) були проаналізовані понад 100 конструкційних, спеціальних та інструментальних сталей та побудовані їхні графічні залежності

На рисунку представлені графічні залежності для деяких

\*Керівник – д.т.н., професор кафедри ОМТ Василев Я.Д.

вуглецевих і легованих сталей в діапазоні температур 20-500°C, побудовані по моделі (3). З рисунка видно, що залежності  $k_t$  мають складний характер зміни. В більшості випадків коефіцієнт  $k_t$  менш 1,0 (при  $t = 20^\circ\text{C}$ ) та знаходиться у межах до 0,75-0,90 (при температурі деформації 150-250°C).

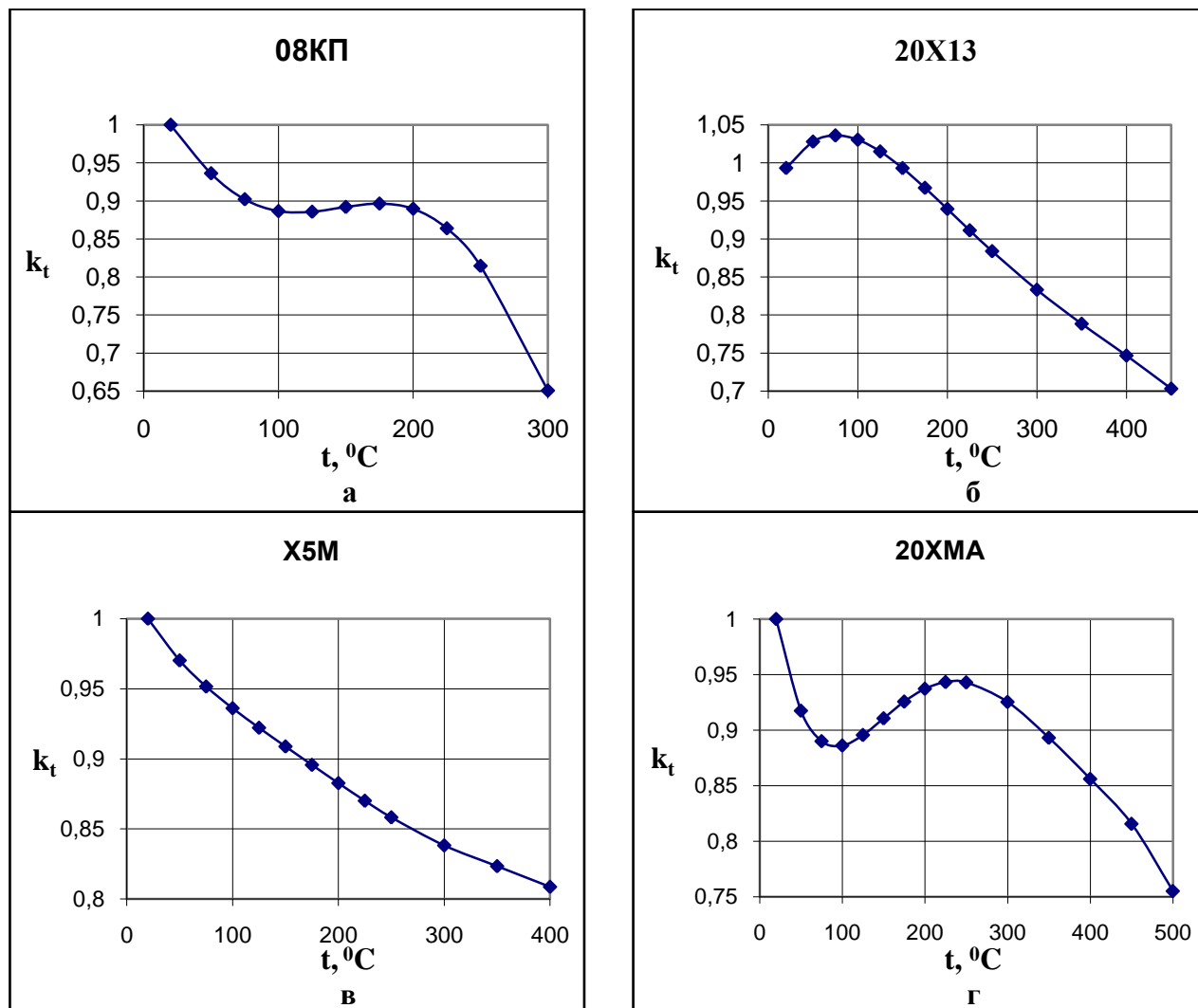


Рисунок - графічні залежності  $k_t$  для деяких вуглецевих і легованих сталей в діапазоні температур 20-500°C

При цьому це зменшення може бути монотонним (в), що обумовлено протіканням процесу повернення (відпочинку), або відбуватися за більш складною кривою(а, б, г).

Закономірності впливу температури деформації на  $k_t$  відображають особливості зміни межі текучості та опору деформації матеріалу штаби та повинні бути враховані при прогнозуванні величин цих параметрів. Адже опір деформації впливає на значення енергосилових параметрів, які є важливим при холодній прокатці.

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



# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АЗОТОМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА ПЕРЕД ОТПУСКОМ

Бродина М. С. (ПМ-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

Известно, что механические и эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей определяются не только их составом, но и технологическими параметрами термической обработки инструмента.

Целью настоящих исследований было изучение влияния дополнительного легирования азотом, а также температурных параметров нагрева под закалку и числа отпусков на процессы структурообразования и свойства быстрорежущих сталей Р6М5 и Р6АМ5 в условиях ожидаемой стабилизации остаточного аустенита после закалки.

Образцы из обеих сталей подвергали закалке от температур 1200...1260 С, охлаждали в масле. С целью стабилизации остаточного аустенита образцы выдерживали в течение 6 месяцев. Одну группу образцов каждой стали после этого изучали в закаленном состоянии, другую группу подвергали одно – двух – и трехкратному отпуску длительностью 1 час (с охлаждением после каждого цикла на воздухе) при температуре  $560 \pm 10$  С. Образцы, подвергавшиеся закалке от разных температур с последующим 3–кратным отпуском, подвергали испытаниям на теплостойкость по методу «холодной твердости» после выдержки при температуре 610...620 С длительностью от 1 до 4 часов и охлаждением на воздухе.

Исследования показали, что дополнительное легирование стали типа Р6М5 азотом препятствует стабилизации остаточного аустенита после закалки даже в случае очень длительной ее выдержки перед отпуском, способствует существенному измельчению зерна аустенита при всех исследованных температурах нагрева (1200...1260 С), повышению твердости после отпуска с разным числом его циклов. Для повышения твердости после отпуска и теплостойкости стали типа Р6АМ5 представляется целесообразным повышение температуры нагрева под закалку до 1240...1260 С с целью более полного растворения карбидов в аустените и усиления эффекта дисперсионного твердения стали при отпуске для обеспечения ее повышенной теплостойкости. Для стали Р6М5 без дополнительного ее легирования азотом длительная выдержка перед отпуском является недопустимой из-за стабилизации остаточного аустенита. Однако, высокотемпературный нагрев под закалку такой стали может способствовать некоторому повышению твердости после трехкратного отпуска и теплостойкости сплава.

---

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

# ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СО СДВИГОМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕДИ

Воропаева М.В. (ПМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Исследования показали, что прокатка со сдвигом позволяет формировать в материале специфическую структуру и свойства. Материалом для исследования послужила медь М2, прокатанная на валках по четырем режимам: гладкая бочка (режим 1), продольные прорезы (2), поперечные прорезы (3) и комбинированные (сочетание продольных и поперечных) прорезы (4) на валках.

На образцах было проведено измерение микротвердости. Анализируя результаты, можно сказать, что прокатка на валках с комбинированными прорезями формирует структуру с наименьшими колебаниями микротвердости по сравнению с другими режимами прокатки. Также следует отметить, что после обработки на гладкой бочке материал обладает максимальным разбросом микротвердости.

Также исследования показали, что прокатка на валках с комбинированными прорезями способствует меньшему упрочнению меди, чем обработка по трем остальным режимам. Более сильному упрочнению способствуют обработка на гладкой бочке и на валках с поперечными прорезями. График зависимости микротвердости от режима прокатки представлен ниже.

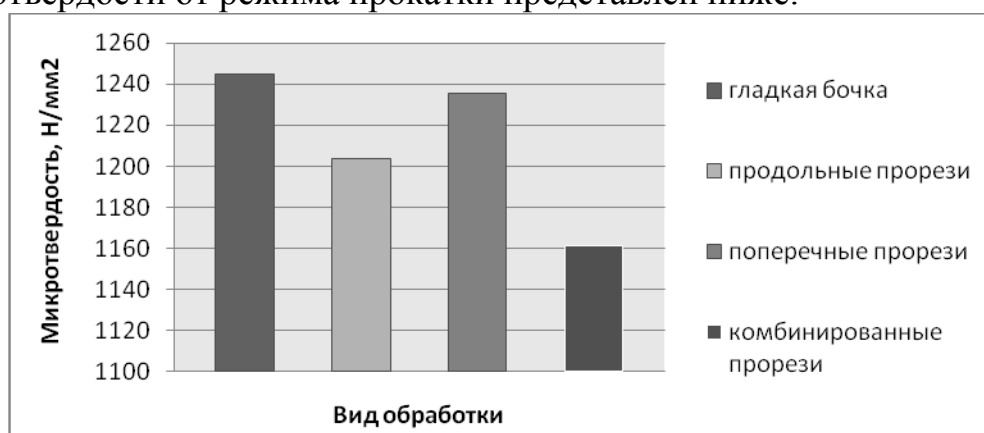


Рисунок 1 – Влияние вида прокатки на микротвердость меди М2

Такая тенденция наблюдается для большей части объема прокатанной полосы. Некоторые отклонения обнаружены лишь для краевых объемов.

Параллельно с изучением влияния режима прокатки на микротвердость, проводилось изучение влияния на плотность меди М2.

Классическое материаловедение гласит о том, что деформируя металл, мы вносим в него дефекты, такие как дислокации и вакансии, за счет этого его плотность уменьшается.

Ниже представлен график влияния вида обработки на плотность.

\* Руководители - д.т.н. Пашинская Е.Г., д.т.н. Пашинский В.В.



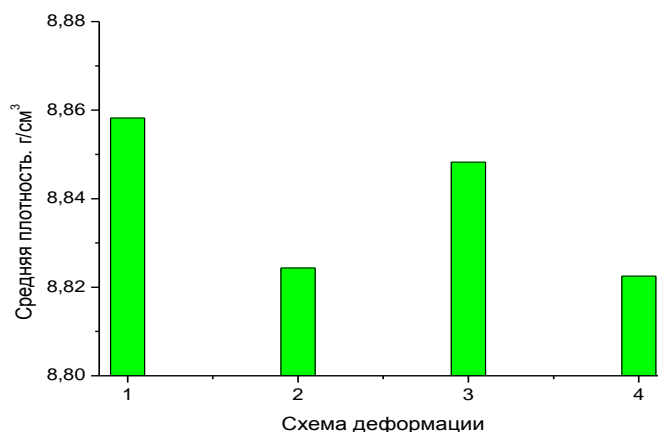


Рисунок 2 – Влияние вида прокатки на плотность меди М2

Если бы в меди протекали процессы только фрагментации и накопления дефектов в той или иной степени, то образец с максимальной микротвердостью обладал бы минимальной плотностью. Но такого не наблюдается. Поэтому можно сказать, что при прокатке со сдвигом реализуются особые механизмы упрочнения/разупрочнения, изучение которых является целью дальнейшей работы.

Также было установлено, что прокатка со сдвигом приводит к образованию структуры смешанного типа. При исследовании полученной структуры были обнаружены зерна двух типов: мелкие рекристаллизованные и деформированные. Такая структура обусловлена протеканием двух процессов: рекристаллизации и фрагментации. Наличие в структуре двух видов зерен обеспечивает высокую прочность и пластичность.

Что касается изучения влияния режима прокатки на структуру то можно сказать следующее. После прокатки на гладкой бочке вдоль оси прокатки перпендикулярно плоскости прокатки в меди наблюдается слабо выраженная полосчатая структура, причем полосы довольно ровные и протяженные. После прокатки на валках с продольными прорезями полосы становятся более четко выраженными. По сравнению с предыдущим режимом, после прокатки на валках с поперечными прорезями полосы еще более четкие и тонкие.

Микроструктура, полученная после прокатки на валках с комбинированными прорезями, кардинально отличается от предыдущих. Она не имеет выраженной полосчатости. Видно, что в процессе деформации произошло перемешивание объемов металла.

Можно сделать следующие выводы. Во-первых, такая обработка способствует измельчению макрозерен (уменьшению их протяженности). Во-вторых, формирует неровные извилистые границы между макрозернами.

## РЕНТГЕНСТРУКТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БОРОВАНОГО ШАРУ СТАЛІ 20

Горобчук Ю.В. (ПМ-10сн)\*

Донецкий национальный технический университет

Боровані сталі мають високі антикорозійні властивості в різних агресивних середовищах. Однак у промисловості боридні покриття, як антикорозійні, сьогодні практично не використовуються, хоча за стійкістю у більшості агресивних середовищ вони перевершують всі інші відомі дифузійні покриття.

Метою даних досліджень було вивчення фазового складу борованого шару сталі 20 і особливостей його зміни при заглибленні у зразок.

Матеріалом для досліджень служили циліндричні зразки зі сталі 20 діаметром 20 і висотою 30 мм. Борування проводили електrolітичним методом у розплаві складом 70%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  і 30%  $\text{SiC}$  при температурі  $950^\circ\text{C}$  і густині струму  $50 \text{ mA/cm}^2$ . Час борування тривав 2 і 4 години. Після борування зразки повільно охолоджувались на повітрі або піддавались гартуванню шляхом охолодження у воді. Рентгеноструктурні дослідження проводились на дифрактометрі ДРОН-3 у нефільтрованому випромінюванні рентгенівської трубки з залізним анодом у інтервалі кутів дифракції від  $30$  до  $90^\circ$ .

Якісний фазовий аналіз досліджених зразків показав, що за згаданих умов борування на поверхні зразків чітко фіксується наявність дифракційних ліній, що відповідають двом боридним фазам заліза:  $\text{Fe}_2\text{B}$  і  $\text{FeB}$  (півборид і борид заліза). Дифракційні лінії, що відповідають  $\alpha\text{-Fe}$ , на дифрактограмі з поверхні зразку відсутні. Після зняття шару зразку товщиною 10 мкм шляхом абразивного зішліфовування фазовий аналіз показує повне зникнення на дифрактограмі ліній, що відповідають фазі  $\text{FeB}$ , відсутні також лінії, що відповідають фазі  $\alpha\text{-Fe}$ . При подальшому заглибленні у зразок з кроком 10 мкм на дифрактограмі залишаються лише лінії фази  $\text{Fe}_2\text{B}$ , інтенсивність яких поступово зменшується, а інтенсивність лінії (200)  $\alpha\text{-Fe}$  починає зростати. Більш інтенсивна лінія (110)  $\alpha\text{-Fe}$ , на жаль, має такий же кут дифракції, що і лінії (200)  $\text{FeB}$  і (211)  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Тому появу, або зникнення фази  $\alpha\text{-Fe}$  контролювали по лінії (200). У цілому характер поведінки фазових складових залишається однаковим для зразків, борованих протягом 2 і 4 години, різниця полягає лише в тому, що глибина борованого шару  $\text{Fe}_2\text{B}$  має більшу протяжність у глибину зразка і, відповідно, при знятті матеріалу зразка більш пізніше з'являються лінії  $\alpha\text{-Fe}$ .

Проведені дослідження підтвердили можливість отримання монофазного боридного покриття при густині струму, що не перевищує "критичного" для даного складу розплаву, яке при гартуванні не утворює на поверхні зразку тріщин і відколів.

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри фізичного матеріалознавства Власенко М.М.

# ИССЛЕДОВАНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА ЛАТУНЬ-СТАЛЬ ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ЗАЛИВКИ

Григоренко Е.С (ИМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Высокая экономичность и долговечность создаваемых машин может быть достигнута благодаря применению биметаллов. Биметаллы экономят дорогостоящие цветные металлы и легированные стали. В одном монолитном биметаллическом изделии сочетаются весьма важные различные свойства, например высокая механическая прочность и коррозионная стойкость, высокая прочность и антифрикционные свойства и др. Таким образом, создаваемые биметаллические материалы обладают комплексом различных свойств, сочетание которых невозможно получить в каком-нибудь другом сплаве.

Номенклатура деталей, которые могут выполняться из биметаллических композиций, достаточно широка. Можно, в частности, выделить группу деталей типа тел вращения с внутренней рабочей поверхностью.

Одним из наиболее прогрессивных технологических процессов для получения биметаллических деталей, имеющих форму тел вращения, является центробежный способ с электродуговым нагревом (рис. 1). Сущность данного способа заключается в следующем: внутрь стальной заготовки загружают шихту (смесь частиц металла с флюсом), заготовку с торцов закрывают фланцами с графитовыми или асбестовыми вставками. Заготовка устанавливается на станке и приводится во вращение. Через центральные торцевые отверстия внутрь заготовки вводят графитовые электроды, между которыми возбуждается электрическая дуга, используемая в качестве источника тепла для плавления шихты и нагрева заготовки. Расплавленный металл шихты под действием центробежных сил равномерно распределяется по внутренней поверхности стальной заготовки. Затем подача электроэнергии на электроды прекращается до полного затвердевания залитого слоя. Слой плакирующего металла при этом получается плотным, без пор, раковин и других дефектов. Данный метод также имеет ряд других преимуществ: на чугунную или стальную основу можно заливать более тугоплавкие сплавы, так как нагрев происходит независимой электрической дугой изнутри и температурный перепад идет от внутренней поверхности заливаемой гильзы к наружной. Плавление шихты (сплава) происходит непосредственно на заливаемой поверхности. Одновременно плавлением шихты сопровождается подогрев заливаемой заготовки. В условиях горения электрической дуги между графитовыми электродами в замкнутом пространстве с весьма ограниченным доступом воздуха в зоне биметаллизации образуется восстановительная атмосфера. Одновременно с плавлением возможно удаление окисных пленок с помощью добавляемых в шихту оксидорастворяющих флюсов.

---

\* Руководитель – д.т.н. проф. Горбатенко В.П.

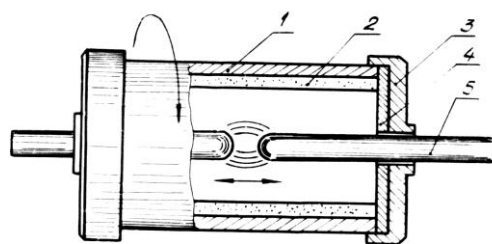


Рисунок 1. – Схема зашихтованной заготовки, подготовленной к заливке  
1 – заготовка; 2 – шихта; 3 – центрирующий фланец; 4 – графитовая уплотнительная вставка-экран; 5 – графитовые электроды

Материалом для исследования служит биметаллическая втулка. Состав материала приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав материала.

Латунь				Сталь						
Cu	Zn	Cd	Fe	Fe	Si	Al	Mn	Cu	Cr	C
66,2	28,7	4,5	0,5	92,2	3,0	2,2	1,8	0,6	0,1	0,1

Добавка в латунь кадмия улучшает прочностные свойства, таким образом повышается износостойкость изделия.

Одним из основных требований, предъявляемым к биметаллам, является прочная связь металлов или сплавов, составляющих биметалл.

При помощи измерения микротвердости удалось установить, что твердость как стальной так и латунной части образца возрастает в направлении свободной поверхности, а минимальная твердость наблюдается вблизи границы. Так, у границы раздела слоев твердость латуни составляла 1160 - 1200 Н/мм<sup>2</sup>, в середине слоя 1230 - 1270 Н/мм<sup>2</sup>, у свободной поверхности 1410 - 1450 Н/мм<sup>2</sup>. Это может быть связано с вытеснением цинка в направлении свободной поверхности, с увеличением концентрации цинка повышается прочность. Такая же картина наблюдается и в стальной части образца. Приграничный слой стали имеет твердость 1480 - 1550 Н/мм<sup>2</sup>, в середине слоя 2160 - 2240 Н/мм<sup>2</sup>, у свободной поверхности 2530 - 2610 Н/мм<sup>2</sup>. Разупрочнение в стальной части образца может быть обусловлено нагревом в процессе заливки латунного слоя.

Технологический процесс получения биметаллов методом центробежной заливки обеспечивает весьма прочную связь стальной основы с латунью.

Плавление шихты производится непосредственно на заливаемой стальной поверхности, которая в ходе процесса разогревается до аустенитного состояния. При этом создаются хорошие условия для диффузии элементов расплава в разогретую стальную основу.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА НОВЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГИДРАВЛИКИ ШАХТНОЙ КРЕПИ

Желтобрюх Л.О. (МТ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В условиях экономического кризиса главной проблемой на машиностроительных заводах является сохранение и восстановление вышедших из строя деталей. Восстановление вышедших из строя при первичной эксплуатации деталей гидравлики требует минимальных капиталовложений и не требует сложного технологического оборудования, однако технология восстановительной обработки требует совершенствования. Восстановление перспективно в тех случаях, когда в результате эксплуатации детали слабо изнашиваются, но их необходимо снимать с производства из-за несоответствия размеров. В связи с этим целью данной работы является усовершенствование процесса восстановления рабочих размеров трущихся деталей гидравлики шахтной крепи.

Для этого использовали детали гидравлики шахтной крепи из стали 30ХГСА: плунжер, шток, цилиндр, подвергающиеся при эксплуатации трению и износу по рабочей поверхности. Износ, в среднем, составлял 0,22 - 0,7 % от номинального размера детали. Для исследования взяли образцы, вырезанные из детали цилиндра, в виде кубиков с номинальным размером ребра 10 мм с исходной феррито – перлитной микроструктурой. Рабочие размеры образцов измеряли в трех направлениях (а×b×с); полученные данные приведены в таблице 1. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н и она составила в исходном состоянии 1500 Н/мм<sup>2</sup>. Затем проводили закалку в печи СНОЛ – 1,6.2,5.1/11 от температуры нагрева 880 ± 10 °С с охлаждением в масле. Полученная твердость составила 57 ± 2°С НРС. Микроструктуру определяли с помощью металлографического микроскопа NU – 2 при увеличении 350 - она представляет собой мартенсит закалки. Далее проводили отпуск при температуре 540 ± 10 °С с охлаждением в воде. Микроструктура состояла из сорбита отпуска при твердость 33 ± 2°С НРС. Перед проведением азотирования поверхность образцов шлифовали, полировали и обезжировали ацетоном. Шероховатость измеряли на профилометре 296: она составила Ra= 0,09...0,11 мкм при отсечке шага 0,8 мм и длине трассы 3 мм.

Смесь для обмазки состояла из жидкого стекла ( 5 %); мочевины ( 93 – 92 %) (величина частиц 1...5 мкм); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2– 3 %); разделение мочевины на фракции осуществляли с помощью набора сит. При азотировании на предварительно подготовленную поверхность образцов наносили обмазку слоем 2 – 3 мм, окисляли поверхность с одновременным просушиванием при температуре 140 °С в течение 30 - 40 минут, в герметично закрытом тигле. Далее нагревали до 540 ± 10 °С в печи и выдерживали 5 часов, с охлаждением в воде. Все образцы зачищали со всех сторон наждачной бумагой.

\*Руководитель – д.т.н., профессор Алимов В.И.

Размеры, полученные после закалки, отпуска и азотирования, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение размеров в зависимости от вида обработки, мм

Номер образца	Изменяемые параметры	Исходные размеры образцов, мм	Размеры после обработки, мм			Прирост размеров, мм / %
			Закалка	Отпуск	Азотирование	
1	a	10,114	10,12	0,11	10,32	0,206/1,996
	b	10,165	10,17	10,161	10,39	0,225/2,17
	c	10,147	10,15	0,144	10,41	0,263/2,59
2	a	10,334	10,35	0,331	10,58	0,246/2,38
	b	10,164	10,168	0,161	10,33	0,166/1,63
	c	10,185	10,19	0,18	10,36	0,175/1,72

Из таблицы 1 видно, что после азотирования происходит прирост размеров, что может быть связано с увеличением удельного объема фаз в поверхностном слое и составляет в пределах 0,166 – 0,263 мм от исходного размера. Для выявления состава азотированного слоя проводили изучение микроструктуры, используя различные виды травителей. Первый из травителей состоял из серной кислоты и этилового спирта (А); второй - пикриновой кислоты и этилового спирта (Б). Исследование микроструктуры и глубины азотированного слоя осуществляли на металлографическом микроскопе NU-2 и МИМ-7. Микроструктура, выявленная первым травителем, приведена на рис. 1 а, вторым – на рис. 1 б. Полученная глубина азотированного слоя составила в среднем 0,03 – 0,06 мм.

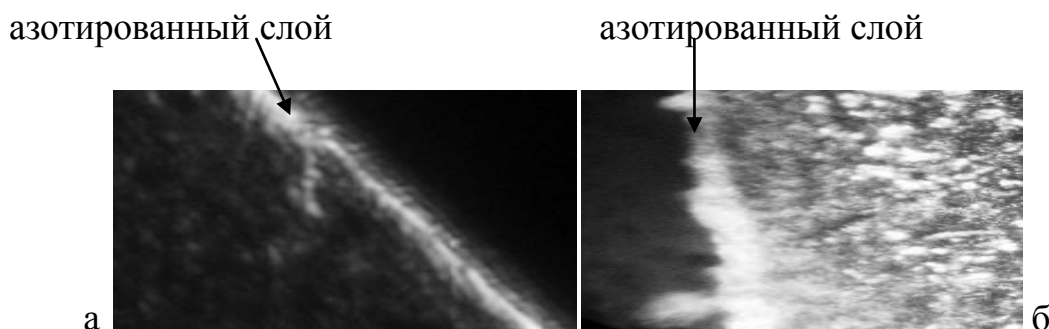


Рисунок 1 а - Микроструктура азотированного слоя на образцах из стали 30ХГСА, выявленная травителем А,  $\times 450$ ; б - Микроструктура азотированного слоя на образцах из стали 30ХГСА, выявленная травителем Б,  $\times 450$

Азотирование в обмазках может найти применение не только для деталей гидравлики, но и для восстановления рабочих размеров точного металлорежущего инструмента; восстановление размеров происходит, вероятно из – за образования фаз с большим удельным объемом.

## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АРМАТУРЫ ИЗ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ПОДКИСЛЕННЫХ СРЕДАХ

Крейда О.В. (ТО-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время вопрос коррозионной стойкости арматуры из непрерывно-литой заготовки является одним из наиболее важных в современной металлургии, т.к. коррозионные повреждения часто являются причиной уменьшения прочности стержней, порче внешнего вида, преждевременного выхода из строя железобетонных конструкций, аварий.

К сожалению, часто металлурги не располагают специальными помещениями, оборудованными защитными антикоррозионными средствами: электрохимической защитой складских помещений цехов, изоляцией внутренней атмосферы от проникновения в нее газов, пыли, влаги, химических веществ – активаторов коррозии, которыми богата окружающая среда.

Ввиду распространения явления коррозии арматуры для железобетонных конструкций ведется разработка эффективных противокоррозионных мероприятий во многих отраслях науки и техники.

Анализ литературных данных показывает, что переход на производство арматуры из непрерывно-литой заготовки не оказал отрицательного влияния на уровень механических свойств и позволил получить удовлетворительные результаты при испытаниях на изгиб. Однако, по данным заводов, коррозионная стойкость при этом снижается.

На коррозионную стойкость арматуры может влиять химический состав охлаждающей воды при термоупрочнении. Целью данной работы является оценка склонности к общей коррозии арматуры производства Енакиевского металлургического завода в подкисленных водных растворах.

На Енакиевском металлургическом заводе используют ускоренное охлаждение при производстве арматуры из непрерывно-литой заготовки. Такая арматура имеет хорошую свариваемость, высокие механические свойства ( $\sigma_b=600$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_T=500$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta=14\%$ ), но низкую общую коррозионную стойкость, проявляющуюся во ржавлении в домонтажный период.

Для экспериментов отбирали образцы профиля арматуры №10 и №12 производства Енакиевского металлургического завода из непрерывно-литой заготовки. Приготавливали 1, 5 и 10 %-ые водные растворы H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, имитирующие кислые растворы с рН 1-3, измеряли исходную массу образцов. Образцы были помещены в подкисленные растворы и накрыты газоизмерительной бюреткой. Показания выделившегося водорода отмечали каждые 3 мин в течение 1 часа.

---

\* Руководитель – д. т. н., профессор Алимов В.И.

После проведения экспериментов снова измеряли массу образцов.

Испытания проводились как на боковой та и на торцевой части образца, для чего использовалось экранирование. Это было необходимо для того, чтобы изучить коррозию сердцевин арматуры, т.к. часто в стержне происходит процесс коррозионного растрескивания.

По полученным данным рассчитывали показатели коррозии; их анализ показал, что значение отрицательного показателя изменения массы  $K_m^{(-)}$  и объемного показателя  $K_{об}^{(э)}$  увеличивается с повышением концентрации подкисленного раствора. Также были найдены аналитические зависимости выделившегося объема водорода при испытаниях. Для расчета зависимостей использовали программу TCWIN.

Построение графиков аналитических зависимостей показало, что они не являются линейными, а объем водорода, выделившегося за время проведения испытаний на электрохимическую коррозию образцов, имеет степенную зависимость, а именно степенную зависимость 2-го и 3-го порядка. При этом максимальное коррозионное разрушение наступает в торцевой поверхности, причем с повышением концентрации подкисленного раствора интенсивность коррозионных процессов увеличивается, например:

5%	Бок. пов-ть	$-0,0060,062 * \tau - 0,013 * \tau^{1,5} + 0,001 * \tau^2 - 0,046 * \tau^{0,5}$
	Торц. пов-ть	$-0,061 + 0,188 * \tau - 0,081 * \tau^{1,5} + 0,014 * \tau^2 - 0,001 * \tau^2$
10%	Бок. пов-ть	$-0,008 + 0,329 * \tau - 0,124 * \tau^{1,5} + 0,017 * \tau^2 - 0,001 * \tau^{0,5}$
	Торц. пов-ть	$0,023 + 0,068 * \tau - 0,001 * \tau^2 + 7,89 * \tau^3 + 0,045 * \tau^{0,5}$

Это показывает, что коррозионный процесс не тормозится во времени и приводит к дальнейшему разрушению и порче внешнего вида арматуры, что значительно снижает ее стоимость.

#### Выводы :

1. Упрочненная путем закалки с самоотпуском поверхность арматуры подвергается коррозии в меньшей мере, чем торцевая часть образцов; в сердцевине арматуры образуется феррито-перлитная структура, формирующаяся в результате диффузионного распада.

2. С понижением рН среды процесс коррозии арматурного профиля из непрерывно-литой заготовки интенсифицируется.



# РАЗРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРЕСМОТРА СТАНДАРТА ПО МЕТОДУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ

Красников Ю.Д. (51-ТСм)\*

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

Для оценки микротвердости используется ГОСТ 9450-76, который в полной мере не может удовлетворять требованиям по достоверному определению этой характеристики. Связано это с созданием новых современных материалов с дисперсной структурой.

В зависимости от условий кристаллизации, места отбора проб изменяется размер зерен и уровень однородности состава, совершенства строения. Это может вносить определенные погрешности в оценку показаний микротвердости.

Карбидная фаза исследуемого материала (хромоникелевый чугун) имеет микротвердость в пределах Н-50-830-1570. Для установления влияния степени деформации, близко расположенных отпечатков провели специальный эксперимент (рис.1). По центру зерна нанесли отпечаток при большой нагрузке 1,962Н, а затем вокруг него измерения произвели под нагрузкой 0,49 Н. Это позволило проанализировать влияние степени деформации на показания уровня микротвердости, оценить влияние пористости зерен.

Выполнено исследование влияния расстояния между центрами отпечатков на уровень фиксируемой микротвердости. Установлено, что зоны вблизи отпечатков на цементите состоят из области

пониженной микротвердости вследствие уменьшения напряжений после снятия нагрузки Н-50-1419-1452. Протяженность такой зоны составила 1,93 мкм, однако её размер может достигать – до 2,7 мкм. Вслед за зоной разупрочнения следует зона недеформированной фазы с микротвердостью Н-50-1484-1569. Установлено, что при индентировании нагрузками более 1,962 Н под отпечатками выявлено появление трещин и сколов. Основной особенностью индентирования карбидной фазы является необходимость подбора такой нагрузки, которая бы в меньшей степени способствовала появлению дефектов. С этой точки зрения отпечаток наиболее рационально производить при использовании нагрузки 0,49 Н. Измерения необходимо производить на расстоянии

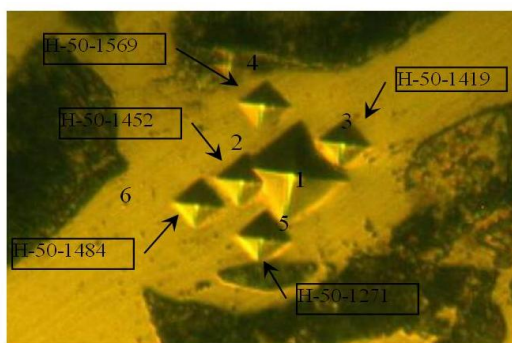


Рисунок 1 - Оценка влияния расстояния между отпечатками на уровень микротвердости. Порядок проведения измерений указан цифрами, где нагрузка соответствует: 1 - 1,962 Н, 2-6 - 0,49 Н

на цементите состоят из области пониженной микротвердости вследствие уменьшения напряжений после снятия нагрузки Н-50-1419-1452. Протяженность такой зоны составила 1,93 мкм, однако её размер может достигать – до 2,7 мкм. Вслед за зоной разупрочнения следует зона недеформированной фазы с микротвердостью Н-50-1484-1569. Установлено, что при индентировании нагрузками более 1,962 Н под отпечатками выявлено появление трещин и сколов. Основной особенностью индентирования карбидной фазы является необходимость подбора такой нагрузки, которая бы в меньшей степени способствовала появлению дефектов. С этой точки зрения отпечаток наиболее рационально производить при использовании нагрузки 0,49 Н. Измерения необходимо производить на расстоянии

\* Руководитель - д.т.н., профессор кафедры ТСРП Скобло Т.С.

полутора диагоналей от боковой грани и угла отпечатка.

Из приведенных данных видно, что на показания микротвердости оказывает влияние наличие дефектов (пора от предыдущего замера микротвердости, сформированная при большой нагрузке), а также неоднородность распределения компонентов (оценено методом микрорентгеноспектрального анализа). При этом максимальные изменения микротвердости достигают 4,4%, что необходимо учитывать при проведении оценки её уровня.

Таблица-Влияние расстояния от края отпечатка 1,962 Н на показатели микротвердости при 0,49 Н

Расстояние от края отпечатка, мкм	Зона	H-50	Изменение, %
0,96	Разгрузка из-за пластической деформации	1419	- 4,3%
1,93		1452	- 2,16%
3,47	Зона упрочнения	1271	-14,4% (влияние края карбидной фазы)
5,8		1569	+ 5,72%
9,6	Основной металл	1484	-

Исследованиями также установлено, что существенные изменения микротвердости карбидной фазы зависят от пластической деформации металла и способа его термической обработки.

Для определения оптимального уровня нагрузки при измерениях микротвердости цементита выполнили специальные исследования. Оценивали уровень микротвердости и стандартное отклонение, изменяя нагрузки в интервале 0,049 Н - 1,962 Н (рис.2).

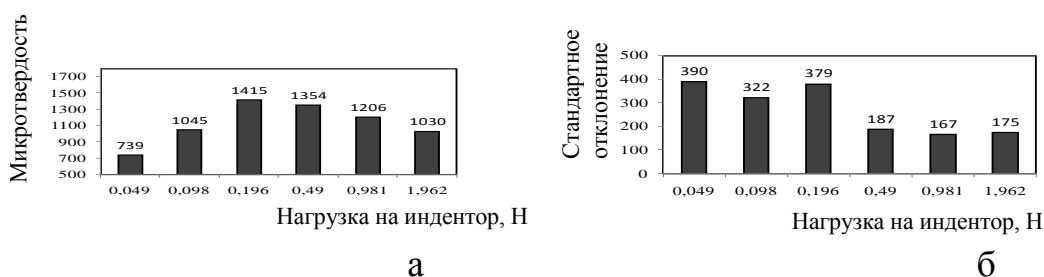


Рисунок 2. Средняя микротвердость (а) и стандартное отклонение (б) в цементите (хромоникелевый чугун) при различной нагрузке.

Таким образом, при измерении микротвердости цементита нагрузки 0,49 Н является достаточной для получения достоверных данных о свойствах такой фазы.

Аналогичные исследования проведены на других структурных составляющих - феррите и аустените, что должно быть учтено при пересмотре стандарта.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦИНКОВОГО ПОРОШКА

Поляк Н.Б. (ИМ-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

Термодиффузионное цинкование становится все более распространенным методом защиты от коррозии. Это объясняется низкими капитальными затратами, отсутствием вредного воздействия на окружающую среду и высокими свойствами покрытия. Основным исходным материалом для осуществления цинкования является цинковый порошок. В литературе встречается очень мало информации, касающейся влияния характеристик порошка на свойства покрытия. Это относится и к фракционному составу. Как правило, сообщаются лишь некоторые граничные размеры порошка, например, 4-160 мкм.

В данной работе исследовали гранулометрический состав цинкового порошка различных марок и производителей. Порошки просеивали в соответствии с требованиями ГОСТ 12601-76. Для анализа использовали наборы металлических сит отвечающих требованиям ГОСТ 6613-86.

По результатам гранулометрического анализа (табл.), можно сделать вывод, что только цинковые порошки производства ООО «Арсенал», (г. Константиновка) соответствуют требованиям ГОСТ 12601-76 по гранулометрическому составу.

Таблица – Гранулометрический состав цинковых порошков

Марка порошка	Доля фракции, %							
	0,83	0,63	0,4	0,25	0,16	0,125	+0,063	-0,063
ПЦ7 (Укрцинк)	-	0,6	2,3	7,5	11,5	8,3	65,5	4,3
ПЦ6 (Днепропетровский трубный)	0,1	0,3	3,3	28	31,5	13,2	22,3	1,3
ПЦ1 «Арсенал»	-	-	0,2	0,09	1,1	0,5	56	42
ПЦ4 «Арсенал»	-	-	0,6	0,1	1,8	19,5	75	3
ПЦ1 Индийский	-	-	8,7	8	65,2	6,9	7	4,2

Сравнительно крупный порошок производства ОАО «Днепропетровский трубный завод», полученный методом распыления содержит большое количество мелкой фракции. Цинковый порошок импортированный из Индии, считавшийся наиболее качественным, также содержит более 60% крупной фракции, что не позволяет его отнести к марке ПЦ1.

\* Рук., доц. каф. ФМ Крымов В.Н.

# О НЕСТАНДАРТНОМ ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Вислогузова Е.А. (зр. МТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Изучали влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на структуру и свойства стали 150X15H5. Стали подобного типа используют в настоящее время для изготовления прокатных валков предчистовых клетей в высокоскоростных станах. Исследования проводили на литых образцах после нагрева до температур 950, 1000, 1100°C и охлаждения в масле, на воздухе и с печью.

Исходные образцы имели аустенитно-карбидную структуру, которая существенно изменялась после термической обработки. При исследованиях измеряли твердость и оценивали количество остаточного аустенита методом рентгеноструктурного анализа. Полученные результаты представлены на рисунке.

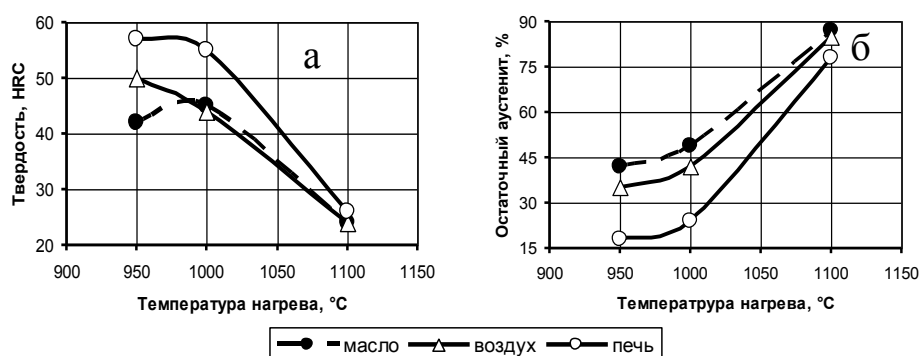


Рисунок - Влияние температуры нагрева и скорости охлаждения на твердость (а) и количество остаточного аустенита (б) литой стали 150X15H5

Влияние температуры закалки на структуру и твердость оказалось вполне традиционным, т.е. с повышением температуры закалки количество остаточного аустенита увеличивается, а твердость, соответственно, уменьшается, а вот скорость охлаждения влияет несколько нетрадиционно. С понижением скорости охлаждения твердость возрастает, а количество остаточного аустенита уменьшается.

Изменения структуры и свойств в принципе коррелируют и могут быть объяснены процессами выделения при охлаждении карбидной фазы, обеднения аустенита легирующими элементами и снижением его устойчивости.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры физическое материаловедение Марчук С.И.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕДИ

Мельниченко Н.В. (зр. ТО-07)\*

Донецкий национальный технический университет

С развитием техники изменяются требования к свойствам материалов. Часто от изделия требуются высокая твердость и прочность поверхности в сочетании с высокой пластичностью и вязкостью сердцевины. Для достижения такого сочетания свойств применяют различные способы поверхностного упрочнения, в том числе и нанесение покрытия.

Целью исследований было изучение микроструктуры и свойств образцов из Cu с электрохимическим покрытием Cr разной толщины.

Установлено, что для образцов с хромовым покрытием весьма характерным является переменная толщина покрытия. Обращает на себя внимание качество самого покрытия: наличие большого количества трещин и внутренних пор. Такая пористость может быть причиной повышенного износа покрытия в процессе эксплуатации.

Оценку прочности наносимых покрытий выполняли на приборе ПМТ-3 посредством измерения микротвердости основного металла (Cu) и покрытия (Cr) при нагрузках 50 г и 100 г соответственно. Результаты измерения микротвердости основного металла и покрытия обработаны с помощью программы MS Statistica. Результаты обработки представлены в таблице.

Таблица - Микротвердость покрытий, нанесенных на медные образцы

Образец	Толщина покрытия h, мкм	Микротвердость $H \pm \delta$ , Н/мм <sup>2</sup> ,	Дисперсия, S <sup>2</sup>	СКО, $\sigma$	cov
Cu 1	94 ± 6	308,1223 ± 9,0188	1643,79	40,5437	13,16
Cr 1		717,9565 ± 56,5869	17123,59	130,8571	18,22
Cu 2	105 ± 1	386,5591 ± 11,9761	2349,19	48,4684	12,54
Cr 2		857,0000 ± 52,3714	16812,08	129,6614	15,13
Cu 3	180 ± 5	405,5136 ± 18,4088	2648,95	51,4679	12,69
Cr 3		823,5333 ± 43,6049	13636,60	116,7759	14,18

Из анализа таблицы видно, что с увеличением толщины покрытия микротвердость Cu возрастает с 308,1223 ± 9,0188 Н/мм<sup>2</sup> до 405,5136 ± 18,4088 Н/мм<sup>2</sup> при этом также увеличивается доверительный интервал, а микротвердость Cr имеет максимальное значение 857 ± 52,3714 Н/мм<sup>2</sup> при толщине покрытия 105 ± 1 мкм, но доверительный интервал снижается. По полученным результатам измерения микротвердости для Cu и Cr была подобрана аппроксимирующая зависимость вида  $H = a + b/h \pm \varepsilon$ . Значения коэффициентов уравнения следующие:

	a	b	$\varepsilon$
для Cu	512,344	-16586,801	62,025
для Cr	939,956	-16913,434	182,552

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

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРОВОЛОКИ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Максакова А.А. (МТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Плазменная обработка является одной из наиболее перспективных технологий, которая позволит разработать более гибкие технологические процессы для получения различных свойств проволоки, а также уменьшить энергозатраты и объемы используемого оборудования в технологическом процессе производства протяженных изделий.

Целью работы являлось установление изменений в металле проволоки при увеличении времени воздействия на ее поверхность плазменного потока.

Сварочную проволоку из низкоуглеродистой стали Св08А диам. 4,0 мм протягивали через плазмотрон установки НПО «Доникс» (патент РФ № 91246, авторы: А.И.Максаков, В.И.Алимов, Л.Т.Холявченко, А.А.Максакова и др.). Скорость движения проволоки, обрабатываемой плазмой, снижали от 2 м/с до полной остановки. Полученный отрезок разрезали на куски по 250 мм. Изучали размер зерна, микротвердость на поверхности и в сердцевине, предел прочности, относительное удлинения и сужение.

По мере увеличения длительности плазменного воздействия на поверхность проволоки предел прочности снижается примерно в 2 раза (с 587 до 318 Н/мм<sup>2</sup>). Пластические характеристики повышаются: удлинение – с 9 до 24%, а сужение – с 47 до 68%. Микротвердость поверхности изменяется от 1530±23 до 1376±18 Н/мм<sup>2</sup>, а сердцевины – от 1480±17 до 1334±37 Н/мм<sup>2</sup>. Поперечник зерна феррита по мере увеличения длительности плазменного воздействия уменьшается с 17±1 мкм до 11±0,8 мкм. Содержание перлита сохраняется на уровне 7-9%, что свидетельствует о возможном небольшом перегреве относительно А<sub>С1</sub>.

При кратковременности воздействия плазменного источника проволока прогревается на незначительную глубину с поверхности, так что микроструктура и агрегатные свойства, приобретенные предшествующим волочением, сохраняются. По мере снижения скорости движения проволоки проволока прогревается по сечению, так что температура ее сначала превышает температуру рекристаллизации, а затем и перекристаллизации. И рекристаллизация, и перекристаллизация сопровождаются образованием новых зерен, поэтому и было получено более мелкое зерно, чем в исходной проволоке. Снижение прочностных и повышение пластических свойств связано с изменением плотности дислокаций и увеличением их подвижности.

Результаты показывают возможность разработки скоростных смягчающих режимов плазменной обработки проволоки, связанных с особенностями ре- и перекристаллизации при скоростных нагревах.

---

• Руководитель – д.т.н., профессор Алимов В.И.

## КАРБОНИТРАЦИЯ СТАЛИ 25Х2МФ

Морозова О. (ПМ-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

Карбонитрация, т.е., совместное насыщение поверхностного слоя азотом и углеродом, обладает некоторыми преимуществами по сравнению с азотированием, в частности, более высокими свойствами упрочненного слоя. Как и многие процессы химико-термической обработки карбонитрацию можно осуществлять в различных средах. Наиболее просто реализовать насыщение из твердой порошковой смеси. При этом для обработки может использоваться обычное термическое оборудование.

Целью данной работы являлось изучение структуры и твердости карбонитрированного слоя на стали 25Х2МФ. Обработку выполняли в смеси состоящей из карбюризатора и 10-50 % желтой кровяной соли. Температуру изменяли в диапазоне 500-600 °С. С ростом длительности обработки глубина слоя возрастает неравномерно (рис. 1). Резкое увеличение глубины слоя наблюдается после 20 часов выдержки.



Рисунок 1 – Влияние длительности обработки и содержания желтой кровяной соли на глубину слоя

Увеличение концентрации желтой кровяной соли в смеси до 30% приводит к некоторому снижению толщины слоя. По-видимому, это объясняется образованием карбонитридного слоя на поверхности, препятствующего диффузии.

\* Руководитель, доц.каф. ФМ Крымов В.Н.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОПЛАМЕННОГО НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ

Мосисса Д.Б., Сидько В.А. (М-11)\*

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Современные технологии ремонта предполагают напыление поверхности детали для ее восстановления. Исследовали структуру и микротвердость покрытия, нанесенного газопламенным способом на поверхность образца стали 40. Покрытие наносили в смеси газов ацетилена и кислорода, температура пламени составляла 3200 °С, температура частиц 1040-1080 °С. Состав покрытия, % мас.: 14,0-20,0 Cr; 2,8-4,2 В, 4,0-4,5 Si, 3,0-7,0 Fe, 0,6-1,0 С, ост. Ni.

Структуру покрытия исследовали при увеличениях  $\times 100$ ,  $\times 350$ ,  $\times 500$ . В слое покрытия наблюдаются светлые зерна с разницей размера в пределах 1 балла, темные зерна, светлые и темные оплавившиеся частицы, расположенные попеременно и не успевшие приобрести структуру зерен до затвердевания. Кроме того, наблюдается значительное (порядка 20 %) количество темных включений, имеющих четкую внешнюю границу, но нерезкое изображение в плоскости шлифа. Измерение микротвердости отдельных структурных составляющих при нагрузке 50 г дает слишком большие отпечатки, что снижает достоверность измерений; при нагрузке 20 г разница между отдельными составляющими порядка 3-5 единиц. Однако классифицировать структурные составляющие по микротвердости не удалось ввиду их малых размеров.

Анализ двойных диаграмм состояния никеля с другими элементами, входящими в состав покрытия, позволяет предполагать, что светлые зерна представляют собой сложные твердые растворы на основе никеля, скорее всего с решеткой гранцентрированного куба. Темные зерна с гладкой окраской и четкими границами могут представлять собой смеси типа  $\alpha + C$ , а нечетко оформленные темные составляющие - включения графита или поры. Не исключено наличие включений  $Ni_3Si$ ,  $Ni_2B$  и др., но металлографически они не выявлены. Для более точного определения необходимо проведение дополнительных экспериментов и хотя бы упрощенный анализ термодинамических процессов.

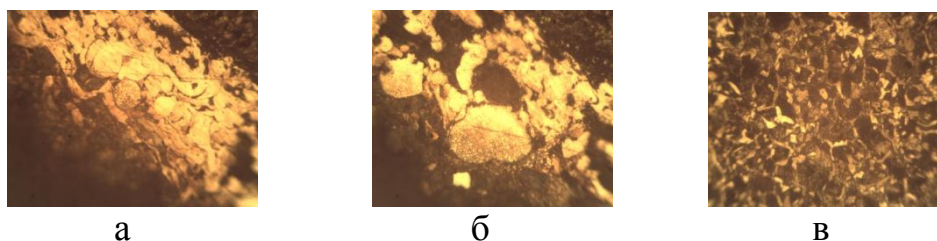


Рисунок - Структура покрытия (а, б) и сердцевины образца (в),  $\times 350$ .

\*Руководители – к.т.н., доцент кафедры ТМиМ Костина Л.Л., к.т.н., доцент кафедры ТМиРМ Лузан С.А.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕДИ МАРКИ М06 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ РКУП И УГП

Перькова К.И. (МТ-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В последние годы большое внимание уделяется изучению структуры и свойств материалов полученных методами интенсивной пластической деформации (ИПД). Методы равноканального углового прессования (РКУП) и углового гидропрессования (УГП) являются перспективными для получения объемных заготовок. Угловое гидропрессование отличается от равноканального углового прессования тем, что вместо пуансона образец продавливается жидкостью под высоким давлением.

Целью работы является изучение термической стабильности заготовок из меди марки М06 полученных методами РКУП и УГП.

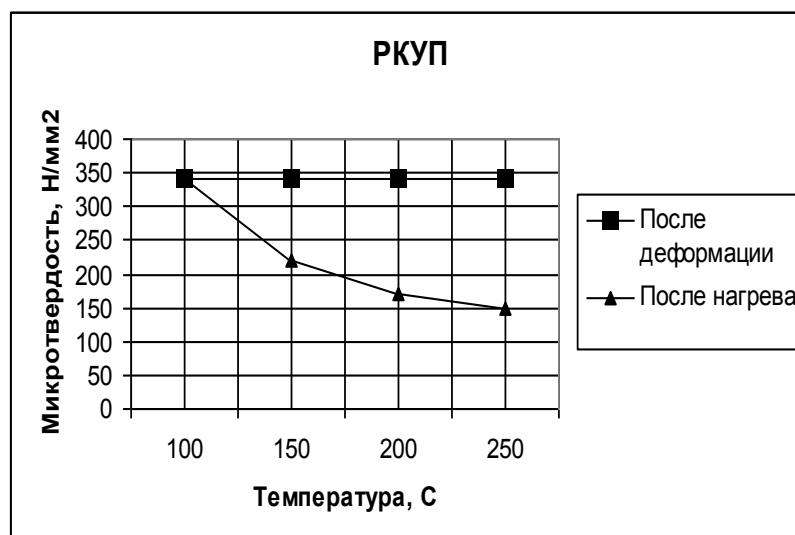
Для исследований использовались заготовки полученные методом УГП диаметром 19мм и методом РКУП диаметром 22мм. В ходе работы были подготовлены шлифы на которых провели измерение размера зерен при помощи компьютерной программы AxioVision 4.6 и микротвердости на микротвердомере ПМТ-3. Установили, что в заготовках имеются в основном зерна двух размеров – 18-20мкм (исходный размер зерен) и 8-10мкм. Однако в заготовке полученном методом РКУП также имеется большое количество зерен размером 4-6мкм, это объясняет более высокое значение микротвердости в ней. Среднее значение микротвердости в заготовке после РКУП – 340 Н/мм<sup>2</sup>, после УГП – 310 Н/мм<sup>2</sup>.

Для определения термической стабильности вырезались образцы из центральной части заготовок. Проводили нагрев образцов в течении одного часа при температурах 100С, 150С, 200С и 250С. После нагрева изготавливались шлифы и измерялась микротвердость, по полученным данным построили графики представленные на рисунке.

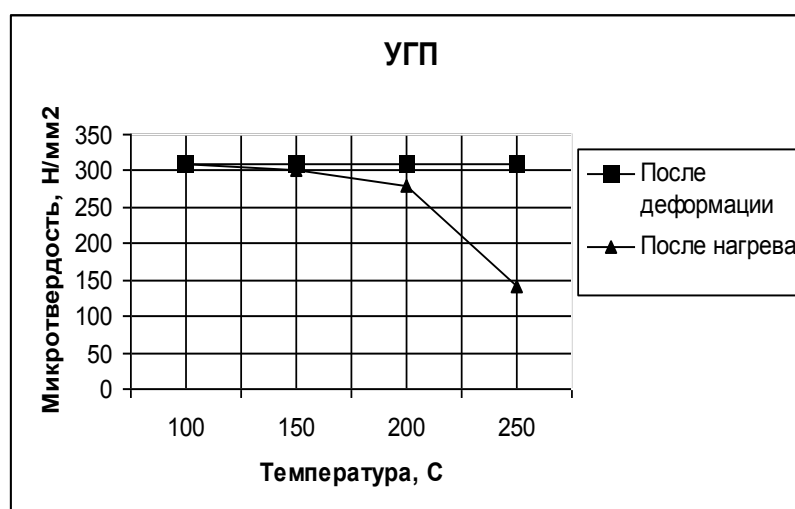
Из рисунка видно, что разупрочнение образцов начинается при различной температуре. В образце полученном методом УГП разупрочнение происходит в интервале температур 200-250С, а методом РКУП – 100-150С. Это может быть объяснено отличиями в дефектной структуре образцов. Из графиков также видно, что до момента разупрочнения в образце полученном методом УГП микротвердость снижается незначительно и равномерно. Для установления более точного значения температуры необходимы дополнительные исследования в названных интервалах с меньшим шагом.

---

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



а



б

Рисунок – Термическая стабильность образцов полученных методом:  
а – РКУП; б – УГП

На данном этапе исследований можно сделать вывод, что методы УГП и РКУП позволяют получать заготовки с близкими значениями размеров зерен. Однако заготовка после УГП имеет более равномерную по сечению структуру и благодаря этому свойства. Заготовка после РКУП имеет более высокое значение микротвердости –  $340\text{Н/мм}^2$ , но при её нагреве в интервале 100-150С оно снижается до  $220\text{Н/мм}^2$ , при этом заготовка после УГП сохраняет свои свойства до 200-250С. Приведенные данные делают метод углового гидропрессования более привлекательным для промышленного применения. Поэтому в дальнейшем планируется более подробное исследование метода УГП, влияния на структуру и свойства меди комбинации данного метода с другими методами ИПД.

# ВЛИЯНИЕ СФЕРОИДИЗИРУЮЩЕГО ОТЖИГА ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 40Х СЕЛЕКТ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТИЗОВ

Ганжа Е.С.(ТО-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время термическая обработка металла является наиболее перспективным и технологически легко реализуемым способом коренного улучшения потребительского качества металла

Известно, что стали для холодной высадки должны иметь в исходном состоянии структуру зернистого перлита определенного балла, т.е. перлита с глобулярной формой карбидной фазы определенного размера. Такая структура, по сравнению со структурой пластинчатого перлита обладает рядом достоинств. Для получения структуры с частичной или полностью сфероидизированной карбидной фазой, обладающей наилучшей технологичностью и экономичностью при последующих переделах, металлоизделия подвергают сфероидизирующему отжигу.

Целью данной работы является выбор оптимального режима для получения необходимой структуры и твердости. На образцах было проведено 5 различных видов сфероидизирующего отжига: сфероидизирующий отжиг с выдержкой при субкритических температурах, с нагревом выше  $A_{c1}$ , со ступенчатой выдержкой при субкритических температурах, а так же циклический режим сфероидизирующего отжига. На них была замерена твердость. Следующим шагом было проведение микроструктурного анализа.

Исследования режимов позволили установить, что режим №4 (сфероидизирующий отжиг со ступенчатой выдержкой при субкритических температурах), по результатам исследований, является самым приемлемым. Наблюдается сфероидизация цементита, укрупнение зерна, а так же наблюдается максимальное снижение твердости (70 HRB), из-за повышения времени и температуры выдержки.

---

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

# ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Колчина Ю.С. (ТО-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Качество металла в широком смысле – сложное и относительное понятие. К числу главных требований, предъявляемых к качеству стали, относятся химическая и физическая однородность, минимальное содержание вредных примесей и неметаллических включений, высокое качество поверхности и плотность структуры металла.

Что касается проката, уже установлено, что нередко после проведения контролируемой прокатки в отдельных участках листов формируется неоднородная структура, преимущественно с размером ферритного зерна в поперечнике 8-10 мкм, однако встречаются и более крупные зерна феррита с размером до 30 мкм. Кроме этого, по толщине листа часто наблюдается неоднородная кристаллографическая текстура и сильно выражена феррито-перлитная полосчатость. Неоднородность микроструктуры и кристаллографической текстуры в состоянии после контролируемой прокатки приводит к снижению ударной вязкости и сопротивления металла хрупкому разрушению.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей структурообразования листовой стали повышенной прочности ЕН36 при контролируемой прокатки и последующей термообработке.

Для исследований использовали сталь повышенной прочности ЕН36 (ГОСТ 5521), относящуюся к мелкозернистым феррито-перлитным (малоперлитным) сталям, химический состав которой следующий, %масс: 0,11С; 1,18Mn; 0,21Si;  $\leq 0,005$  S;  $\leq 0,014$ P;  $\leq 0,25$ V; 0,04Nb; 0,015Ti;  $\leq 0,08$ (Cr+Ni+Cu);  $\leq 0,05$ Mo;  $\leq 0,003$ N<sub>2</sub>;  $\leq 0,37$ C<sub>экв</sub>.

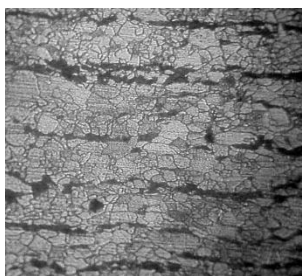


Рисунок 1-  
Микроструктура  
стали ЕН36 после  
контролируемой  
прокатки,  $\times 400$

Микроструктура стали ЕН36 (рис. 1) в состоянии после контролируемой прокатки представляет собой преимущественно феррито-перлитную смесь с выраженной полосчатостью перлита, но наблюдаются также вытянутые вдоль направления прокатки зерна феррита, в которых процессы рекристаллизации пройти не успели. Основной причиной формирования полосчатой структуры с большой протяженностью полос феррита и перлита следует считать распад нерекристаллизованного либо частично рекристаллизованного аустенита.

Известно, что чем выше суммарная степень деформации аустенита в области температур, в которой его рекристаллизация становится невозможной, либо существенно тормозится и, соответ-

\* Руководитель – д. т. н., профессор Алимов В.И.

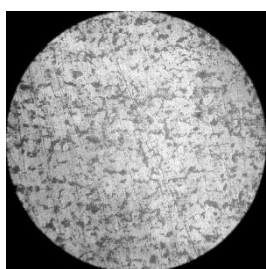
венно, чем выше степень вытянутости его зерен в направлении течения металла, тем более протяженными будут сплошные полосы перлита и феррита после завершения перлитного превращения.

Дополнительную термообработку образцов из стали ЕН36 проводили по режимам, приведенным в таблице 2.

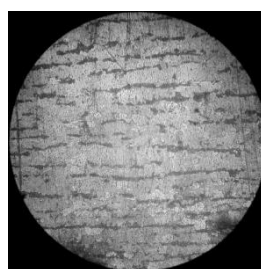
Таблица 2-Дополнительная термообработка образцов из стали ЕН36

Усл. № режима	Температура нагрева, °С	Длительность выдержки, мин	Среда охлаждения	Имитируемый режим
1	600	30	воздух	старение
2	750	20	воздух	нормализация

Микроструктуры после дополнительных нагревов приведены на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 –  
Микроструктуры  
стали ЕН36 после до-  
полнительной термооб-  
работки:

а)  $T_n=600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 30 мин;

б)  $T_n=750\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 20 мин;

Проведенные исследования показали, что выдержка при температуре 600 °С (рис.2,а) приводит к частичной рекристаллизации, сопровождающейся измельчением ферритной составляющей. При таком нагреве получается структура, в которой мелкие округлые частички перлита равномерно распределены в ферритной матрице, что в свою очередь обусловило повышение твёрдости. Нагрев и выдержка при температуре 750 °С (рис.2,б) существенно не изменили полосчатость структуры исследуемой стали, но привели к незначительному повышению твёрдости.

#### *Выводы:*

1. Основной причиной формирования полосчатой структуры с большой протяженностью полос феррита и перлита следует считать распад нерекристаллизованного либо частично рекристаллизованного аустенита.

2. Исследование структурообразования стали ЕН36 при дополнительных нагревах играет важную роль при последующих процессах сварки различных металлоконструкций из сталей данного типа; при эксплуатации продукции в различных атмосферах и при различных температурах, что позволяет в свою очередь в значительной мере повысить качество продукции и избежать неблагоприятного исхода.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА «ДМЗ»

Чуйкина С.А. (ТО-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Листовой прокат относится к наиболее экономичным видам прокатной металлопродукции массового производства и предназначен для изготовления деталей достаточно прочных металлоконструкций.

Целью данной работы является изучение структуры и свойств листовых сталей производства «ДМЗ», обеспечивающих различные уровни прочности.

Для придания листовому прокату необходимого комплекса механических и технологических свойств его подвергают различным видам термической и деформационно-термической обработки: листовые стали принято классифицировать по классам прочности в зависимости от структуры и свойств. На «ДМЗ» выпускают низкоуглеродистые листовые стали, имеющие феррито-перлитную структуру с небольшой долей перлита. Данные стали относят к наиболее массовым классам прочности; с повышением количества перлитной составляющей класс прочности стали возрастает.

Для проведения исследований отобрали образцы горячекатаных листовых сталей: Ст3сп, 09Г2С, 17Г1С производства «ДМЗ»; их механические свойства приведены в таблице 1. По макроструктуре установили сосредоточения серы в осевой зоне.

Таблица 1 – Механические свойства отобранных образцов изучаемых сталей.

Марка стали	Класс прочности	Диапаз. размер. обр. (толщина × ширина × длина), мм	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
Ст3сп	265	14 × 45 × 45	265	440	29
09Г2С	295	20 × 50 × 50	335	520	29,5
09Г2С	325	16 × 50 × 50	345	520	29
09Г2С	345	10 × 75 × 77	360	530	28
17Г1С	355	7 × 98 × 52	370	545	25

Размер зерна феррита и доли структурных составляющих по ГОСТ 5639-82 и ГОСТ 8233-56 изменяются в пределах номера 7÷9, соотношение перлита к ферриту, соответственно, от 15/85% до 25/75%. Повышение класса прочности листов, близких по химическому составу, связано с увеличением скорости охлаждения, приводящей к более мелкому зерну с № 9 и большей твердости феррита до 1800 Н/мм<sup>2</sup>, а также увеличению доли перлитной составляющей до 25%. Повышение класса прочности достигается также при микролегировании, в частности Ti и Mo, и уменьшением толщины листового проката.

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

# ВЛИЯНИЕ СПОСОБА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО СОРТОВОГО ПРОКАТА

Кучер И.А. (ПМ-10с) \*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время все большее развитие получают технологии производства металлопроката из непрерывнолитой заготовки. При этом появляется потребность расширения сортамента прокатной продукции, потребителем которой является машиностроение. Однако, небольшая степень проработки металла, наблюдающаяся в случае использования заготовок малого поперечного сечения (125x125мм – 150x150мм) требует обязательного определения максимального (критического) сечения проката, металлургическое качество которого будет соответствовать требованиям потребителя.

В работе проводили оценку качества сортового проката из стали 35ХГСА, выплавленной из лома различного исходного качества и отлитой на МНЛЗ с разной степенью защищённости металла от вторичного окисления.

Рассмотрены следующие схемы защиты металла от вторичного окисления:

- схема А – без защиты струи жидкого металла на участке “промковш-кристаллизатор”;
- схема Б – с защитой струи по всей технологической цепочке “сталь-ковш - кристаллизатор”.

Информация об исследованных образцах приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исследованных образцов

№ плавки	Марка стали	Профиль, мм	Способ выплавки и разливки
818375	35ХГСА	Ø 32	чистый лом + защита струи
817967	35ХГСА	Ø 52	грязный лом + защита струи
817968	35ХГСА	Ø 60	грязный лом + защита струи
817970	35ХГСА	Ø 60	грязный лом + без защиты струи

Изучение неметаллических включений было выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 1778-70 “Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений”. Анализ приведенных данных (см. таблицу 2) показывает, что защита металла от вторичного окисления благоприятно влияет на общую загрязненность стали по двум параметрам, а именно: по силикатам хрупким (СХ) и силикатам недеформирующимся (СН)

---

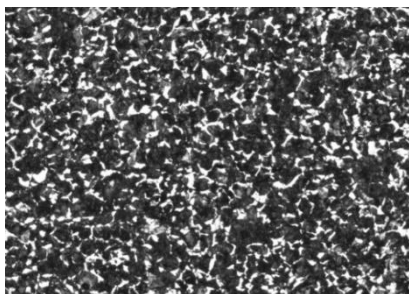
Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Смирнов Е.Н.,  
к.т.н., доцент кафедры ФМ Конарев В.Г.

Таблица 2 - Результаты исследования неметаллических включений\*

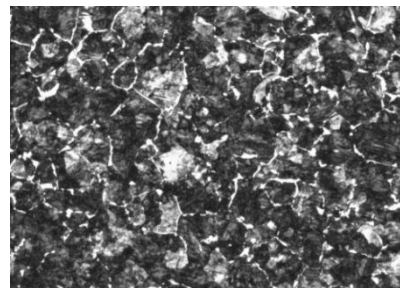
№ плавки	Профиль мм	Оценка неметаллических включений по видам, балл									
		ОС	ОТ	СХ	СП	СН	Макс.балл строч.включений (ОС,СХ,СП)	С	НС	НТ	НА
818375	Ø 32	2,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0
817967	Ø 52	2,0	2,0	1,0	0,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
817968	Ø 60	2,0	2,0	1,0	0,0	3,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
817970	Ø 60	1,0	2,0	3,0	0,0	4,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0

\* Исследования проведены на поперечных темплетах

Микроструктуру оценивали на поперечных образцах готового проката из стали 35ХГСА, полученной различными способами разливки (см. рисунок).



а)



б)

а) разливка закрытой струей б) разливка открытой струей

Рисунок – Микроструктура готового проката из стали 35ХГСА, x100

Микроструктура образцов, независимо от способа розливки, состоит из феррита и перлита. При этом феррит выделяется в виде сетки по границам перлитных участков, которая более четко проявляется в структуре стали, разлитой с защитой струи (см. рис.а).

С уменьшением степени деформации и понижением степени чистоты металла сетка феррита становится более несплошной, средний диаметр участков перлита увеличивается, причем изменяется их травимость (больше зон со светлым оттенком).

Наблюдаемые изменения в структуре являются нежелательными, поскольку в крупнозернистой стали порог хладноломкости выше, чем в мелкозернистой. При последующей переработке такого проката выявилась повышенная склонность металла к хрупкому разрушению.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают положительное влияние степени чистоты шихты и защищенности струи металла при разливке на структуру и свойства готового проката.



## ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ НАПЫЛЕННОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Артеменко Т.А. (МТ-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

Сущность метода электродуговой металлизации заключается в нагреве (до плавления) электрической дугой в распылителе сходящихся проволок. Расплавленный металл подхватывается струей сжатого воздуха, истекающего из центрального сопла электрометаллизатора, распыляется и в виде жидких капель переносится на поверхность напыляемой детали.

В работе исследовали особенности разрушения при деформации сжатием покрытий разной толщины. Такая деформация имеет место при изгибе или осадке напыленных изделий, например труб теплообменников. Осадку образцов производили на прессе с максимальным усилием 250 т. Фиксировали усилие, при котором происходит отслоение или разрушение покрытия. Изучали пористость и особенности структуры в зоне деформации.

Установили, что с увеличением толщины покрытия от 0,5 мм до 2,0 мм усилие до разрушения снижается от 190 кН до 90 кН. Отслаивание и разрушение напыленного покрытия происходит без повреждения основного металла.

Для толстых и хрупких покрытиях разрушение и отслоение наблюдается в значительно большей степени по сравнению с пластичными тонкими покрытиями. В образцах с толщиной покрытия 1,5 мм и 2,0 мм образуется большое количество продольных и поперечных трещин.

Установили, что разрушение покрытия происходит по границам зерен и по новым участкам протяженных несплошностей, образовавшихся в результате деформации на этих границах.

Плотность покрытия после деформации возрастает с увеличением его толщины. Возможной причиной этого является следующее: при пластической деформации тонких покрытий наблюдается в большей мере сдвиг частиц одна относительно другой. В результате происходит отрыв частиц с образованием несплошности. Пористость возрастает с одновременным возрастанием пластичности покрытия, т.е. его текучести. Наблюдали увеличение значений пористости на 0,6 - 4, 3% по сравнению с пористостью центральной зоны недеформированных образцов.

В структуре деформированного покрытия максимальное количество несплошностей имеет протяженность 1,5-3. В результате слияния несплошностей время деформации образуются в большом количестве новые поры с протяженностью 5-5,5.

---

\* Руководитель – к.т.н. доц. Оноприенко В.Г.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ГШО

Бодакова М.Г. (ПМ-10с), Пылева И.В. (МТ-08)\*  
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 круглозвенной цепи из конструкционной стали 23Г2А Ø 18x64 мм класса прочности «С» согласно ГОСТ 25996-02, установленной на скребковом конвейере СП-63м. Прежде всего изучили условия эксплуатации звеньев и требования, предъявляемые к ним:

Пробная нагрузка, кН.....	330
Относительное удлинение при пробной нагрузке, %, не более.....	1,6
Разрушающая нагрузка, кН, не менее.....	410
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°С для получения требуемых свойств и структуры. Однако микроструктурные исследования показали, что в зоне сварки даже после термообработки звенья имеют не равновесную микроструктуру, разнотернистость и распределение твердости во сечению, что может способствовать преждевременному выходу их из строя.

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.

---

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

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ МОНТАЖЕ

Приймачук Ю.В. (ПМ-07), Рыбакова Д.С. (ПМ-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Металлопластиковые трубы в последнее время получили наибольшее применение для систем водоснабжения и отопления в связи с их низкой трудоемкостью, технологичностью и простотой монтажа по сравнению со стальными трубопроводами. Кроме того, материалы, из которых они изготавливаются, имеют уникальные свойства – долговечность, надежность в эксплуатации, стойкость к коррозии и отложению солей, устойчивость к зарастанию и заиливанию.

Металлопластиковая труба состоит из нескольких структурных слоев: алюминиевой основы, на которую методом экструзии внутри и снаружи наносятся слои специального клея и полиэтилена высокой плотности. Соединение кромок алюминиевой основы, толщина которой колеблется от 0,5 до 2,0 мм, осуществляется встык или внахлест, что существенно влияет на плотность соединяемых слоев и на качество соединения с фиттингом при монтаже. Поэтому 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. Перед испытанием образцов на разрыв выполнили терморезисторное сплавление труб с фиттингом при температурах 220, 240 и 260°С в течение 10 с. Испытания на растяжение производили по ГОСТ 6996-66 на образцах типа II на разрывной машине FR-100.

В результате испытаний установили, что оптимальной температурой сплавления металлопластиковых труб является температура 240°С, т. к. при данной температуре обеспечивается заданная прочность (220-260 Мпа) и относительное удлинение (не менее 180%).

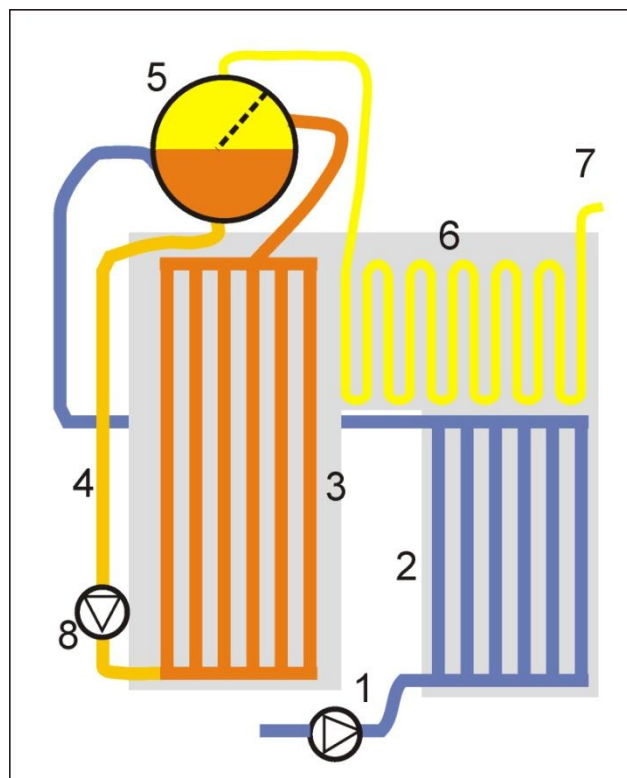
При соединении металлопластиковых труб имеется вероятность оголения армирующей прослойки алюминия, который очень сильно взаимодействует с агрессивной жидкой средой, особенно при использовании современных моющих средств, т.е. подвергается коррозионному разрушению. Поэтому предполагается произвести коррозионные исследования по влиянию агрессивных сред на химсостав и структуру алюминия, используемого в качестве армирующего слоя в металлопластиковых трубах.

---

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

# ПРОМЫШЛЕННАЯ

# ТЕПЛОТЕХНИКА



## ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАТАЛИЗАТОРА НА ТВЕРДОЙ ПОДЛОЖКЕ

Алехина Н.В. (ПТТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

XX век ознаменован рядом существенных открытий и достижений, которые привели к открытию новых перспективных видов материалов – фуллеренов и углеродных нанотрубок.

Существенными шагами на этом пути были следующие открытия: первые теоретические квантово-химические расчеты наномолекулы фуллерена и доказательство ее стабильности; получение нового класса соединений - фуллеренов - и исследование их свойств; открытие в 1991 году японским исследователем С. Ииджимой из компании NEC углеродных нанотрубок.

Нанотрубки являются перспективным материалом, который уже сегодня находит применение в электронике и множестве других отраслей промышленности, позволяя достигать уникальных свойств изделий.

Сегодня процессы получения нанотрубок методом каталитического пиролиза углеводородов с катализатором на носителе наиболее многообразны и различаются по способам их активирования и способам подвода тепла. Они позволяют легче регулировать время пребывания катализатора в реакционной зоне и добиваться более высоких выходов продукта на единицу массы катализатора.

В реакторе «Таунит» используется каталитический пиролиз углеводородов на Ni/Mg катализаторах при атмосферном давлении и температуре 580-650 °С. Время процесса 10-80 мин. Для начала роста нанотрубок в реактор подаются два газа: технологический газ ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ ) и углерод – содержащий газ ( $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ). Нанотрубки растут на поверхности металлического катализатора, углерод – содержащий газ разделен на части: газ на поверхности частиц катализатора, и газ, транспортируемый к краям частицы, образующий нанотрубки. Механизм образования все еще изучается.

В нашей работе планируется проведение дальнейших исследований в области каталитического пиролиза углеводородов с катализатором на носителе: – уточнение геометрических характеристик реактора; – исследование импульсной подачи углеводорода в реактор; – создание системы контроля тепловой работы реактора.

---

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

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Власова Е.В. (ПТТ-10с)

Донецкий национальный технический университет

Наиболее прогрессивным и быстроразвивающимся направлением в области использования возобновляемых видов энергии становится биоэнергетика, которая является в конечном итоге видоизмененной солнечной энергией. Ежегодно в пересчете на условное топливо растительный мир Земли производит 75 млрд. тонн органического топлива, что в три раза больше потребляемой энергии всеми странами мира. Однако из этого количества используется не более 5% и в основном для обогрева жилищ и приготовления пищи при низкой эффективности сжигания в печах.

Украина располагает большими возможностями для получения жидкого и газообразного биологического топлива, которые можно использовать в котельных установках для отопления и горячего снабжения, в автотранспорте как замена бензина. Такие направления уже применяются во многих странах мира.

В данной работе исследуется влияние различных вариантов использования биогаза на теплотехнические и экологические показатели работы методической нагревательной печи мелкосортного стана ДМПЗ. Биогаз, имеющий средний состав 65%  $\text{CH}_4$ , 1%  $\text{H}_2$ , 1%  $\text{CO}$ , 30%  $\text{CO}_2$ , 1%  $\text{O}_2$ , 2%  $\text{N}_2$  и теплоту сжигания 26 МДж/м<sup>3</sup>, при сжигании развивает достаточно высокую действительную температуру факела, составляющую около 1700°С, что может обеспечить необходимые температурные условия для качественного нагрева металла в каждой зоне методической печи непрерывного действия. Рациональные характеристики факела при сжигании биогаза несколько выше по сравнению с природным, что повышает интенсивность радиационного теплообмена в рабочем пространстве печи и увеличению коэффициента использования тепла топлива.

Использование биогаза в металлургических нагревательных печах является перспективным с точки зрения снижения вредных выбросов по сравнению с природным газом. Калориметрическая температура горения биогаза меньше, что уменьшает концентрацию оксидов азота на 20-25%.

Проведенные расчеты показывают, что годовой расход биогаза для обеспечения работы одной нагревательной печи с производительностью 40 т/ч, составляет 5 млн.м<sup>3</sup>. Крупные животноводческие фермы или птицефабрики, по зарубежным данным, могут производить 8-12 млн.м<sup>3</sup> биогаза в год, что обеспечит энергетические потребности металлургического завода производить приблизительно 1 млн.т в год.

---

\*Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Волкова Т.Г. (ИТТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

В методических нагревательных печах Донецкого металлургического завода (ДМЗ) для нагрева металла под прокатку используется как чистый природный газ, так и смесь природного и коксового газов. При постоянном росте стоимости природного газа и дефиците коксового газа возрастают затраты на нагрев металла, что приводит к росту стоимости прокатной продукции.

Одним из путей снижения стоимости энергозатрат является частичная или полная замена природного газа на доменный. Эффективность сжигания низкокалорийного топлива, каким является доменный газ, зависит главным образом от температуры подогрева воздуха. На действующих методических печах подогрев воздуха для горения топлива осуществляется в металлических рекуператорах до температуры не выше  $300^{\circ}\text{C}$ , что не может обеспечить качественное сжигание доменного газа. Одним из вариантов решения данной проблемы является подогрев как воздуха, так и доменного газа в отдельных рекуператорах до температуры  $\sim 250^{\circ}\text{C}$ . Схема движения газовых сред показана на рисунке.

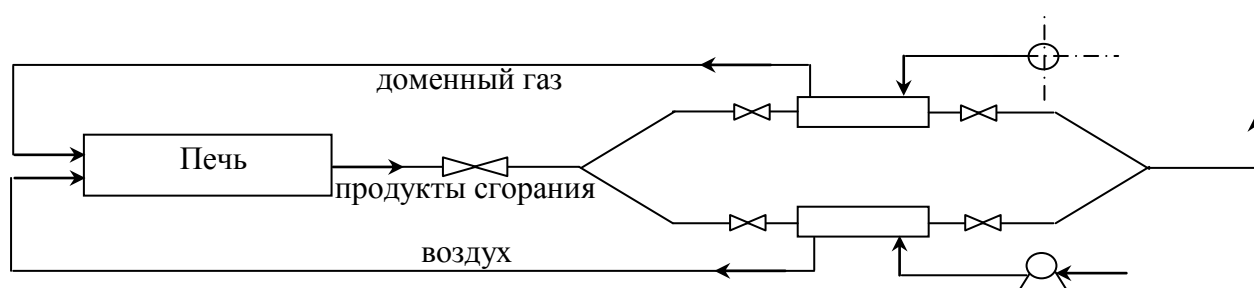


Рисунок – Схема движения газовых сред в методической печи

Проведенные расчеты показали, что можно нагреть две различные газовые среды до указанной температуры и практически невозможно нагреть воздух в металлическом рекуператоре до температуры  $500^{\circ}\text{C}$ . Большая эффективность такого способа сжигания низкокалорийного топлива подтверждается законом действующих масс, по которому доля взаимных столкновений молекул топлива и воздуха резко возрастает при высокой температуре двух химически взаимодействующих газовых сред. Представленный способ можно реализовать на одной из трехзонной методической печи сортопрокатного цеха ДМЗ, где на печи не используется физическое тепло отходящих продуктов сгорания.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ГОРЕЛОК И ДЫМОВОГО ТРАКТА В КОТЕЛЬНЫХ.

Гнитиёв П.А. (ИТТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Сжигание природного газа в котельных на сегодня реализуется с не достаточно высоким коэффициентом использования тепла топлива. Основной целью является сокращение расхода газа без потери количества теплоты.

В основе данного метода лежит закон Стефана-Больцмана, который гласит о том, что тепловой поток от газа к материалу пропорционален разности четвертых степеней температур и имеет вид:

$$q = \varepsilon_{г-м} \cdot C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_г}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_м}{100} \right)^4 \right]$$

Где  $\varepsilon_{г-м}$  - степень черноты системы;  $C_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $C_0 = 5,67 \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$ ;  $T_г$  - температура газа, К;  $T_м$  - температура металла котла, К.

Эта зависимость позволяет судить о том, что изменение температуры газа значительно повышает тепловой поток. Так же необходимо открыть шибер, для создания большего разрежения при большем расходе газа и воздуха. Это позволит нам за определенное время аккумулировать тепло:

- в металле рабочей поверхности котла;
- в футеровке вокруг котла;
- в продуктах сгорания.

После расчетного времени можно уменьшить расход газа, опуская его ниже обычного уровня, при котором работает котел. Вместе с этим необходимо прикрывать шибер, для сохранения тепла от горячих продуктов сгорания. В результате чего, котел будет получать тепловую энергию от тех элементов котла, которые успели её накопить. При всем этом, время повышенного расхода газа выбирается меньше времени пониженного расхода, в результате чего мы будем иметь экономию расхода газа.

Для более наглядного рассмотрения этого метода был проведен эксперимент на котельной с использованием уже существующего оборудования посредством волнообразного изменения температуры теплоносителя, синхронизированного с изменением давления в дымоотводящем тракте; экономия природного газа составила 5,8% для котла типа ДКВР 10-13.

Данная экономия получена за счет усиления лучистого и конвективного теплообмена, а так же использования физического тепла дымовых газов. Данный эксперимент наглядно показал, что сокращение расхода газа действительно находится в расчетных пределах и может составить, при 50% его тепловой нагрузке, 473 тыс. м<sup>3</sup> газа в год.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ТТ Кравцов В.В.



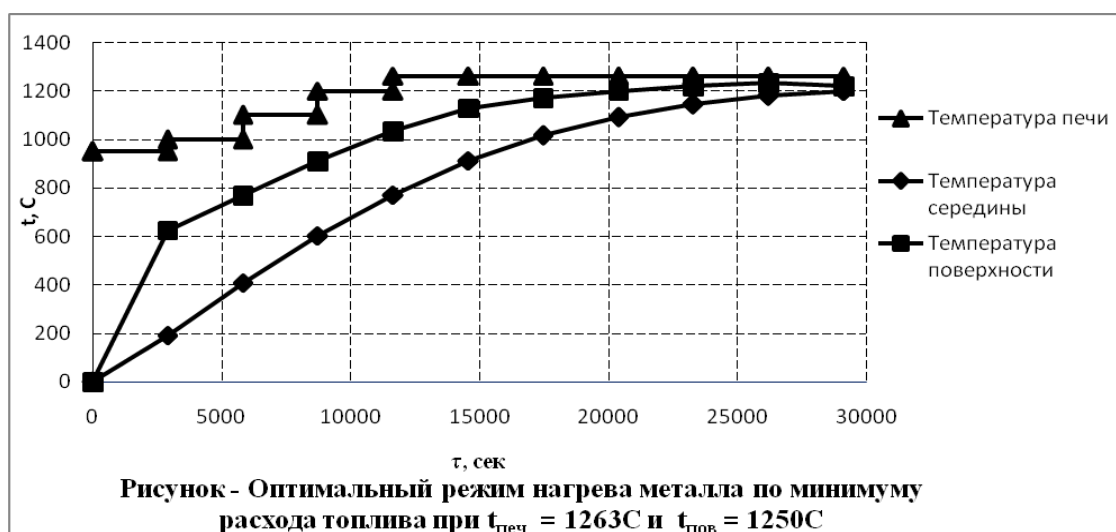
# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ РАСХОДА ТОПЛИВА

Нуйкина Ю.Б. (ПТТ-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

В общем случае для решения задачи нахождения оптимального температурного режима используется симплекс- метод, который является ключевым при решении вопросов линейного программирования. Суть этого метода – отыскание максимума или минимума целевой функции. При этом в процессе нагрева должны выполняться ряд технологических ограничений  $U_j \leq [U_j]$ ;  $t_{повj} \leq [t_{повj}]$ ;  $[t_{min}] \leq t_{min}$ . В конце нагрева получено заданное качество нагрева металла. Затем по известной методике была создана программа решения, где рассчитывались значения переменных, при которых целевая функция имеет минимум.

Были выполнены исследования по нагреву 14 слитков холодного посада массой 6,5 т природным газом  $Q_n^p=33124$  кДж/м<sup>3</sup> и температурой подогрева воздуха в рекуператоре 700°C при переменной тепловой мощности ячейки нагревательного колодца в процессе нагрева. Результаты моделирования приведены на рисунке.



При нагреве металла температура печи  $U$  выдерживается равной предельно допустимому значению  $1263^{\circ}\text{C}$  в процессе нагрева. Но  $t_{пов}$  не достигла своего максимального значения  $[t_{пов}] = 1250^{\circ}\text{C}$ , а температура по сечению тела в конце нагрева получилась выше заданной  $t_{min} = 1180^{\circ}\text{C}$ . В результате проведенных исследований был получен суммарный расход топлива равный  $V_{sum} = 2844\text{м}^3$ .

\*Руководитель – к.т.н., профессор Гинкул С.И.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ПЕЧИ МЕТОДИЧЕСКОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЕ ЗАГОТОВОК

Подобед Ю.В. (ПТТ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Основой для создания математической модели нагрева металла в методической печи является дифференциальное уравнение теплопроводности, описывающее одномерное температурное поле.

$$c(t)\rho(t)\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right], \quad (1)$$

где  $c(t)$ ,  $\rho(t)$ ,  $\lambda(t)$  - соответственно теплоемкость, Дж/(кг·К); плотность, кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Для решения данного уравнения приняты условия однозначности – начальные и граничные. Начальным условием является распределение температуры по сечению заготовки в начальный момент времени, т.е. при  $\tau = 0$   $t = f(x)$ .

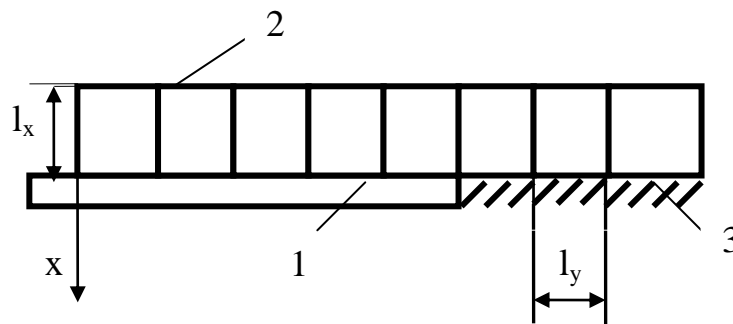
Граничные условия следующие:

- в методической и сварочной зонах

$$\begin{aligned} \text{при } x=0 & \quad -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{\text{в}} (t_{\text{гв}} - t_{\text{пв}}); \\ \text{при } x=l_x & \quad \lambda \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{\text{н}} (t_{\text{гн}} - t_{\text{пн}}); \end{aligned} \quad (2)$$

- в томильной зоне металл греется при постоянной температуре поверхности.

Схема расположения заготовок на подине печи представлена на рисунке.



1- глссажная труба; 2- заготовки; 3 – монолитный под.

Рисунок - Схема расположения заготовок в печи

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Гинкул С.И.

Дифференциальное уравнение (1) с условиями однозначности (2) решались конечно-разностным методом с использованием метода прогонки.

Для проверки адекватности математической модели рассматривался нагрев слябов размерами  $l_y \times l_x \times l_z$  в методической печи, ширина и длина слябов оставались постоянными  $l_y=1,4$  м,  $l_z=10,5$  м, а толщина - варьировалась. Производительность печи постоянна, следовательно, время пребывания заготовок в печи зависит непосредственно от массы этих заготовок.

Исследовав нагрев заготовок толщины 210 мм и 240 мм, были получены два режима - существующий и предлагаемый. Полученные результаты исследования приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Предлагаемые температуры газов по зонам печи

Толщина заготовки, мм	Температуры по зонам печи					
	методическая		1-ая сварочная		2-ая сварочная	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец
210	1045	1295	1325	1325	1375	1375
240	1025	1275	1325	1325	1375	1375

Таблица 2 - Сравнение экономических показателей работы печи при нагреве заготовок толщиной 210 мм и 240 мм

Толщина заготовки, мм	Существующий режим			Предлагаемый режим		
	Расход топлива, В, м <sup>3</sup> /с	Тепловая мощность $M_{\text{общ}} \cdot 10^{-5}$ , Вт	Удельный расход условного топлива, $b_{\text{усл}}$ , кг.у.т/т	Расход топлива, В, м <sup>3</sup> /с	Тепловая мощность $M_{\text{общ}} \cdot 10^{-5}$ , Вт	Удельный расход условного топлива, $b_{\text{усл}}$ , кг.у.т/т
210	5,435	1,135	53,63	5,357	1,118	52,86
240	5,451	1,138	53,79	5,288	1,104	52,18

Таким образом, в результате моделирования нагрева металла при постоянной производительности печи и различной толщине заготовки имеется возможность получения более экономных режимов нагрева металла. Варьирование толщины заготовки приводит к изменению времени нагрева, что в соответствии с полученными результатами может достигаться изменением времени пребывания металла в зонах печи. Это, в свою очередь приводит к изменению скорости продвижения металла в печи. Моделирование температурных режимов приводит к экономии энергоресурсов.

В будущем планируется переход с математической модели на реальную установку не только при постоянной производительности, но и при переменной.

## ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО ГАЗА ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Каплунова А.И.(ПТТ-с)\*

Донецкий национальный технический университет

Разработка угольных месторождений всегда сопровождается выходом газов, основным компонентом которых является метан. На современных высокопроизводительных угольных шахтах абсолютное газовыделение достигает значительных величин.

За рубежом, в таких странах как США, Германия, и других, разработана технология извлечения металла из угольных пластов, переработка газа до товарной продукции и использования его для целей теплофикации и получения электроэнергии на тепловых электростанциях.

В Украине только на отдельных шахтах, в основном в Донбассе, где разрабатываются угольные пласты с высоким газовыделением, выкачивают газ из опережающих скважин и направляют его для сжигания в водогрейных и паровых котлах.

В представленной работе рассматривается перспектива отопления одной из методических нагревательных печей Донецкого металлопрокатного завода, расположенного в двух километрах от шахты им.Засядько, где разработана технология получения шахтного метана и практического его использования. Проведены теплотехнические расчеты нагрева металла в многозонной методической печи, позволившие определить основные показатели: КИТ, КПД, удельный расход топлива при различной степени обогащения шахтного газа металлом. Наибольшая экологическая эффективность достигается при концентрации метана в газе 45ч50%. С удельным расходом условного топлива 45ч55кг/т.

В работе представлена система автоматической стабилизации тепловой нагрузки при колебании состава шахтного газа, путём подачи природного газа при снижении калорийности шахтного газа.

Учитывая дальнейшее совершенствование технологии добычи шахтного газа и достаточно большую теплоту его сжигания, а также меньшую стоимость(в 2 раза), можно обеспечить работу нескольких нагревательных печей близко расположенного (<2 км) Донецкого металлопрокатного завода.

Проект перевода методической печи может быть реализован на ДМПЗ при прокладке газопровода шахтного метана от газораспределительной станции шахтного газа шахты им.Засядько к методической печи прокатного цеха завода. Стоимость прокладки газопровода составляет порядка 1,8 млн. грн. при окупаемости затрат 3 года.

---

\*Руководитель – ст. преподаватель кафедры ТТ Сапронова Е.В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА.

Кожевник Л.А. (ИТТ-10 с)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в методических печах сортопрокатного цеха ДМЗ не используется тепло отходящих продуктов сгорания, что ухудшает технико-экономические показатели цеха.

Цех расположен между доменным цехом и листопрокатным, и в настоящее время установлен рекуператор для подогрева воздуха. В работу предлагается установить котёл-утилизатор на удаление от методической печи.

Произведены тепловые расчеты производительности котла-утилизатора, площади поверхности испарителя, пароперегревателя и экономайзера и получены геометрические параметры самого котла-утилизатора.

В методической печи производится нагрев различных марок стали, конечная температура нагрева которых определяется составом стали, поэтому на выходе из печи может колебаться  $\pm 100^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке приведена схема методической печи и установленного котла-утилизатора.

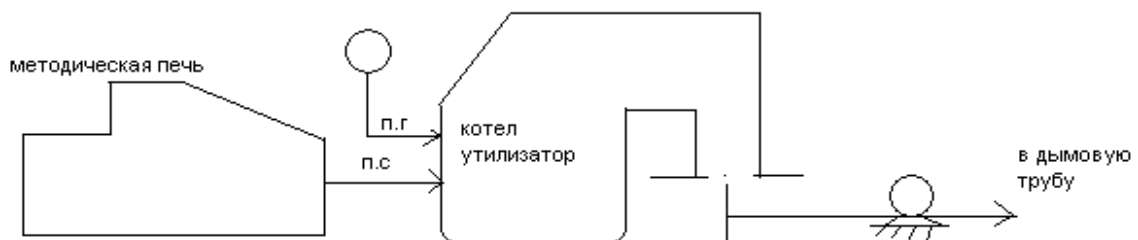


Рисунок-Схема методической печи и установленного котла-утилизатора

Для получения пара постоянных параметров давления, температуры и расхода предлагается использовать дополнительный источник тепла, в качестве которого рациональней всего применить природный газ имеющий высокую калорийность. Для сжигания природного газа были произведены расчеты горелочного устройства по расходу газовых сред (газа, воздуха). Работа горелочного устройства будет осуществлена в автоматическом режиме, то есть при изменении температуры продуктов сгорания на выходе в котёл-утилизатор будет автоматически изменяться расход природного газа.

Годовой экономический эффект при применении использования котла-утилизатора для получения пара составит более 4 млн. грн. Окупаемость котла-утилизатора 3 года.

\*Руководитель – к.т.н., профессор Туяхов А.И.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВА И ХАРАКТЕРИСТИК РЕКУПЕРАТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕКУПЕРАЦИИ

Косолюкин Д.А.(ПТТ-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В Украине большой вес в структуре затрат на производство конечного продукта в металлургии имеет расход газообразного топлива. Поэтому экономия топлива – первоначальная задача любого субъекта данной отрасли промышленности. Для утилизации тепла уходящих газов используют специальные теплообменники, называемые рекуператоры. В зависимости от типа рекуператора разнятся значения коэффициента теплопередачи.

Для анализа эффективности тепловой работы нагревательных печей принято использовать коэффициент использования топлива, соответствующего доле химической энергии топлива, оставленной в рабочей камере.

При заданных параметрах нагрева расход топлива будет определен средневзвешенным значением коэффициента использования топлива за весь период нагрева:

$$V = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t + Q_{пот} \cdot \tau_n}{\eta_{св} \cdot Q_n^p} \quad (1)$$

где  $Q_n^p$  – теплота сгорания топлива, кДж/м<sup>3</sup>;

$m$  – масса заготовки, кг;

$\eta_{св}$  - средневзвешенный коэффициент использования топлива (КИТ);

$c$  - теплоемкость продуктов горения, Вт/м<sup>3</sup>К;

$\Delta t$  - температурный перепад, С;

$Q_{пот}$  - тепловые потери, кДж.

Значительное влияние на средневзвешенный коэффициент использования топлива оказывает коэффициент рекуперации. Для анализа влияния различных факторов на величину коэффициента рекуперации предложена аналитическая методика, базирующаяся на уравнениях теплового баланса и теплопередачи в рекуператоре:

$$Q = V_{nc} \cdot c_{nc} \Big|_{t_{nc}^x}^{t_{nc}^r} \cdot (t_{nc}^r - t_{nc}^x) = V_B \cdot c_B \Big|_{t_B^x}^{t_B^r} \cdot (t_B^r - t_B^x) = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (2)$$

где  $V_{nc}$ ,  $V_B$  – объемные расходы продуктов сгорания и воздуха через рекуператор, м<sup>3</sup>/с;

\*Научный руководитель : доц. каф. «Техническая теплофизика» Бирюков А.Б.

$t_{\text{пс}}^{\text{x}}, t_{\text{в}}^{\text{x}}, t_{\text{пс}}^{\text{r}}, t_{\text{в}}^{\text{r}}$  – температуры продуктов сгорания на выходе, воздуха на входе, продуктов сгорания на входе, воздуха на выходе из рекуператора, соответственно, °С;

$c_{\text{nc}} \Big|_{t_{\text{пс}}^{\text{x}}}^{t_{\text{пс}}^{\text{r}}}$   $c_{\text{в}} \Big|_{t_{\text{в}}^{\text{x}}}^{t_{\text{в}}^{\text{r}}}$  – средние объемные теплоемкости продуктов сгорания и воздуха при температурах их нахождения в рекуператоре соответственно, Дж/(м<sup>3</sup>·К);

$k$  – коэффициент теплопередачи в рекуператоре, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  – поверхность теплообмена рекуператора, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – среднелогарифмический температурный напор в рекуператоре, °С.

В результате решения системы уравнений получим выражения для определения неизвестных температур через заданные параметры:

$$t_{\text{в}}^{\text{r}} = \frac{t_{\text{пс}}^{\text{r}} \cdot (e^{-mkF} - 1) + t_{\text{в}}^{\text{x}} \cdot \left( 1 - \frac{V_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \Big|_{t_{\text{в}}^{\text{x}}}^{t_{\text{в}}^{\text{r}}}}{V_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \Big|_{t_{\text{пс}}^{\text{x}}}^{t_{\text{пс}}^{\text{r}}}} \right)}{e^{-mkF} - \frac{V_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \Big|_{t_{\text{в}}^{\text{x}}}^{t_{\text{в}}^{\text{r}}}}{V_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \Big|_{t_{\text{пс}}^{\text{x}}}^{t_{\text{пс}}^{\text{r}}}}}, \quad (3)$$

где  $m$  - параметр, определяемый на основании водяных эквивалентов расходов теплообменивающихся сред, К·с/Дж ;

После решения системы имеется возможность определения температурного перепада в рекуператоре в зависимости от параметров нагрева. Температура продуктов горения  $t_{\text{пс}}^{\text{x}}$  определяется аналогично. В результате определения величин  $t_{\text{пс}}^{\text{x}}, t_{\text{в}}^{\text{r}}$  появляется возможность вычислить значение коэффициента рекуперации в зависимости от параметров нагрева и конструкции рекуператора. Таким образом, на основании физического смысла коэффициента рекуперации составляем выражение для функционального определения этой величины в зависимости от заданных параметров.

$$k_{\text{r}} = \frac{k \cdot F \cdot \Delta t}{V_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \Big|_{t_{\text{пс}}^{\text{x}}}^{t_{\text{пс}}^{\text{r}}}} \cdot t_{\text{пс}}^{\text{r}}, \quad (4)$$

Вывод: Создана методика для анализа влияния различных конструктивных и технологических параметров на значение коэффициента рекуперации. Проанализировано влияние коэффициента рекуперации на средневзвешенный коэффициент использования топлива.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ НАГРЕВЕ ЗАГОТОВОК В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Мороз С.С.(ПТТ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время методические печи, в которых топливо сжигается с коэффициентом расхода воздуха в диапазоне от 1,05 до 1,25 – одно из самых распространенных средств нагрева металла перед прокаткой. В результате нагрева заготовок в таких печах теряется от 1% до 3,5% массы металла за счет его окисления. При нагреве стали окисленный слой представляет собой окалину, которая образуется в результате диффузионного процесса окисления железа и примесей, входящих в состав стали. Окалина состоит из окислов железа в виде соединений  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  и  $FeO$ , располагающихся в трех слоях. Наружный ее слой  $Fe_2O_3$  - гематит составляет примерно 2% от общей толщины окалины, промежуточный слой  $Fe_3O_4$  - магнетит примерно 18%, а внутренний  $FeO$  - вюстит - 80%. Активное окалинообразование при нагреве стали начинается при температуре около 700 °С и возрастает особенно быстро при температурах выше 900 °С. В связи с вышесказанным можно ожидать ощутимый экономический эффект при условии уменьшения влияния отрицательных факторов при нагреве металла в методических печах. Существует немало способов борьбы с окалиной с помощью различных обмазок, применением скоростного нагрева и т.д., но все они не могут дать необходимого эффекта: одни - просты в исполнении, но не дают должного результата, другие – эффективны но для повсеместного применения экономически невыгодны.



температурах выше 900 °С. В связи с вышесказанным можно ожидать ощутимый экономический эффект при условии уменьшения влияния отрицательных факторов при нагреве металла в методических печах. Существует немало способов борьбы с окалиной с помощью различных обмазок, применением скоростного нагрева и т.д., но все

они не могут дать необходимого эффекта: одни - просты в исполнении, но не дают должного результата, другие – эффективны но для повсеместного применения экономически невыгодны.

Поскольку данная проблема является очень актуальной, была поставлена задача создания математической модели, которая позволяет исследовать влияние печной атмосферы на образование окалины при нагреве металла в методической печи. В ходе исследований было установлено, что на состав печной атмосферы непосредственное влияние оказывает коэффициент расхода воздуха б. Состав печных атмосфер и коэффициенты расхода воздуха приведены в таблице.

Таблица – Печная атмосфера и ее состав при различных б

Печная атмосфера и ее состав	Окислительная $CO_2, H_2O, O_2$	Нейтральная $CO, H_2/CO_2,$ $H_2O=1/1$	Восстановительная $CO, H_2/ CO_2,$ $H_2O=3/1$
Коэф. расхода воздуха, б	1,05-1,25	0,85-0,95	<0,8

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ТТ Парахин Н.Ф.



В данной статье предложен способ снижения окалинообразования путем сжигания топлива с коэффициентом расхода воздуха  $b > 1$ . Такое сжигание топлива позволяет создать нейтральную или восстановительную атмосферы в рабочем пространстве печи, что позволяет снизить концентрацию окислительных газов ( $H_2O, CO_2, O_2$ ), а следовательно и их влияние на нагреваемый металл, и повысить концентрацию восстановительных газов ( $CO, H_2$ ). В ходе исследований были выполнены расчеты и получены данные, отражающие зависимость толщины образовавшегося слоя окалины от состава печной атмосферы. Данные представлены на рисунке.

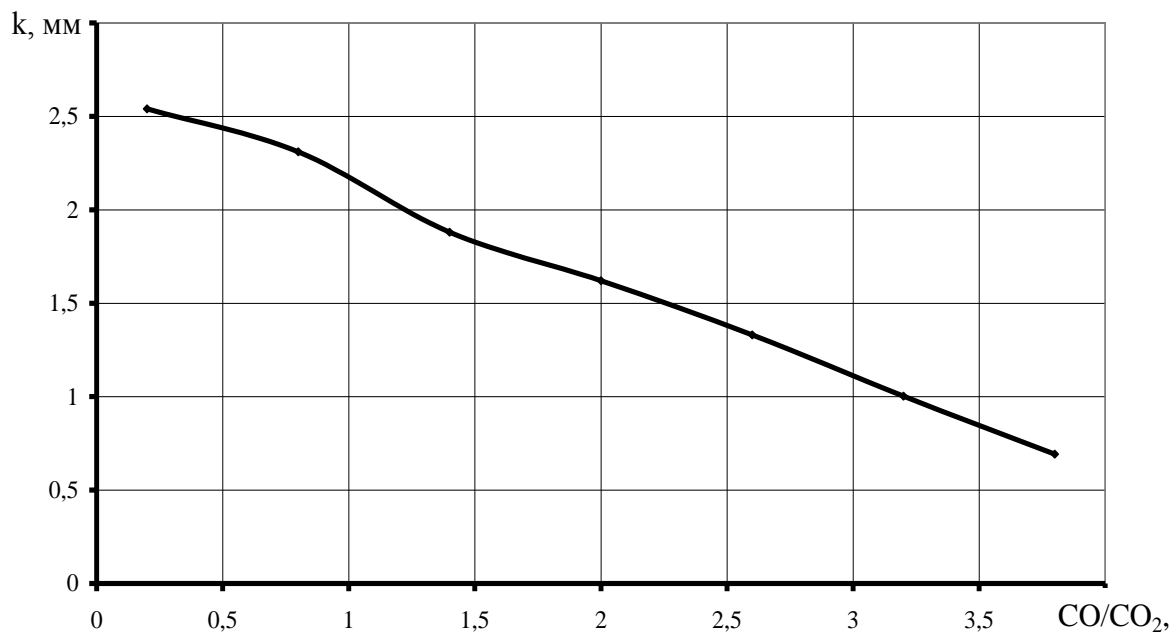


Рисунок - Зависимость толщины слоя окалины от состава печной атмосферы

Исходя из полученных данных следует, что применение такого метода существенно снижает количество окалины при нагреве металла под прокатку, а также повышают технико-экономические показатели печи.

В результате исследований была разработана математическая модель протекания процесса окисления стали при нагреве под прокатку. Были получены данные о сокращении в 2 раза количества металла, уносимого с угаром.

Планируется дальнейшее исследование процессов окалинообразования и влияния на эти процессы температуры и времени нагрева металла. Также планируется создать математическую модель, которая позволит автоматически рассчитывать толщину угара с учетом всех факторов, влияющих на процесс окисления металла.

## МЕТОД АНАЛИЗА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУТЕРОВОК НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Некрасова И.С. (ИТТ-10М) \*

Донецкий национальный технический университет

Парк термических и нагревательных печей, установленных на заводах стран бывшего СССР, представлен в основном старым оборудованием с «тяжелой» футеровкой, которое в свою очередь не обеспечивает требуемой технологической точности, не соответствует современным требованиям безопасности, не позволяет вести термическую обработку на качественно новом уровне с минимальными расходами энергоносителей. Для большинства отечественных агрегатов удельный расход топлива на нагрев металла под прокатку равен 120 кг.усл.топл./т, в то время как при равных условиях в иностранной практике приводятся сведения об удельном расходе топлива порядка 40 кг.усл.топл./т. Одним из вариантов замены печного оборудования, является его комплексная модернизация, включающая в себя замену футеровки, горелок и печной автоматики. Это позволит снизить расход топлива при эксплуатации парка печей и термического оборудования, тем самым уменьшить тепловые потери рабочих камер агрегатов. Вопрос сокращения расхода топлива решается за счет уменьшения теплопотерь рабочей камеры печи. Одним из вариантов решения этой задачи является использования современных керамоволокнистых материалов для изоляции камер печей.

Волокнистые теплоизоляционные материалы за последние годы превратились в основной материал энергосберегающих технологий. Уникальные свойства таких материалов позволяют эффективно заменить или дополнить традиционные футеровочные формованные материалы. Их использование мотивировано значительным снижением массы футеровки и, следовательно, необходимостью расходования большего количества тепла на прогрев футеровки. Если сравнивать традиционные и современные теплоизоляционные материалы, то первые имеют относительно высокий коэффициент теплопроводности 0,8-1,5 Вт/(м·К) и сравнительно высокую плотность 2000-2900 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент теплопроводности вторых 0,1-0,2 Вт/(м·К), плотность 100-200 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому применение керамоволокнистых материалов из-за существенного снижения их массы позволяет более, чем в 100 раз снизить расход тепла на аккумуляцию футеровкой, что практически исключает ее инертность. В ряде случаев применение керамоволокна позволяет экономить порядка 40 % топлива.

В данной работе предложена методика для анализа эффективности реконструкции футеровки нагревательных и термических печей с использованием керамоволокнистых материалов.

---

\*Руководитель- кандидат техн. наук, доцент ДонНТУ Бирюков А.Б.

Рассматривается вариант реконструкции, базирующийся на нанесении слоя керамоволокнистых материалов на базовую футеровку агрегата. При этом достигается снижение теплопотерь через футеровку агрегата и сокращается количество аккумулированного тепла, так как керамоволокнистые материалы имеют пористую структуру и соответственно низкую плотность, а среднemasсовая температура базовой футеровки становится ниже.

Сущность методики заключается в сравнении тепловых потерь через футеровку агрегата до и после реконструкции.

Тепловые потери через футеровку агрегата до реконструкции вычисляются как:

$$Q_{до рек} = \frac{\Delta t}{R_{\Sigma}} \cdot F,$$

где  $\Delta t$  – средний по длине печи температурный перепад, °С;  $F$  – площадь внутренней поверхности футеровки, м<sup>2</sup>;  $R_{\Sigma}$  – итоговое термическое сопротивление на пути тепла через футеровку печи (сумма термических сопротивлений конвективной и лучистой отдаче тепла от газов к внутренней поверхности футеровки, теплопроводности через слой (слои) футеровки, конвективной и лучистой теплоотдаче от наружной поверхности футеровки в окружающую среду, К·м<sup>2</sup>/Вт;

Тепловые потери через футеровку агрегата после реконструкции вычисляются как:

$$Q_{после рек} = \frac{\Delta t}{R_{\Sigma} + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} \cdot F,$$

где  $\delta_n$  – толщина добавленного слоя футеровки, м;  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности материала добавленного слоя футеровки, Вт/(м·К);

Выполняя ряд преобразований, получим зависимость термического сопротивления добавленного слоя керамоволокнистого материала от требуемой относительной экономии топлива:

$$R_m^{доб} = \frac{\delta_n}{\lambda_n} = \frac{\Delta Q_{ec} \left( m \cdot c \cdot \Delta t_{нагр} + \frac{\Delta t \cdot F}{R_{\Sigma}} \right) \cdot R_{\Sigma}^2}{\Delta t \cdot F - \Delta Q_{ec} \cdot m \cdot c \cdot \Delta t_{нагр} \cdot R_{\Sigma} - \Delta Q_{ec} \cdot \Delta t \cdot F},$$

где  $\Delta Q$  – разница теплопотерь агрегата до и после реконструкции, Вт;  $m$  – производительность агрегата по нагреву материала, кг/с;  $c$  – средняя теплоемкость нагреваемого материала, посчитанная для диапазона температур тепловой обработки, Дж/(кг·К);  $\Delta t_{нагр}$  – изменение среднemasсовой температуры материала в процессе тепловой обработки, °С;  $\Delta Q_{ec}$  – относительная экономия топлива, Вт.

Вывод:

1. Разработаны зависимости для анализа эффективности реконструкции футеровки печей, позволяющие определять требуемую величину добавленного сопротивления для достижения заданной экономии топлива

# РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ В ПРОХОДНЫХ ПЕЧАХ МЕТОДИЧЕСКОГО ТИПА

Сапронова Ю.М. (ПТТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Существующие методические печи работают при стационарном режиме. Изменение режима нагрева происходит при переходе на другой типоразмер заготовки.

Тепловой режим в методической зоне зависит от температурного режима сварочной зоны, а длительность нагрева заготовок в методической зоне остается такой как для предыдущей заготовки. При заполнении методической зоны заготовками нового сортамента и при переходе их в сварочную зону возможно изменение температурного режима.

Температуру в сварочной зоне необходимо постепенно менять, чтобы при заполнении новым сортаментом всей сварочной зоны был получен расчетный режим для нагрева заготовок нового сортамента.

Был рассчитан нагрев заготовок различного сортамента в методической печи. Первоначально в печи грелись заготовки толщиной  $s=0,21$  м. При переходе на нагрев заготовок другой толщины они греются при существующем температурном режиме печи. Этот режим печи сохраняется до тех пор, пока вся методическая зона не заполнится заготовками нового сортамента. В таблице приведена температура поверхности заготовок толщиной  $s=0,21$  м по всем зонам печи и заготовок толщиной  $s_1=0,18$  м и  $s_2=0,15$  м в методической зоне.

Таблица. – Режимы нагрева заготовок

Толщина заготовки, м	Температура поверхности заготовок, °С					
	методическая зона		сварочная зона		томильная зона	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец
0,21	0	554	554	1238	1238	1249
0,18	0	642	642			
0,15	0	712	712			

Температурный режим в методической зоне не соответствует режиму нагрева заготовок  $s_1=0,18$  м и  $s_2=0,15$ . Температура начала пластической деформации принята равной  $t_{pl}=550$  °С. При толщине заготовок  $s=0,21$  м это условие выполняется – температура поверхности в конце методической зоны  $t_{п}=554$ °С. Заготовки толщиной  $s_1=0,18$  м и  $s_2=0,15$  м перегреваются. Это связано с тем, что температура уходящих газов и время нагрева металла по зонам остались прежними. Постепенно понижая температуру в сварочной зоне, можно будет и снизить температуру уходящих газов и тем самым уменьшить температуру нагрева металла в методической зоне.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Гинкул С.И.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Симоненко Л.Г. (ПТТ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Большинство печей с тепловой мощностью менее 3 МВт для нагрева различных материалов или выплавки цветных металлов и синтетических шлаков, применяемых в металлургической промышленности, отапливаются природным газом.

Из практики сжигания чистого природного газа известно, что факел и продукты сгорания обладают низкими радиационными характеристиками. Данные исследований, проведенных на мартеновских печах [1], показывают, что несветящийся факел на всём протяжении рабочего пространства печи имеет более высокую температуру, чем длинный светящийся. Это является следствием меньшей теплоотдачи к ванне (при прочих равных условиях) из-за меньшей светимости факела. Большая температура газов указывает на большие потери теплоты с уходящими продуктами сгорания. Ухудшение теплоотдачи от факела к теплообрабатываемым материалам снижает эффективность тепломассообменных процессов, что приводит к увеличению удельного расхода топлива.

Использование мазута для повышения светимости факела нерационально из-за необходимости иметь мазутное хозяйство, что наряду с высокой стоимостью жидкого топлива приведёт к увеличению общих затрат на эксплуатацию печей такого типа.

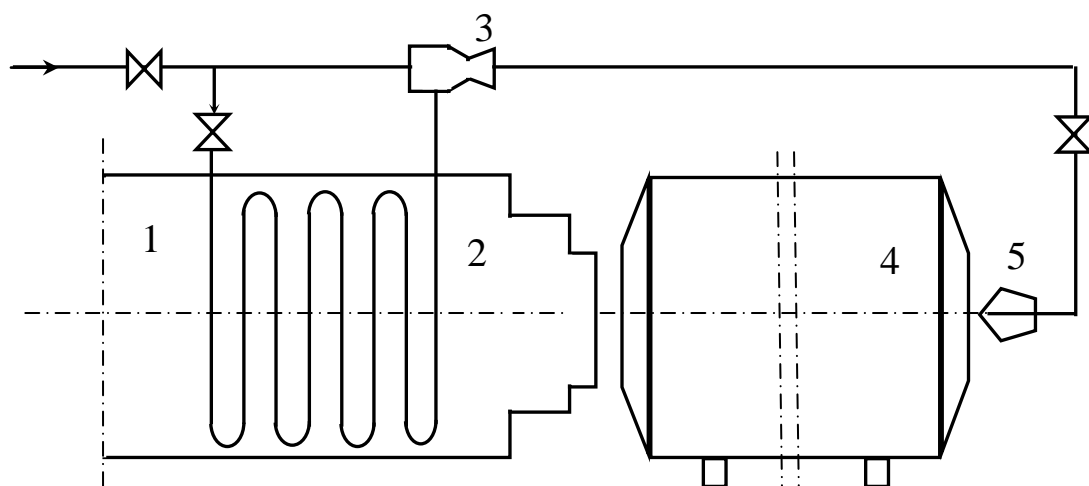
Одним из путей повышения светимости факела является отопление печей реформированным природным газом. С этой целью часть природного газа из общего количества, идущего на технологический процесс, направляется на специальную установку – реформатор, устанавливаемый в газоотводящем тракте печи. При высокой температуре (1100 – 1300 °С) метан интенсивно разлагается на сажистый углерод и водород, а образующаяся смесь подаётся в газовую горелку печи. Присутствие в газообразном топливе большого количества сажистых частиц с преимущественными размерами от 0,2 до 0,5 мкм резко увеличивает светимость факела и приводит к возрастанию передачи тепла излучением.

Наиболее рациональной конструкцией для печей такого типа с точки зрения монтажных работ является реформатор змеевикового типа, повешенный вертикально к своду дымового тракта (рис.1).

Природный газ из общего газопровода распределяется на два потока: меньшая часть (~10% по вышеприведенному расчёту) направляется в стальные трубки реформатора, выполненные из жаропрочной стали, а основная часть газа подаётся на инжектор, с помощью которого компенсируется падение давления при движении газа через систему трубок реформатора.

---

\*Руководитель – к.т.н., профессор Гуяхов А.И.



1 - дымоотводящий тракт; 2 - реформатор; 3 - инжектор;  
4 - шлакоплавильная печь; 5 - горелка

Рисунок 1 - Схема подачи природного газа к реформатору и к шлакоплавильной печи

Выбор диаметра трубок реформатора определяется на основе анализа влияния двух параметров на работу установки – аэродинамического и теплового. С увеличением диаметра трубки уменьшается аэродинамическое сопротивление, однако при этом уменьшается интенсивность конвективного теплообмена, что ухудшает процесс реформации. Расчёты, проведенные по двум характеристическим параметрам, показали, что оптимальный диаметр находится в пределах 0,03 – 0,04м. Для конструктивного выполнения реформатора был выбран нижний предел диаметра трубки, что способствует эффективному удалению сажистых частиц из реформатора за счёт более высокой скорости (~40м/с) движения двухфазной (твёрдой и газовой) среды внутри трубок реформатора.

Общая длина трубок реформатора, рассчитанная по формуле на основе найденных значений объёма газа в реформаторе и диаметра трубок, составила 12,4м. При располагаемой высоте свода 1,3м и с учётом плавных закруглений между прямыми участками получим 7 параллельно расположенных труб, расстояние между которыми должно составлять не менее двух диаметров труб для лучшего теплообмена с продуктами сгорания.

Использование в качестве топлива частично реформированного природного газа для шлакоплавильной печи производительностью 4 т/ч готовой продукции, позволяет уменьшить расход топлива на 30 – 40% и сократить время тепловой обработки материалов. Технико-экономические расчёты показывают, что окупаемость установленного в дымовом тракте печи реформатора составляет менее одного года.

## О МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ Г. КУРАХОВО

Сиряк А.Е. (ПТТ-10с)

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в городе Курахово строятся новые жилые микрорайоны с развивающейся инфраструктурой: больницы, школы, детские сады, торговые комплексы, гаражи и так далее. Следовательно, возрастает потребность в развитии тепловых сетей.

Единственным источником теплоснабжения города является блок № 8 Кураховской ТЭС, работающий в теплофикационном режиме.

В связи с частыми остановами блока на неопределенное время город не получает необходимую тепловую энергию для отопления и горячего водоснабжения. Более того, система теплофикации оборудована морально и физически устаревшими трубчатыми теплообменниками. К недостаткам таких теплообменников следует отнести низкий коэффициент теплопередачи, и, как следствие, громоздкость, а также сложность в обслуживании.

Для решения проблемы обеспечения города Курахово тепловой энергией предлагается перевести блок № 5 Кураховской ТЭС в теплофикационный режим.

С целью реализации поставленной задачи предлагается осуществить теплофикационный отбор пара из турбины с установкой современных теплообменных аппаратов: пластинчатых теплообменников, выпускаемых предприятиями Украины. Пластинчатые теплообменники имеют ряд преимуществ перед трубчатыми: компактность, простота обслуживания и очистки пластин, низкая загрязняемость, высокий КПД; возможность увеличения количества пластин. Увеличение количества пластин позволит увеличить тепловую мощность при увеличении количества потребителей (вновь строящиеся здания).

Компьютерное оснащение недавно модернизированного указанного блока позволит контролировать и поддерживать бесперебойную подачу тепловой энергии в город.

Таким образом, отпадает необходимость в сооружении дополнительных районных отопительных котельных и тепловых пунктов для горячего водоснабжения, что приводит к экономии природного газа, используемого в котельных, электроэнергии на привод насосов, капитальных затрат на строительство и оборудование отопительных котельных и тепловых пунктов, улучшению экологической ситуации в районе города. Кроме того, реализация предложенного мероприятия не требует значительных долгосрочных капитальных затрат (в соответствии с требованиями горадминистрации). Срок окупаемости составляет 1,5 года.

---

\*Руководитель – ст. преп. кафедры технічної теплофізики Волкова О.Г.

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ СТОИМОСТИ

Ткаченко М.И. (ПТТ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Основной задачей нагревательных печей является обеспечение стана нагретым металлом. В тех случаях, когда печи не являются узким местом в звене печь-стан, нагрев металла желательнее вести по таким критериям как минимум стоимости на затраченное топливо и минимум стоимости образовавшейся окалины.

В процессе нагрева должен выполняться ряд ограничений: текущее значение температуры печи  $U$ , поверхности  $t_{нов}$  не должны превышать максимально допустимых значений  $[U]$ ,  $[t_{нов}]$  соответственно. В конце нагрева необходимо получить заданное качество, т.е. температура по сечению тела не должна быть ниже  $t_{к\min}$ .

Приведенные ограничения запишем в виде:

$$U^j \leq [U^j]; \quad t_{нов}^j \leq [t_{нов}^j]; \quad t_{к\min}^i \leq t_i.$$

Определим функцию цели. Будем считать, что температура печи является постоянной на рассматриваемом интервале времени  $\Delta\tau$  и меняется от интервала к интервалу. Функцию запишем в виде:

$$F = S_{топл} + S_{ок} \rightarrow \min,$$

где  $S_{топл}$  - стоимость топлива;  $S_{ок}$  - стоимость окалины.

Температура металла в любой точке по сечению и в любой момент времени находится как функция от температуры печи. Связь температуры металла с температурой печи устанавливаем с помощью коэффициентов влияния или весовых коэффициентов, которые получаем при решении дифференциального уравнения теплопроводности при линейных граничных условиях и температуре печи на каждом шаге по времени  $U^j = 1$ . При толщине плиты  $S = 2r_0 = 300\text{мм}$ , коэффициенте теплопроводности  $\lambda = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , теплоемкости  $C = 0,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , плотности  $\rho = 780 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициенте теплоотдачи  $\alpha = 200 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ , в печи температурой  $t_{печ} = 1200^\circ\text{C}$  требуется определить до какой температуры поверхности нагреется плита за время  $\tau = 8290\text{с}$  коэффициенты влияния равны  $a_{14} = 0,0766$ ;  $a_{24} = 0,1142$ ;  $a_{34} = 0,1743$ ;  $a_{44} = 0,4772$ . Температура поверхности равняется:

$$t_{нов}^j = t_1^j = \sum_{S=1}^j a_{S1}^j \cdot U_S$$
$$t_{нов} = a_{14} \cdot U_1 + a_{24} \cdot U_2 + a_{34} \cdot U_3 + a_{44} \cdot U_4$$
$$t_{нов} = (0,0766 + 0,1142 + 0,1743 + 0,4772) \cdot 1200 = 1010^\circ\text{C}$$

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Гинкул С.И



# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЛОВ ТП-109 БЛОКОВ 200МВт

Басенко О.С. (ТЭС-07), Христенко Є.В.(ТП-10с) \*  
Донецкий национальный технический университет

Основной проблемой при работе котлов ТП-109 Кураховской ТЭС являются перерасход топлива и износ поверхностей нагрева при пусках -остановах котлов, что связано с недостаточной подготовительной обработкой, в том числе и сушкой поверхностей, и развитием различных видов коррозии, наименее изученны из которых является стояночная, приводящая к самопроизвольному разрушению металла.

Стояночная коррозия происходит преимущественно под отложениями шлама, в которых удерживается влага после спуска воды из котла. В барабанах котлов иногда обнаруживают коррозионные язвы у торцов и по нижней образующей, т. е. в местах, где отлагается шлам.

Для парового котла опасна не только его собственная стояночная коррозия, но и коррозия во всем паро-водяном тракте: во всех подогревателях, теплообменниках, деаэраторах и т. д. Продукты этой коррозии вносятся в котел, где они, отлагаясь на поверхностях нагрева задерживают влагу после спуска воды и значительно усиливают электрические токи, способствующие коррозионному разрушению металла

Стояночная коррозия развивается после вывода котлов из работы. За последние 10 лет количество остановов возросло. Так в 2000 году было 142 пуска/останова котельного оборудования, что практически в 4 раза меньше по сравнению с 642 разами в 2010 году.

Именно в процессе останова котла, после спуска воды из котлов развиваются эти процессы. В большей части стояночная коррозия заключается в ржавлении влажных металлических поверхностей при выключении оборудования из работы.

Анализ графиков ремонтных работ, показал, что дольше всего на ремонт останавливали 8 блок (52 дня), наименьшее количество дней потребовалось для ремонта 5 блока (14 дней). То есть на 5 блоке консервация была проведена лучше, чем на 8 блоке.

Наибольший износ наблюдается в металле труб поверхностей нагрева 3 блока. Проведен входной контроль качества металла с давлением 140 ата, испытания проводились при температуре 20°С для труб водяного экономайзера, экранных труб, конвективных пучков, ширмовых подогревателей и радиационных поверхностей.

В месте разрыва наблюдается рост зерна до 7 балла шкалы №2 ГОСТ 5639-65 и резкая потеря прочности.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры промышленная теплоэнергетика Попов А.Л.

Основные прочностные характеристики представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения результатов механических испытаний поверхностей нагрева при  $t=20^{\circ}\text{C}$

	Механические свойства		
	$\sigma_{\text{в}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
Водяной экономайзер, ст.20	51,5	25,4	52,3
	51,1	23,33	51,5
	46,0	26,53	56,7
	50,6	23,8	57,6
	51,6	23,0	54,1
Экраны, ст.20	47,6	25,5	62,5
	47,9	25,5	62,5
	49,1	25,1	57,37
	47,5	25,9	58,5
Конвективный ППВД(входной), ст.20	47,6	26	60,97
	51,3	26,1	58,97
	51,7	26,4	60,9
	49	25,9	61,5
	52,4	24,5	60
Ширмовый п/п, ст. 12Х1МФ	58,4	17	62,5
	60,4	17,6	64,1
	54,3	20	64,7
Радиационный п/п, ст. 12Х1МФ	61,2	13,8	55,3

Металл эксплуатировался в течении 25тыс. часов, трубы коллекторов с максимальной деформацией исследовались после 196тыс. часов.

Данный анализ показывает что в месте разрыва прочностные характеристики меньше допустимых на 5,6 Па.

Для ликвидации отрицательного действия стояночной коррозии предлагаем при пусках/остановах котлов консервацию гидразинно-аммиачным раствором, которая выполняется при выводе котла в ремонт на срок до 3 месяцев со сливом консервирующего раствора на весь период ремонта. Попадание влаги в котел в этот период недопустимо.

Внедрение данных мероприятий повышает надежность оборудования и увеличивает срок его службы.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЛА ТП-100

Берющева А.С., Ревко Е.В. (ЭНМ-07)\*  
Донецкий национальный технический университет

Основным оборудованием тепловой части блока 200 МВт Старобешевской ТЭС является котельный агрегат ТП – 100 и паровая турбина К – 200 – 130 – 3. Котел, сжигающий АШ, оборудован двумя индивидуальными системами пылеприготовления с промежуточным бункером. Проектом предусмотрен транспорт пыли в горелки отработавшим сушильным агентом с температурой 90-100 °С, что не соответствует современным условиям по организации сжигания АШ ухудшенного качества на котлах с жидким шлакоудалением. Ввод в корень факела горелки аэросмеси с низкой температурой не позволяет обеспечить условия для надежного воспламенения пыли, что приводит к перерасходу мазута на подсветку.

С целью решения проблемы дополнительного подогрева аэросмеси перед горелками до 300 °С нами предложено использование рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе», состоящего из двух соосно расположенных круглых цилиндрических труб. Один теплоноситель (запыленный воздух) движется по внутренним трубам диаметром 580 мм, другой (перегретый пар, отобранный с турбины) - в противоположном направлении по кольцевому зазору между внутренней и внешней трубой диаметром 710 мм. Для интенсификации теплообмена предлагается продольное оребрение внешней поверхности внутренней трубы, что позволит увеличить теплообменную поверхность более чем в 3 раза, тем самым уменьшив громоздкость конструкции. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица – Результаты расчета теплообменника типа «труба в трубе»

Теплоноситель	Средняя температура, $t_{cp}$ , °С	Скорость $w$ , м/с	Массовый расход $G$ , кг/с	Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> К
Перегретый пар	282,1	1,02	0,42	108,85
Запыленный воздух	195	25	4,93	55,88
<b>Расчет теплообменного аппарата</b>				
Коэффициент теплопередачи $k$ , Вт/м К	Поверхность теплообмена $F$ , м <sup>2</sup>	Эффективность оребрения $E$	Длина трубы $L$ , м	
27,11	195,4	0,81	30	

Предлагаемая реконструкция позволит сократить расход топлива на 0,5%, повысить надежность и стабильность работы топливо-сжигающих устройств, что также положительно скажется на экологической обстановке в регионе.

\* Руководитель – асс. кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА КВГ – 6,5 НА КОТЕЛЬНОЙ ПОСЕЛКА «ПОБЕДА» ККП ДОНГОРТЕПЛОСЕТЬ

И. В. Буслов, А. В. Приходько (ТП – 07)  
Донецкий национальный технический университет

Отопительная котельная поселка «Победа» имеет присоединенную нагрузку 21,9 МВт. В котельной установлено 3 котла КВГ – 6,5, с установленными в них щелевыми подовыми горелками в количестве 3 штук, горелки работают на газе среднего давления, КПД котла 90,1 %, температура на выходе из котла 90 – 115 °С, удельный расход условного топлива 37,1 кг у. т./ГДж. Котел устойчиво работает при теплопроизводительности 3,3 Гкал/ч, при этом обеспечивается высокое КПД и минимальные выбросы окислов азота 0,043 т/год (98 – 115 мг/м<sup>3</sup>) и СО 0,011 т/год (28-30 мг/м<sup>3</sup>). С повышением теплопроизводительности с 3,3 Гкал/ч до 5,25 Гкал/ч, КПД котла уменьшается с 91,58% до 90,6%. Что показано на рисунке 1

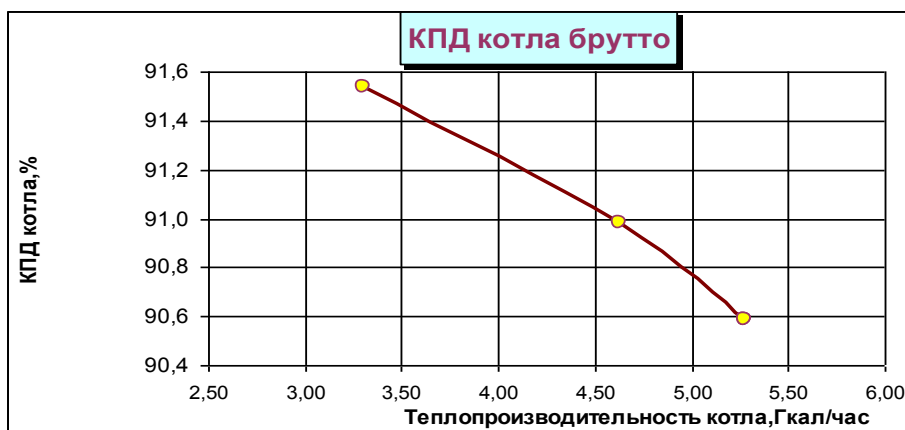


Рисунок 1 – зависимость КПД котла от теплопроизводительности

При теплопроизводительности 3,3 Гкал/ч получено максимальное значение КПД котла и минимальный удельный расход топлива, то есть предпочтительней работа на нагрузке 3,3 Гкал/ч. Для определения эколого-теплотехнических характеристик котла выполнена фотография работы котла, фотография показана в таблице - 2. Показано, что в продуктах сгорания содержится 28 мг/м<sup>3</sup> СО, что свидетельствует о неудовлетворительной работе горелочных устройств. Данный котел требует реконструкции горелочных устройств, установки щелевых подовых горелок следующих параметров.

Установка щелевых подовых горелок с данными параметрами гарантирует снижение недожога и увеличение КПД на 0,05% с 90,1 до 90,6%. Удельный расход условного топлива снизился до 156,1 кг у. т./Гкал усовершенствование процесса сжигания позволило получить экономию условного топлива 2,4 кг у. т./Гкал<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е. К.

Таблица 1 – параметры горелочного устройства котла

Диаметр коллектора горелки, мм	38,1
Длина огневой части всех коллекторов котла, м	2,1
Расход газа на 1 м огневой части горелки, м <sup>3</sup> /ч	113
Диаметр огневых отверстий коллектора, мм	2
Давление газа перед горелкой, кПа	14,7
Давление воздуха перед горелкой, кПа	1,96
Производительность горелки, кПа	1,96
Расход газа, м <sup>3</sup> /ч	146

Таблица 2 – фотография работы котла

Наименование	Показатель
Число работающих горелок, шт	3
Давление газа перед котлом, кПа	20
Давление газа перед горелкой, кПа	13
Расход газа по счётчику, м <sup>3</sup> /ч	710
Калорийность топлива, кДж/м <sup>3</sup>	34358
Давление воздуха перед горелкой, кПа	0,32
Температура воздуха на горение, °С	15
Разрежение в топке, кПа	0,03
Температура уходящих газов, °С	138
Содержание продуктов горения в балансовой точке	
CO <sub>2</sub> , %	6,2
O <sub>2</sub> , %	10,0
CO, мг/м <sup>3</sup>	28
NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	112
Коэффициент избытка воздуха в балансовой точке, α	1,82
Давление воды на входе в котел, кПа	0,113
Давление воды на выходе из котла, кПа	0,1
Температура воды на входе в котел, °С	60
Температура воды на выходе из котла, °С	118
Расход воды через котёл, м <sup>3</sup> /ч	90
Потери тепла с уходящими газами, %	8,73
Потери тепла с химическим недожогом, %	0,02
Потери тепла в окружающую среду, %	1,12
КПД котла брутто, %	90,1
Тепловая производительность котла, ГДж/ч	21,99
Удельный расход условного топлива на 1 ГДж отпущенного тепла, кг.у.т./ГДж	37,8
Удельный расход газа, м <sup>3</sup> /ГДж	32,29
Удельный выброс CO, г/м <sup>3</sup>	59,28
Удельный выброс NO <sub>x</sub> , г/м <sup>3</sup>	237,13

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вертела С.А. (ЭНМ-08) \*

Донецкий национальный технический университет

Теплоизоляция как технология эффективного энергосбережения в строительстве очень эффективна на сегодняшний день. Основными характеристиками таких материалов являются не только теплопроводность, прочность и надёжность в эксплуатации, но и экологичность. Проблема влияния на организм человека теплоизоляционных материалов является основной.

Так, пенополиуретан широко используется для тепловой изоляции плоской кровли, например, в крупных заводских цехах, но форполимеры, мягкие полиуретановые смолы, изоцианатные отвердители, которые входят в его состав, очень опасны для человека. Они вызывают аллергические реакции и тяжёлые формы заболеваний дыхательной системы. При пожаре могут образоваться очень токсичные газы. Возможно даже образование фосгена.

Асбест, обладающий многочисленными техническими достоинствами, применяется в различных отраслях народного хозяйства. Вредные свойства асбеста проявляются лишь тогда, когда асбестовые волокна попадают в воздух и затем проникают в дыхательную систему человека.

Пенополистирол абсолютно не токсичен, им можно пользоваться без каких бы то ни было опасений. Пенополистирол не содержит хлорофторированных углеводородов или не полностью галогенированных хлорофторированных углеводородов, он гарантирует отсутствие возникновения аллергий или скрытых болезней. Минеральная вата, стеклянная вата.

С точки зрения безопасности для здоровья минеральная вата имеет два основных недостатка. Одна из фракций минеральных волокон обладает канцерогенными свойствами, а вяжущий материал - фенолформальдегидная или меламинформальдегидная смола - в течение длительного времени выделяет свободный формальдегид

Утеплители из натурального хлопка являются строительными изделиями, абсолютно не содержащими вредных веществ. Для производства эковаты используются отходы бумажной макулатуры, которые «связываются» специальными добавками.

Термобазальт — это теплоизоляция, выполненная из базальтового волокна, состоящего на 96% из природного камня «базальт».

Утепление из пробкового дерева очень эффективно и абсолютно безвредно для организма человека. Пробка не впитывает пыль, что помогает защитить от аллергии и не ставит под угрозу людей, страдающих от астмы.

---

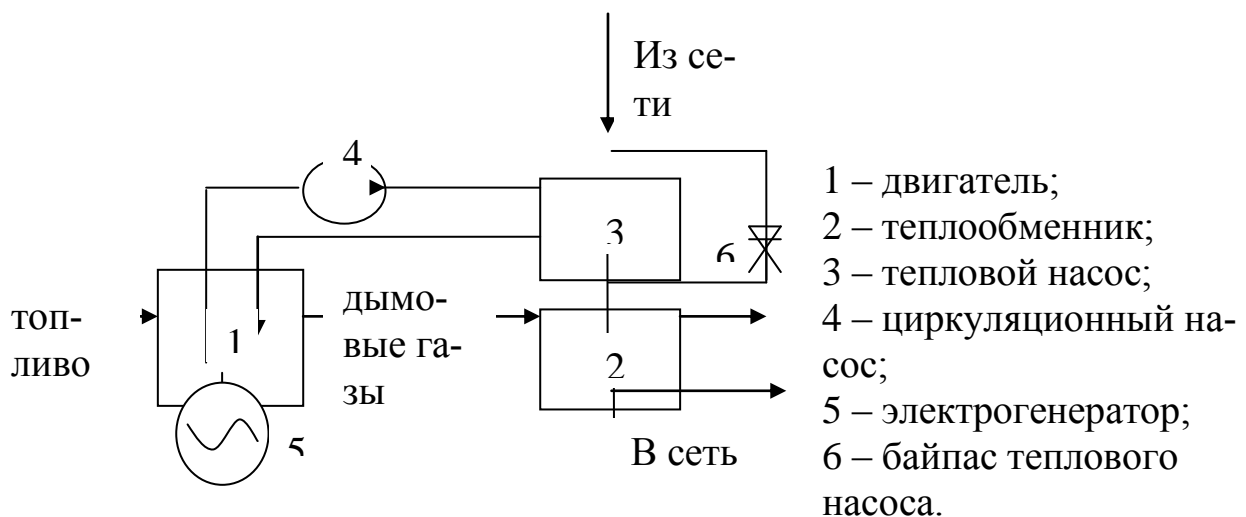
\* Руководитель – доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ С КОГЕНЕРАЦИОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Голдынский Г.А.(ТЭС-07), Остапенко М.Н.(ТЭС-07)\*  
Донецкий национальный технический университет

В настоящее время рассматривается вопрос экономии топлива, т.к. его запасы в природе не безграничны. Очевидно, что для решения этого вопроса следует пытаться максимально использовать все тепло, получаемое на теплоэнергетических установках, особенно низкопотенциальное. Существует множество устройств, предназначенных для рационального использования этого тепла. К таким устройствам относятся и тепловой насос.

Представим к рассмотрению принципиальную схему отопления с когенерационным двигателем со встроенным тепловым насосом :



Топливо подается на двигатель, который соединен с электрогенератором. Продукты сгорания (дымовые газы) поступают в теплообменник сетевой воды. Двигатель охлаждается жидкостью, которая забирает у него часть тепла и после выхода имеет высокую температуру. Нагретая охлаждающая жидкость подается в тепловой насос, где отдает дополнительное тепло воде из обратной линии отопительной сети. Далее вода поступает в сетевой подогреватель, после которого в отопительную сеть.

Внедряя тепловой насос в систему отопления с когенерационным двигателем, получаем возможность управлять температурой сетевой воды в зависимости от температуры окружающего воздуха. Это осуществляется байпасированием части сетевой воды.

\*Руководитель – доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Илющенко В.И.



## УТИЛИЗАЦИЯ СБРАСЫВАЕМОГО ТЕПЛА НА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Лещенко С.Ю., Баранов А.В. (ЭНМ-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

Производить собственные полуфабрикаты дешевле, чем покупать их на стороне. Поэтому крупные предприятия, использующие в своём основном производстве нлз и другую литейную продукцию, всё чаще создают дочерние сталеплавильные комплексы, так называемые мини-заводы.

Такая погоня за снижением себестоимости конечной продукции имеет противоречивый характер. С одной стороны, цена продукции, а также бесперебойная работа предприятия в целом, становятся менее зависимыми от сторонних субъектов экономической деятельности. В этом заключается положительный момент. Отрицательный менее очевиден, поскольку его эффект размывает во времени, а также между предприятием и обществом: ограниченность основных фондов дочернего подразделения заставляет его руководителя выделять средства на энергосбережение в последнюю очередь. Для мини-предприятий такой подход усугублён тем, что на них удельный вес постоянных энергетических затрат выше, чем у крупных предприятий (по аналогии с общими постоянными и переменными издержками). С увеличением числа подобных предприятий увеличится объём сбрасываемых в окружающую среду воды и тепла, вырастет количество электрической энергии, затрачиваемой на обогрев административных корпусов и снабжение горячей водой. На крупном предприятии со сложным производственным процессом, которое в недалёком будущем будут обслуживать несколько подобных комплексов, не смотря даже на передовой технологический процесс, текущая энергоэффективность приведёт и к повышению себестоимости продукции по отношению к потенциально возможной для подобных симбиозов.

Так как энергетическая дыра литейного мини-завода поглощает преимущественно вторичные энергетические ресурсы, в данной работе рассмотрен пример утилизации именно такого рода энергии.

В технологическом цикле литейного производства необходима система охлаждения заготовок на завершающем этапе производства. Чем выше температура расплавленного металла, тем более мощной она должна быть. Температура нлз из различных марок стали достигает  $1500^{\circ}\text{C}$ , что обуславливает использование многоконтурной системы охлаждения. В последнем контуре, который является открытым, происходит сброс тепла в окружающую среду – сбрасывается либо охлаждается вода с температурой до  $60^{\circ}\text{C}$ . При повторном использовании охлаждающей воды для нужд заводской котельной будет достигаться экономия горючего для производства горячей воды и отопления административных корпусов предприятия. Для этого необходимо реконструировать открытый контур

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

охлаждения. Недостатком является то, что расход охлаждающей воды значительно превышает необходимый для утилизации тепла в котельной, что не позволяет в полной мере использовать потенциал вторичного энергетического сырья. Но полученная в результате экономия топлива может дать ощутимые экономический, а также экологический эффекты, что делает мероприятие целесообразным.

В состав литейного комплекса, установленная мощность производства которого составляет 500 тыс. т непрерывно литой заготовки в год, входит отопительная котельная, годовое потребление газа которой для обеспечения 800 человек персонала горячей водой и теплом составляет около 2 млн. м<sup>3</sup>. С учётом того, что для нужд отопления подогревается лишь подпиточная вода, а в течение года перепад температур сетевой (либо водоёмной) воды составляет около 10°C (соответственно осуществляется подогрев воды в тёплый период на 30÷35°C, в холодный - 40÷45°C), экономия газа для нужд котельной составит 9÷11%, что в натуральном выражении – около 200 тыс. м<sup>3</sup>.

Затраты на мероприятие:

1. Реконструкция охлаждающего контура, в случае удалённости его от котельной до 100 м – 60000 грн;
2. Установка водяного насоса для циркуляции воды в охлаждающем контуре – 50000÷100000 грн, в зависимости от необходимых параметров охлаждающей/подогревающей воды;
3. Установка теплообменного пластинчатого аппарата – 20000 грн;
4. Оплата выполнения всех монтажных работ – около 50000 грн;
5. Разработка проекта – 30000 грн.

Суммарные затраты на осуществление мероприятия составят 250 тыс. грн. Полученная экономия в денежном выражении (цена природного газа для предприятия составляет 2500 грн/тыс. м<sup>3</sup>) – 500 тыс. грн/год, что за вычетом эксплуатационных расходов даст доход более чем в 200 тыс. грн в первый же год. По своим финансовым и временным параметрам мероприятие является среднезатратным и быстрокупаемым. К его плюсам также следует отнести:

- дополнительные отчисления в государственный бюджет;
- создание рабочих мест (монтажный и эксплуатационный персонал);
- экологический эффект. Включает снижение выбросов предприятием, а также экономию природных ресурсов;
- повышение престижности предприятия.

Главный же тормоз осуществления подобного мероприятия – недостаточно сформировавшееся представление о том, как эффективно использовать различные виды энергии на производстве. 500 тыс. экономии выглядят каплей в море финансового потока даже мини-предприятия. Но это только видимость. Проведение нескольких количественно и качественно разнообразных энерго-сберегающих мероприятий на одном заводе даст уже более ощутимый эффект.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ КВ. 61**

## **ВОРОШИЛОВСКОГО ТЕПЛООВОГО РАЙОНА ККП «ДОНЕЦКГОРТЕПЛОСЕТЬ»**

Гоба И.В., Подавинников М. В. (ЭНМ-10с)\*  
Донецкий национальный технический университет

Котельная 61Ворошиловского теплового района – отопительная. Присоединенная нагрузка котельной 1809,2Гкал/ч. Система ГВС отсутствует. В котельной установлено 3 котла ТВГ-8М. С целью обеспечения потребителей горячей водой предлагаем установить дополнительный жаротрубный водогрейный котел.

Предварительно было произведено маркетинговое исследование рынка с целью выбора оптимального теплогенерирующего оборудования по таким критериям как экономическая выгода, экологическая безопасность, подходящие габаритные размеры.

Самым экономически выгодным по показателям теплопроизводительности, КПД и расходу топлива является экологически безопасный котел КОЛВИ-1300, производства «КОЛВИ «Евротерм»», стоимость которого составляет 78000 грн., работающий на газообразном топливе с КПД 93%. При эксплуатации данного котла обеспечивается минимальное количество выбросов. По габаритным данным котел является наиболее приемлемым при размещении в помещении котельной.

Реконструкция котельной по предварительным оценкам займет несколько месяцев. Установка дополнительного жаротрубного котла КОЛВИ-1300 будет проходить в теплое время года, что позволит до начала отопительного сезона завершить основные этапы проекта.

Осуществление предложенного мероприятия может быть выполнено при следующих условиях:

- Прибыль извлекается из экономии тепла и топлива;
- Целевое финансирование;
- Увеличение доли отчисления на ремонт и реконструкцию;
- Использование средств от оплаты за выбросы.

Для уменьшения риска инвестиций необходимо убедиться в гарантии стабильной работы предприятия, что показано в финансовой деятельности предприятия.

Во внедрении жаротрубного котла заинтересованы:

- 1) Непосредственно само предприятие, с целью получения прибыли от реализации горячей воды;
- 2) Потребители горячей воды (так как до реконструкции котельной горячее водоснабжение отсутствовало).

---

\* Руководитель – доц. Попов А.Л.

Для обеспечения производства тепла на горячее водоснабжение достаточно одного дополнительного котла, режим работы – непрерывный. После реконструкции годовая производительность котельной увеличится на 9 %, что составит 427601,04ГДж в год.

Для определения годового экономического эффекта был произведен расчет себестоимости 1ГДж тепла. Результаты сведены в таблицу.

Таблица – Результаты расчета себестоимости

Статьи затрат	Исходный вариант			Проектный вариант		
	Кол-во	Цена, грн	Сумма, грн	Кол-во	Цена, грн	Сумма, грн
м Топливо,	38,04	3	114,12	36,93	3	110,79
Электроэнергия	4,83	0,36	1,74	5,76	0,36	2,07
Вода	0,35	4,92	1,72	0,34	4,92	1,67
Фонд з.п	7		0,47	7		0,42
Текущий ремонт			0,005			0,004
Амортизация			0,095			1,46
Общекотельные расходы			0,0043			0,007
Всего			118,15			116,42

Срок окупаемости предложенного мероприятия составит 1год и 8 месяцев. Годовой экономический эффект – 544799,8грн.

Установка дополнительного котла позволяет снизить расход топлива, за счет повышения КПД котла. Снижение расхода топлива приводит к уменьшению вредных выбросов, таких как NO и CO. Снижение выбросов положительно влияет на состояние окружающей среды.

## ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ВОДОЕМАХ ПРИ ВЫПУСКЕ ПОДОГРЕТОЙ ВОДЫ

Горбенко И.Е. (ЭНМ-07)

Донецкий национальный технический университет

На конденсационных электрических станциях, работающих по циклу Ренкина, отработавший в турбине пар необходимо сконденсировать, т.е. превратить в воду. Для этого у отработавшего пара нужно отобрать определенное количество теплоты, этот процесс происходит в конденсаторе, установленном после турбины. После чего конденсат пара питательным насосом подается на регенеративные подогреватели, а вода, температура которой повысилась примерно на 9-12°C сливается в водоем и смешивается с речной водой. После конденсатора вода по сливным каналам сбрасывается в водоем ниже по течению. Уровень воды в реке в течение года не постоянный. Весной наступает половодье, а зимой уровень воды в равнинных реках минимальный. Если по расчетам при минимальном уровне воды в реке будет нехватка охлаждающей воды для конденсатора, необходимо строить плотины, дамбы.

Гидротермический режим в водотоках и водоемах формируется под влиянием как природных неуправляемых факторов (солнечная радиация, испарение, конвективный теплообмен, ветер, морфологические особенности водоема), так и факторов, которыми можно управлять (количество забираемой и сбрасываемой подогретой воды, условия водовыпуска и водозабора, степень подогрева воды и т.д.). При выпуске большого количества подогретой воды в водоемах и водотоках, как правило, возникают стратифицированные течения, которые существенно отличаются от течений при изотермическом режиме.

Регулирование стратифицированных течений может быть осуществлено при помощи струераспределительных сооружений например, фильтрующей дамбы, на расположенных в конце отводящего канала.

Интенсивность охлаждения воды в водохранилище можно регулировать путем создания соответствующих гидравлических режимов на водовыпуске. При выпуске подогретой воды узким фронтом с большими скоростями происходит интенсивное перемешивание воды на небольшом начальном участке, и в результате этого температура воды в верхнем слое водохранилища, через который происходит теплообмен с воздухом, будет ниже, чем при выпуске воды с небольшими скоростями широким фронтом. Полностью исключить перемешивание воды на начальном участке водохранилища-охладителя не представляется возможным, так как перемешивание воды является неизбежным следствием образования противоположно направленных стратифицированных течений, вызванных охлаждением воды. В этом случае можно только регулировать интенсивность перемешивания путем выпуска подогретой воды с различными скоростями течения.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

При выпуске воды с большими скоростями перемешивание происходит на сравнительно небольшом участке водохранилища, с уменьшением скоростей на выпуске, т.е. с увеличением водосбросного фронта, перемешивание распространяется на большую часть площади, однако интенсивность перемешивания уменьшается.

Температура воды в водоеме имеет существенное значение для его флоры и фауны. Поэтому прогноз температурного режима в водохранилище-охладителе является важной инженерной задачей.

Гидравлические процессы в полностью нагруженных водохранилищах-охладителях, характеризующихся тем, что температура воды во всех точках водоема выше естественной температуры воды, иллюстрируются рис.1

В качестве основной характеристики, по которой можно судить о перемешивании и эффективности охлаждения воды при различных вариантах водовыпуска, можно принять кривую падения температуры в поверхностном слое по площади водохранилища.

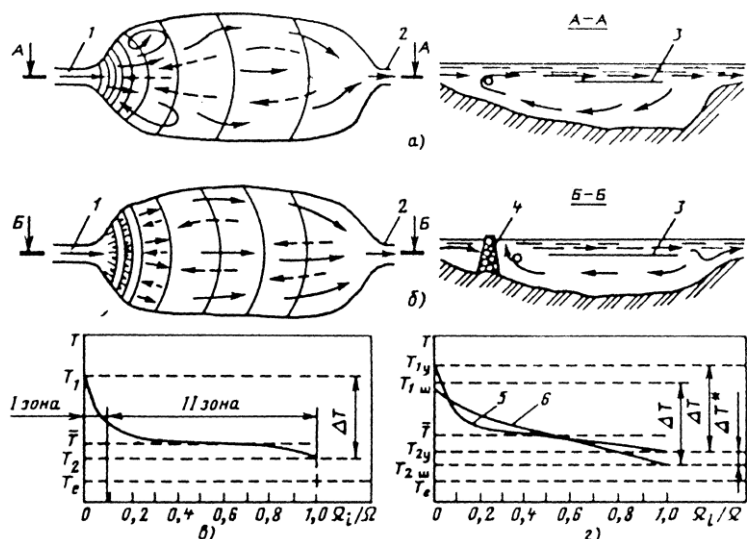


Рис.1 Гидравлические процессы в непроточных полностью нагруженных водохранилищах-охладителях:

а - узкий выпуск с большими скоростями; б - широкий выпуск с небольшими скоростями; в - типичный график изменения температуры воды в поверхностном слое; г - графики изменения температуры воды в поверхностном слое при узком и широком выпуске; 1 - водовыпуск; 2 - водозабор; 3 - поверхность раздела; 4 - струераспределительная дамба; 5 - кривая падения температуры при узком выпуске; 6 - кривая падения температуры при широком выпуске;  $T_1$  - температура на водовыпуске;  $T_2$  - температура на водозаборе;  $\bar{T}$  - средняя температура водоема;  $T_e$  - естественная температура;  $T_{1y}$  и  $T_{1w}$  - температуры соответственно при узком и широком выпуске;  $\Omega_i$  - площадь до изотермы с температурой  $T_i$ ;  $\Omega$  — общая площадь водоема.

В дальнейшем планируется рассмотреть возможные пути использования сбрасываемой тепловой энергии и ее использование.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАРУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Дрюк А.Г. (ЭНМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

При модернизации существующих зданий, прежде всего, рекомендуется предусмотреть мероприятия по теплоизоляции, которые являются, как правило, экономически выгодными.

Если наблюдается промерзание стены в одном или нескольких местах, то стену утепляют с внутренней стороны по всей ее плоскости.

При утеплении здания, как с наружной, так и с внутренней стороны используются различные теплоизоляционные материалы. Причем с наружной стороны они обязательно должны быть защищены от неблагоприятного влияния дождя, снега, солнечной радиации и других атмосферных воздействий.

При внутреннем утеплении стена, расположенная перед утеплителем, находится в зоне отрицательных температур, которая отчасти захватывает и утеплитель. Кроме того, нарушается естественная диффузия водяных паров, и создаются условия для образования конденсата в толще конструкции на границе утеплителя и стены. При внутреннем утеплении практически невозможно установить теплоизоляционный материал в местах примыкания перекрытий к наружной стене. Здесь образуются так называемые, "мостики холода". Потери тепла в этих зонах могут превышать потери через остальную поверхность стены.

При наружном утеплении снижение температуры по толщине стены происходит достаточно медленно и плавно. Резкое падение температур наблюдается ближе к наружной стороне, а зона отрицательных температур располагается в толще слоя дополнительной теплоизоляции. Расположение плотных, плохо пропускающих водяные пары материалов изнутри, а легких и пористых снаружи благоприятно влияет на влажностный режим стены и не создает условий для скопления в ней влаги. Если теплоизоляционный материал надежно защищен от вышеуказанных атмосферных воздействий, такая стена в течение всего года сохраняет высокие теплозащитные свойства.

С точки зрения поддержания нормального температурно-влажностного режима утепление с наружной стороны стены является оптимальным. Однако этот процесс отличается повышенной сложностью.

При качественной многослойной конструкции строительного элемента теплоизоляция должна устанавливаться снаружи, тогда ее влияние будет направлено вовнутрь. Барьер же для пара, если таковой необходим, должен быть предусмотрен внутри, сопротивление диффузии пара отдельных строительных материалов должно действовать наружу. Внутренняя изоляция является нарушением этого правила.

Ниже приводится для сравнения краткий обзор преимуществ и недостат-

---

\* Руководитель – доцент, к.т.н. Гридин С.В.

ков наружной и внутренней теплоизоляции ограждающих конструкций:

Преимущества наружной теплоизоляции:

- монолитная стена имеет компенсирующее действие и только при хорошей наружной изоляции может оптимально аккумулировать тепло в помещениях;
- летом в помещении устанавливается ровный комфортный климат;
- на строительный материал стен не могут воздействовать погодные условия;
- температурные напряжения несущих строительных конструкций снижаются;
- имеется место для любой желаемой толщины изоляционного материала;
- не требуется барьер для пара;
- за счет закрытого слоя изоляции можно избежать тепловых мостов.

Недостатки наружной теплоизоляции:

- визуальное изменение фасада является нежелательным по эстетически-архитектурным причинам;
- помещения, которые используются только временно, требуют длительного времени для нагревания;
- относительно высокие материальные затраты и затраты времени при стыковке многих элементов;
- наружная оболочка реагирует на погодные условия, особенно при высоких температурных колебаниях в солнечные дни.

Преимущества внутренней теплоизоляции:

- единственное возможное решение при работе на исторических фасадах и памятниках архитектуры, находящихся под охраной государства, и т.д.;
- редко используемые помещения могут быстро нагреваться;
- погодные условия не влияют на теплоизоляцию;
- более дешевый материал и меньшие затраты на работу.

Недостатки внутренней теплоизоляции:

- помещения зимой быстро охлаждаются, а летом быстрее нагреваются;
- высокая температурная нагрузка на несущие стены, что вызывает опасность образования трещин в многоэтажном доме (выше трех этажей);
- для трубопроводов в наружной стене опасность низких температур зимой;
- уменьшение полезной площади;
- необходимы дополнительные меры и затраты для прокладки коммуникаций;
- при устройстве барьеров для пара важно тщательное исполнение;
- возникают тепловые «мосты»;
- опасность повреждений от влажности на стыках перекрытий нижнего этажа и внутренних стен, поэтому по бокам необходимо устанавливать дополнительные слои изоляционного материала.

Таким образом, большинство приведенных аргументов не в пользу внутренней теплоизоляции, ее выбор должен стать предметом рассмотрения в тех случаях, когда речь идет о внутренней теплоизоляции взамен наружной.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Киселёв С.В. (ТП-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Основной упор промышленности на сегодняшний день делается на тепловые насосы, использующие низкопотенциальные тепловые ресурсы. Специальные устройства, используемые в них, позволяют использовать тепловую энергию любых низкотемпературных источников энергии, особенно это актуально для применения вторичных продуктов переработки, дымов, газов, промышленных отходов и прочего. Таким образом, мы получаем дешевое тепло, полученное от любых объектов, температура которых выше 3 градусов. Тепловые насосы высокой мощности используются на нефтехимических, машиностроительных предприятиях, предприятиях пищевой промышленности и т.п. Полученные температуры в + 100 — +250°C можно использовать как для отопления, так и для внутривоздушной нужды. Кроме того, тепловой насос одновременно производит большое количество холода, что позволяет захолаживать так называемые «обратки» - возвращаемую на ТЭЦ теплую воду, которая по нормам не должна иметь температуру выше 25°C. В настоящее время на ТЭЦ возвращается вода с температурой порядка 40°C, что снижает КПД паровых турбин. Практически каждое предприятие платит сейчас значительные штрафы по причине возврата теплой воды на ТЭЦ. Использование подобных воздушных тепловых насосов приводит в эквивалентном пересчете к уменьшению расхода промышленного газа в 1,4 — 1,5 раза.

Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3 – 5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу. Кроме того, в тепловых насосах используются экологически чистые технологии практически без выбросов вредных веществ в окружающую среду. Получение теплоносителя-источника высокопотенциальной теплоты +100 — +250°C от теплоносителя-источника низкопотенциальной теплоты +20 — +70°C производится на воздушных тепловых насосах с коэффициентом преобразования (топливным коэффициентом)  $m = 2,5 — 3,2$ . При  $m = 3$  соотношение энергий будет примерно следующее: 33% — вклад внешнего источника нижней температуры, 33% — вклад собственного отработанного теплоносителя («обратки»), 33% — вклад высокопотенциальной энергии от механического привода. Ожидаемые мощности подобных установок по приводу могут составлять от 1 до 20 МВт, эффективность не ниже, чем у классических тепловых насосов, которые работают на фреоне, хладоне и т.п.

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПУТ НА ВЫХОД КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА

Белоненко В.О., Корсун А.А. (ТЭС-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

История доменного производства насчитывает около тысячи лет, из которых более 200 лет доменные печи работают на коксе, и все эти годы идет борьба за повышение эффективности доменной плавки, а главное за снижение расхода кокса. Этот важнейший фактор – снижение расхода кокса – определяет высокую конкурентоспособность и уникальную живучесть доменного производства.

Это снижение достигается вдуванием в фурмы доменной печи в дополнение к основному топливу (коксу) дополнительного. В качестве дополнительного топлива может быть использован – природный газ, пылеугольное топливо (ПУТ), совместное вдувание природного газа и ПУТ, а также перспективное направление – вдувание ПУТ совместно с кислородом ( $O_2$ ) и очищенным колошниковым газом (ОКГ), содержащего до 3...5%  $CO_2+H_2O$ .

Одним из направлений в доменном производстве предлагается использование доменной печи в качестве генератора газа (в данном случае колошникового газа), совместно с выработкой чугуна при сниженной производительности печи по чугуну. Этого эффекта можно достичь в том случае, если не снижать расход кокса на выработку тонны чугуна, а сжигать 100% кокса и дутье (природный газ, ПУТ, ПУТ + природный газ или ПУТ +  $O_2$  + ОКГ).

Анализ данных работы доменной печи №1 ДМЗ, приведенные в книге «Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива», Ноздрачева В.А. и др., можно увидеть различия по выработке колошникового газа в зависимости от вида дутья, и с учетом снижения расхода кокса на тонну выплавленного чугуна. Результаты такого анализа можно представить в виде таблицы (таблица 1).

Таблица 1 – Выработка колошникового газа с учетом снижения расхода кокса на 1т чугуна

Вид топлива	Выход колошникового газа, $m^3/t$ чугуна
Кокс, без вдувания	2684
Кокс+ природный газ	2186
Кокс+ ПУТ	2336
Кокс+ПУТ+природный газ	1840
Кокс+ ПУТ + $O_2$ + ОКГ	2024

Из таблицы 1 видно, что со снижением расхода кокса снижается и выход газа на 1 тонну чугуна. Нашей задачей является повышение выхода колошникового газа для работы печи в режиме газогенератора при пониженной ее произ-

\* Руководитель – профессоркафедры ПТ Маркин А.Д., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

водительности по чугуна. Поэтому, сделав пересчет данных таблицы 1 на 100% расход кокса на выработку 1 тонны чугуна, получили следующие результаты по выходу газа (таблица 2).

Таблица 2 – Выработка колошниковога газа на 100% расход кокса на 1 тонну чугуна

Вид топлива	Выход колошниковога газа, м <sup>3</sup> /т чугуна
Кокс, без вдувания	2684
Кокс+ природный газ	2800,6
Кокс+ ПУТ	2926,5
Кокс+ПУТ+природный газ	3045,1
Кокс+ ПУТ + O <sub>2</sub> + ОКГ	3426,7

Из анализа таблицы 2 можно сделать вывод, что в случае 100% расхода кокса + дутье выход колошниковога газа резко повышается, по сравнению с выходом газа при сниженном расходе кокса (таблица 1). Особенно этот эффект заметен в двух последних случаях, где выход колошниковога газа повышается более, чем на 1000м<sup>3</sup>/т чугуна.

В результате, можно сделать вывод, что доменная печь помимо выработки чугуна в случае 100% расхода кокса и дутья может генерировать дополнительно колошниковый газ, который в дальнейшем можно очистить (ОКГ) и подавать вместе с дутьем (вариант дутья: кокс + ПУТ + O<sub>2</sub> + ОКГ), кроме этого доменный газ вместе с коксовым и природным газами используют при выработке пара в котлах на ТЭЦ. Этот вариант дутья является самым перспективным в настоящее время, но его недостатком является отсутствие промышленного оборудования для производства ОКГ в массовых количествах в условиях доменного цеха, дополнительные капитальные эксплуатационные затраты, необходимые при производстве ОКГ.

Также можно сделать еще один немаловажный вывод, что при варианте дутья кокс + ПУТ + O<sub>2</sub> + ОКГ горючих компонентов в колошниковом газе, т.е. CO + H<sub>2</sub>, содержится 70 – 76%, а при остальных вариантах их количество равно 30 – 35% от общего состава газа (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>). Более высокое содержание горючих составляющих в газе (в данном случае ~ в 2 раза больше) говорит о том, что его низшая рабочая теплота сгорания выше, а, значит, он наиболее эффективен при сжигании в доменной печи. В колошниковом газе содержится от 50 до 55 процентов азота (кроме последнего варианта, где содержание N<sub>2</sub>=1...4%), что отрицательно сказывается на экологической ситуации и снижает теплоту сгорания газа.

Кроме вышесказанного можно сделать вывод, что повысив выход колошниковога газа и увеличив его теплоту сгорания, возможна полная замена использования природного газа в котельных агрегатах на ТЭЦ.

## МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПАРА

Кравцов Е.Э. (ТП-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Рассмотрим один из способов решения этой задачи, постепенно приобретающий популярность – утилизация низкопотенциального пара. Рассматриваемый нами процесс утилизации заключается в использовании накопленной в паре тепловой энергии для нужд теплоснабжения производственных объектов и жилого фонда. Для разрешения этих задач разработали и изготовили новые магистральные пароводяные инжекционные теплообменники смесительного типа.

Особенность пароутилизаторов. Разработаны два новых устройства для совершенствования пароводяных инжекционных теплообменников смесительного типа, и получившие название «Пароутилизаторы» УМПЭУ, основное преимущество которых заключается в возможности оперативной регулировки давления в зоне смешения пара с водой.

Так же это достаточно расширяет диапазон использования пароутилизаторов при утилизации низкопотенциального пара за счет расширения допускаемого разброса по расходу нагреваемой воды и снижения потерь напора воды при прохождении через пароутилизатор.

Проще говоря, пароутилизаторы созданы для нагрева потока воды путем инъецирования пара в водяную магистраль. Они могут применяться: в системах отопления взамен бойлерных установок; для нагревания воды в системах горячего водоснабжения; для нагревания исходной воды перед химводоочисткой (замена ПСВ); для нагревания химочищенной воды (замена ПХВ); для утилизации низкопотенциального пара после паровых машин.

Довольно важная особенность в конструкции пароутилизаторов состоит в том, что на их подводящем паропроводе расположено смесительное устройство, которое обеспечивает получение пароводяной смеси с требуемыми параметрами. Эта предварительная подготовка подаваемого пара дает возможность реализации для широкого диапазона расходов, давлений, температур и диаметров трубопроводов. Давление пара при этом может быть ниже на 2 – 4 атмосферы, чем в водяной магистрали системы отопления.

Пароутилизаторы имеют возможность работать на неочищенной воде, имеющей различные взвеси, при этом они не требуют периодической чистки и переработки и обеспечивают стабильность характеристик в процессе длительной эксплуатации. Итак, пароутилизаторы в отличие от бойлеров и своих предшественников практически не требуют обслуживания; при их внедрении становится ненужной система возврата конденсата.

---

\*Руководитель-к.т.н., Пархоменко Д.И.

## ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ СОКРАЩЕНИЯ КОНЕЧНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Крючкова С. И. (ЭНМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Тенденция к постоянному увеличению стоимости энергетических ресурсов и возрастание требований к экологической чистоте объектов ТЭК вызывают необходимость в новых решениях и эффективных технологиях.

К тому же первичные источники энергии, обеспечивающие функционирование мировой экономики, в основном невозобновляемы – природный газ, уголь, нефть, горючие сланцы, торф. Каждый из них характеризуется определенными экологическими и техническими параметрами, преимуществами и рисками, которые дает его использование.

Ввиду ограниченного природного потенциала сдерживание стремительного роста традиционной энергетики становится важнейшей задачей, решение которой к тому же вызывает социальный и экологический эффекты.

Не вызывает сомнения тот факт, что энергоресурсы могут быть использованы более эффективно, и рациональное потребление энергии является весомой альтернативой наращиванию энергетических мощностей. Поэтому увеличение энергопотребления должно сдерживаться всеми приемлемыми с точки зрения экономики мерами.

Наиболее радикальный способ – это сокращение потребления энергии, которого можно достигнуть уменьшением спроса на нее или использованием энергоэффективных технологий. При этом только лишь второй вариант способствует устойчивому развитию и направлен на использование энергоресурсов без снижения уровня жизни.

Анализу и совершенствованию действующих технологий должен быть подвергнут весь цикл преобразования энергии – производство, распределение, использование, поскольку потери энергии происходят на всех этапах ее преобразования, однако стоимость и эффект от их устранения различны.

Энергетика не может и не должна быть ограничена лишь секторами генерирования и транспортировки, на которых традиционно акцентируют внимание.

В сфере конечного потребления зачастую сосредоточены лучшие возможности энергосбережения, обусловленные нарастающей технологической отсталостью отечественных энергоемких отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, высокой степенью изношенности и несовершенства основных фондов, которые с точки зрения эффективности использования энергии не выдерживают никакой критики, расточительством энергии, плохо организованным и не обеспеченным современными средствами учетом и контролем за использованием топлива.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С. В.

Показатели энергетической эффективности – это одни из самых точных индикаторов, которые характеризуют не только технический уровень производства, но и уровень энергетического менеджмента.

Периодически реализуемые в нашей стране мероприятия по повышению энергетической эффективности до сих пор не имеют системного характера и комплексного подхода при их внедрении, направлены в основном на решение текущих проблем и обеспечение бесперебойной работы оборудования, носят поверхностный характер.

Поэтому важен переход от покомпонентной экономии энергии, отдельных технических решений к общей стратегии энергетической эффективности на базе использования современных надежных средств и инструментов, профессионального подхода к разработке и внедрению методов совершенствования энергетической эффективности, включая мониторинг и контроль, учета всех значимых аспектов и взаимосвязей, и интеграции технологий энергетического менеджмента. Ведь любой эффективный механизм управления, контроля и учета, прежде всего, должен быть комплексным, когда в нем органично взаимодействуют экономические, организационные, информационные и технические элементы.

Системный подход позволяет оценить с точки зрения эффективности использования энергии любую производственную деятельность. Устройство системы, техническое состояние энергопотребляющего оборудования зачастую являются причиной чрезмерного потребления энергии.

Переход на энергоэффективный путь развития должен начинаться с энергетического аудита, рекомендации которого необходимо обязательно реализовывать на практике.

Такой инструмент эффективного управления энергопотреблением, как целевой энергетический мониторинг, когда энергия рассматривается как составляющая себестоимости продукции, дает до 10% экономии энергоресурсов и в перспективе позволяет поддерживать энергопотребление на уровне, близком к минимально возможному.

Создание на предприятии системы энергоменеджмента позволяет наилучшим образом организовать процесс принятия управленческих решений для достижения максимальной эффективности использования энергии.

Предприятие, создав и наладив функционирование системы энергетического менеджмента, получает возможность усовершенствовать учет и контроль за использованием энергоресурсов, исключить нерациональное использование энергии, своевременно проводить мероприятия по энерго-сбережению, повысить устойчивость и мобильность предприятия в постоянно изменяющихся условиях внешней среды.

Повышение энергоэффективности интеграцией технологий энергетического менеджмента на сегодня является самой рентабельной стратегией, дающей немедленный результат при обязательной экономии энергоресурсов и осязаемым снижении нагрузки на окружающую среду.

## ТЕПЛОВОЕ ИСПЫТАНИЕ ТУРБИНЫ К-200-130-3 ЛМЗ

Кужелев А.В. (ТЭС-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Одной из ведущих отраслей отечественной экономики является теплоэнергетика. Выработка тепловой и электрической энергии, преимущественно осуществляется на тепловых и атомных электростанциях. Действующие на ТЭС оборудование, практически полностью исчерпало свой ресурс, поэтому предприятия проводят предупредительные плановые ремонты, различные тепловые испытания, с целью выявления критических узлов системы и устранения неполадок. В таблице 1 представлены экспериментальные данные о тепловом испытании турбоагрегата К-200-130-3 ЛМЗ, которые сравнивают с данными типовой энергетической характеристикой (ТЭХ).

Таблица 1- Сравнение показателей работы оборудования, полученных в результате испытаний, с аналогичными показателями в условиях ТЭХ.

№ п/п	Наименование величины	Электрическая нагрузка, МВт							
		140		160		180		200	
		ТЭХ	Эксп.	ТЭХ	Эксп.	ТЭХ	Эксп.	ТЭХ	Эксп.
1	Темпер. пит. воды перед котлом	218	220	225	227	232	232	238	237
2	Температура воды за ПВД-7	218	222	225	228	232	233	238	237
3	Температура воды за ПВД-6	200	198	205	201	211	205	216	208
4	Температура воды за ПВД-5	168	166	173	169	178	170	183	172
5	Температура конденсата за ПНД-4	139	131	145	136	148	140	153	143
6	Температура конденсата за ПНД-3	113	111	117	115	120	118	124	120
7	Температура конденсата за ПНД-2	90	91	93	95	96	99	99	101
8	Температура конденсата за ПНД-1	50	62	51	65	54	68	55	70

Для данной таблицы выполним оценку точности экспериментальных

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

данных. В таблице 2 представлены результаты обработки экспериментальных данных.

Таблица 2- Результаты обработки экспериментальных данных.

№ п/п	Наименование величины	Сред. арифмет.	Сред.квadr. погрешн.	Гран. доверит. интер.	Относит. погрешн.	Результат
1	Темпер. пит. воды перед котлом	229	3,63	11,54	5	229±11,54
2	Температура воды за ПВД-7	230	3,24	10,3	4,48	230±10,3
3	Температура воды за ПВД-6	203	2,2	6,99	3,44	203±6,99
4	Температура воды за ПВД-5	169,25	1,25	3,98	2,35	169,25±3,98
5	Температура конденсата за ПНД-4	137,5	2,55	8,1	5,89	137,5±8,1
6	Температура конденсата за ПНД-3	116	1,96	6,23	5,37	116±6,23
7	Температура конденсата за ПНД-2	96,5	2,22	7,05	7,31	96,5±7,05
8	Температура конденсата за ПНД-1	66,25	1,75	5,57	8,4	66,25±5,57

Расчет границы доверительного интервала выполнялся при условиях, что точность  $p = 0,95$ , а коэффициент Стьюдента  $t_s(4)=3,18$  и  $p = 0,999$ , с коэффициентом Стьюдента более 12. Следовательно, граница доверительного интервала и относительная погрешность возрастут при этом в 4 раза. Учитывая вышесказанное, был выбран наиболее достоверный результат, который достигается при точности  $p=0,95$  и коэффициенте Стьюдента  $t_s(4)=3,18$ . Из расчетов видно, что наибольшая относительная погрешность получена при исследовании температуры конденсата за ПНД-1, что вызвано колебаниями вакуума в конденсаторе, влияющего на температуру конденсата перед ПНД-1.



## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕЧЕЙ ПИРОЛИЗА

Кучерук Д.А.(ТП-07)

Донецкий национальный технический университет

Запроектированные 10-20 и более лет тому назад печи пиролиза морально и физически устаревают, и их реконструкция целесообразна. В первую очередь это относится к печам с горизонтально расположенными змеевиками, которые, как правило, имеют большую длину и, следовательно, большое время пребывания потока в змеевике. Сокращение длины змеевика повышает селективность процесса. Кроме того, реконструкция может быть направлена на повышение гибкости печей по сырью. Наконец, в результате реконструкции повышается термический коэффициент полезного действия печи.

Основным критерием для реконструкции является допустимая температура стенки змеевика в  $90^{\circ}\text{C}$  даже при наличии слоя кокса. Более надежным и кардинальным решением является замена горизонтальных змеевиков на вертикальные. При этом, как правило, стараются сохранять корпус топочной камеры, и тогда длина прямых участков змеевика составляет 3-4 м. В расчете на сумму этилена и пропилена реконструированный змеевик позволяет сократить расход сырья на 13,5-16,0%.

Печи с вертикальными змеевиками также реконструируются. Это относится главным образом к змеевикам, выполненным из труб одного диаметра. Разветвленные змеевики обладают более высокой селективностью по сравнению с однопроходными. Однако переход на змеевик с очень коротким временем реакции и, соответственно, существенно с более высокой температурой пиролиза не всегда возможен без коренного изменения конвекционной зоны. В этом случае целесообразнее строить новые печи. Обычно в конвекционную зону можно добавить очень ограниченное число труб, и за счет этого будет снят дополнительно не слишком много тепла по сравнению с исходным вариантом. Значительное повышение температуры и теплосодержания дымовых газов на выходе из топочной камеры может снизить термический коэффициент полезного действия печи, а для его сохранения либо повышения необходима «переобвязка» потоков. Так, некоторое снижение температуры дымовых газов перед выбросом в дымовую трубу достигается за счет подачи более холодного и неиспаренного сырья. Съем избыточного тепла дымовых газов в интервале  $500-90^{\circ}\text{C}$  возможен за счет «кипящего» водоподогревателя питания.

## ИЗУЧЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛА ТГМ-159/СО ТЭЦ-ПВС НА АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Лукьянова И.О. (ТП-10с)\*

Донецкий национальный технический университет

В этом году на ЗАО «Донецксталь – металлургический завод» «Металлургический комплекс» вводится в эксплуатацию доменная печь №2.

Ее ввод в технический процесс позволяет полностью перевести ТЭЦ-ПВС на сжигание доменного газа. Для обеспечения процесса сжигания необходимо установить вихревые многопоточные горелки, уже установленные на котельном агрегате ТГМ-159/СО. Оценка предлагаемых мероприятий представлена в таблице 1.

Таблица 1-Оценка предлагаемых мероприятий

Параметр	Природный газ	Смесь газов	Доменный газ
себестоимость 1 ГДж тепла	97,8грн	89,62грн	59,78грн
удельный расход топлива	21,79м <sup>3</sup> /час	36,34м <sup>3</sup> /час	232,72м <sup>3</sup> /час
КПД котла	86,84%	85,2%	84,23%

По данным таблицы видно, что при сжигании доменного газа 1ГДж тепла имеет самую низкую себестоимость, но резко возрастает удельный расход топлива и падает КПД котла. Использование природного газа имеет наиболее оптимальные показатели работы котла, однако данный газ обладает слишком высокой ценой для его применения предприятием. Таким образом, наиболее целесообразным является использование смеси газов в соотношении 25% природного газа к 75% доменного газа.

\* Руководитель – д.т.н. Сафонова Е.К.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нестругина О.В. (ЭНМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Использование труб из полимерных материалов в водоснабжении получило широкое распространение, и имеет впечатляющую динамику роста. Эти материалы имеют бесспорные преимущества перед металлическими трубами – отсутствие теплоизоляции, коррозионных явлений, большая пропускная способность, отсутствие зарастания микрофлорой, стойкость к воздействию агрессивных веществ, долговечность, простота монтажа и т.п.

В настоящее время очень актуален вопрос экономии энергоресурсов, это относится и к горячей воде. Трубы, используемые для горячего водоснабжения в Украине на данный момент, способствуют утере большого количества тепла по пути к потребителю (до 13%).

В настоящее время для горячего водоснабжения используют следующие варианты труб:

- Металлические трубы
- Трубы из стеклопластика
- Трубы из полиэтилена
- Изоляция жестким пенополиуретаном

Рассмотрим возможные материалы для замены имеющихся труб, варианты изоляции, и выберем и обоснуем лучший путь по итогам расчетов.

Таблица – Сравнительные характеристики различных вариантов труб

Свойства труб	Варианты труб			
	сталь	стеклопластик	полиэтилен	пенополиуретан
Максимальная температура эксплуатации, °С	450-550	1300-1350	95	160
Плотность, кг / м <sup>3</sup>	7700-7900	1800-2000	910-960	40-70
Теплопроводность, Вт / м · К	64	0,75	0,36-0,43	0,03
Стоимость, грн / м	159	796	170,64	15,26
Срок эксплуатации, лет	10-25	>50	50	25-30

Для наглядности и простоты сравнения между материалами приведем гистограммы для всех категорий характеристик труб (Рисунок а-г).

Срок окупаемости для одного погонного метра:

$$C.O. = \frac{3}{T \cdot \dot{E}},$$

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры промышленная теплоэнергетика С.В. Гридин

где  $Z$  – затраты на мероприятие, грн;  $T$  – тариф на горячую воду; в Донецке составляет 17,58 грн/м<sup>3</sup>;  $\mathcal{E}$  – экономия энергоресурса, %.

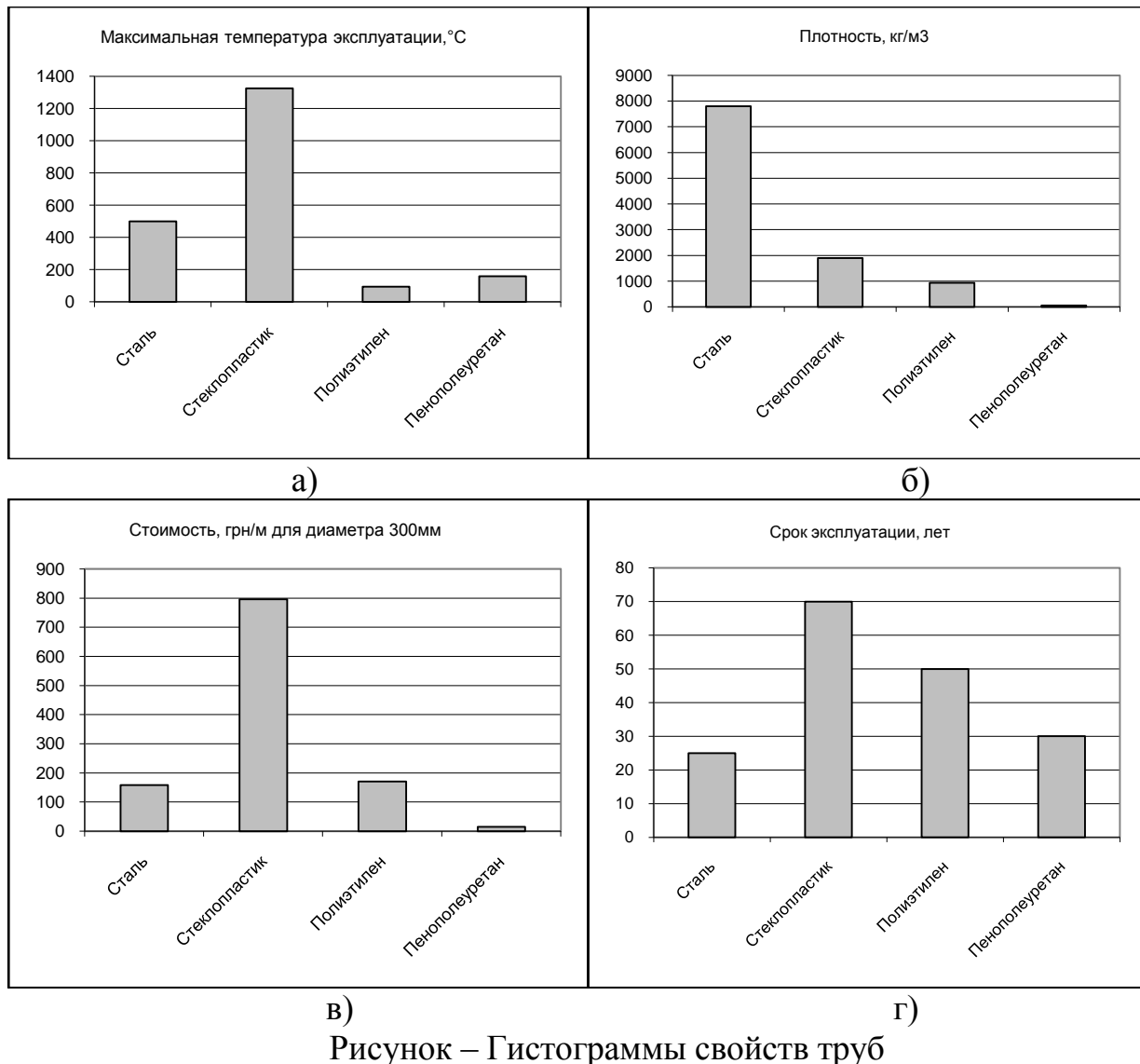


Рисунок – Гистограммы свойств труб

$$\text{Стальные трубы: } CO = \frac{159}{17,58 \cdot (1 - 0,13)} = 10,4 \text{ лет}$$

$$\text{Стеклопластик: } CO = \frac{796}{17,58 \cdot (1 - 0,0015)} = 45,4 \text{ лет}$$

$$\text{Полиэтилен: } CO = \frac{170,64}{17,58 \cdot (1 - 0,0008)} = 9,7 \text{ лет}$$

$$\text{Пенополиуретан: } CO = \frac{15,26}{17,58 \cdot (1 - 0,0017)} = 0,87 \text{ лет}$$

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что наилучший материал для замены труб – стеклопластик, он имеет наибольшую рабочую температуру, наиболее длительный срок эксплуатации, хотя и является наиболее дорогим материалом, имеющим наибольший срок окупаемости.

## СНИЖЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ КОТЛА БКЗ-75-39 на АКХЗ

Остапенко М.Н., Голдынский Г.А. (ТЭС-07)\*  
Донецкий национальный технический университет

На Авдеевском коксохимическом заводе существует проблема низкотемпературной (сернистой) коррозии. Это связано со сжиганием в качестве основного топлива коксового газа. При низкой температуре дымовых газов происходит конденсация содержащегося в них пара на трубах хвостовых поверхностей нагрева котла. В образующихся капельках воды (росе) растворяются имеющиеся в газах окислы серы, в результате чего получаются слабые растворы кислот, интенсивно разъедающие металл.

Решение этой проблемы возможно, если подогревать воздух, поступающий в воздухоподогреватель. Для осуществления этого, нужно установить дополнительный экономайзер, перед второй ступенью основного экономайзера, и дополнительный теплообменник. Вода, циркулирующая между ними, будет забирать (нагреваться) определённое количество тепла у дымовых газов и отдавать (нагревать) его воздуху, который поступает в первую ступень воздухоподогревателя. Циркуляцию воды будет обеспечивать тепловой насос. Осуществив эту схему, мы добьемся уменьшения разности температур воздуха и дымовых газов. Этим мы уменьшим количество образующегося конденсата и соответственно уменьшим шанс возникновения низкотемпературной коррозии.

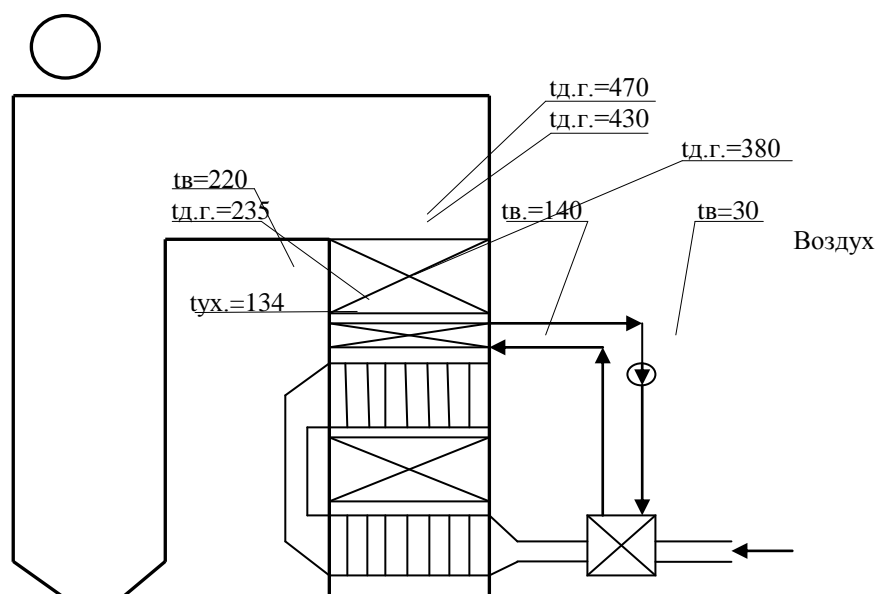


Рисунок – схема котла БКЗ-75-39 с дополнительным теплообменником

Установка дополнительного экономайзера и теплообменника не повлечет изменение температуры дымовых газов на выходе из котла и не повлияет на работу поверхностей нагрева, что подтверждают расчёты.

\*Руководитель – доцент кафедры ФМФ Илющенко В.И.

## СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТОПЛИВА В КОТЛАХ

### ТПП - 312А БЛОКА 300 МВт ЗАПОРОЖСКОЙ ТЭС

Ревко Е.В., Берющева А.С. (ЭНМ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

В условиях высокого износа энергетического оборудования, роста цен на энергоносители, проблема энергосбережения приобретает огромное значение. За последние несколько лет цены на твердое топливо и мазут возросли в 3-5 раза, и составили на 2009 год на уголь ГСШ ухудшенного качества, используемого в качестве основного топлива на Запорожской ТЭС, 574,99 грн/т, а стоимость мазута, используемого для подсветки составила 2700грн/т. В этих условиях даже при относительно высокой стоимости газа 2500 грн за 1000м<sup>3</sup> его использование, как наиболее экологически чистого топлива, оправдано.

Сравнение работы котлов на твердом и газообразном топливе показывает что КПД котла при работе на газообразном топливе превышает КПД котла, работающего на твердом топливе на 5%. Кроме того, работа на газообразном топливе не требует угольных складов и интенсивной очистки от механического уноса, сероочистки, поэтому перевод котла ТПП - 312А на газообразное топливо является целесообразным и выгодным. Работа может осуществляться либо полностью на газообразном топливе либо на пылеугольной смеси. Качественное сжигание можно достичь при обеспечении температурного уровня процесса сжигания топлива.

Топочная камера и горелки при оптимальных избытках воздуха ( $\alpha_{\text{опт}}=1,1$  на газе и  $\alpha_{\text{опт}}=1,17 \div 1,22$  на смеси топлив) обеспечивают устойчивое сжигание газа, газа и твердого топлива с минимальными значениями потерь тепла с химическим недожогом ( $q_3=0,032 \div 0,059\%$ ), с механическим недожогом ( $q_4=0,162 \div 0,514\%$ ) и с уходящими газами ( $q_2=8,416 \div 8,997$ ).

Были рассчитаны калориметрическая, теоретическая и действительная температуры сжигания топлива для определения соответствия состава смеси температурному уровню процесса сжигания топлива для следующих соотношений природного газа и угольной пыли:

- 1 - 15% природного газа + 85% угольной пыли (по тепловыделению).
- 2 - 30% природного газа + 70% угольной пыли (по тепловыделению);
- 3 - 50% природного газа + 50% угольной пыли (по тепловыделению);
- 4 - 100% природного газа;

Результаты расчетов приведены в таблице 1:

\* Руководитель – асс. Безбородов Денис Леонидович

Таблица 1 – Расчет калориметрической, теоретической и действительной температуры сжигания топлива

Температуры °С	№ соотношения газ-топливо			
	1	2	3	4
калориметрическая	2099	2096	2049	1982
теоретическая	1889	1886	1844	1783
действительная	1469	1467	1434	1388

Анализ таблицы 1 показал, что оптимальными являются температуры при содержании 15% газа в угольной пыли по теплу.

Температура отходящих газов блока 300 МВт при сжигании газотопливной смеси находится в пределах  $150 \div 152$  °С, а при сжигании газа она составляет 152 °С.

КПД котла "брутто", рассчитанный при оптимальном избытке воздуха и нагрузках  $200 \div 300$  МВт составил:

Таблица 2 – Расчет КПД котла при % содержании газа по теплу

	№ соотношения газ-топливо			
	1	2	3	4
КПД, %	$88,88 \div 89,45$	$89,05 \div 89,45$	$89,09 \div 89,51$	$90,19 \div 90,81$

Экспериментально установлено, что с повышением нагрузки котла и снижением доли природного газа в смеси, концентрация оксидов азота в уходящих газах с долей газа 15% по тепловыделению возрастает и достигает максимального значения 1386 мг/нм при номинальной нагрузке котла  $N_{эл}=300$  МВт.

Увеличение избытка воздуха в режимном сечении при полной нагрузке котла более 1,25 приводит к прогрессирующему росту оксидов азота в уходящих газах до  $1700$  мг/нм<sup>3</sup>, а снижение избытков воздуха ниже 1,1 приводит к увеличению потерь тепла с химическим недожогом и может вызвать интенсивную газовую коррозию труб экранов нижней радиальной части в зоне горения.

Концентрация диоксида серы в уходящих газах во всем диапазоне нагрузок котла в зависимости от доли природного газа в смеси находится в пределах  $2300 \div 3200$  мг/нм (при содержании серы в твердом топливе  $S^p = 1,25 \div 1,6\%$ ), что не превышает разрешенного значения  $3480$  мг/нм<sup>3</sup>.

Таким образом, для сжигания может быть рекомендован состав 1, соответствующий пылегазовой смеси состава 15% по тепловыделению, обеспечивающий максимальное КПД котла, минимальные выбросы  $NO_x$  и сжигание топлива в среднетемпературной области, при  $\alpha = 1,15 \div 1,25$ , что исключает появ-

ления химического недожога в продуктах сгорания.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ НА БАЗЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

Швец А.С. (ЭНМ-08)

Донецкий национальный технический университет\*

Украина является одной из стран мира, где уровень энергетических затрат чрезвычайно высок. Ее доля в мировом потреблении энергии составляет 1,9%, в то время как население составляет менее 1% от населения Земли. С точки зрения энергетики, неэффективность производства вызвана двумя основными причинами: несбалансированной структурой энергопотребления и нерациональным использованием энергии, а также в ЖКХ.

Существенное улучшение экономических характеристик производства тепловой энергии достигается с помощью теплонасосных установок. Они позволяют получать тепло для горячего водоснабжения и отопления зданий за счет использования тепла почвы, грунтовых артезианских вод, озер, морей и воздуха путем переноса его к теплоносителю с более высокой температурой.

Схематично тепловой насос можно представить в виде системы из трех замкнутых контуров: в первом циркулирует теплоотдатчик (теплоноситель, собирающий тепло окружающей среды), во втором — хладагент (вещество, которое испаряется, отбирая тепло у теплоотдатчика, и впоследствии конденсируется, отдавая тепло теплоприемнику), в третьем — теплоприемник (вода в системах отопления и горячего водоснабжения здания).

Перспективным направлением во внедрении тепловых насосов в системы отопления является использование тепла хозяйственно-бытовых стоков в качестве источника низкотемпературного тепла. Температура стоков непостоянна, колеблется в пределах 18-22<sup>0</sup>С. Новые технологии с применением тепловых насосов дают возможность утилизировать низкопотенциальное тепло стоков и использовать его для отопления зданий КНС. Коэффициент преобразования теплового насоса при температуре стоков 18–22<sup>0</sup>С составляет 5–6, т.е. на 1 кВт·ч затрачиваемой электрической энергии получается 5–6 кВт·ч полезной утилизированной тепловой энергии. При сложившихся на рынке ценах на тепловую и электрическую энергию стоимость тепла, выработанного тепловым насосом, в указанных пределах коэффициента трансформации будет в 2,6 раза ниже стоимости централизованного отопления, в 5–6 раз ниже стоимости электрического.

Применение данной технологии является целесообразным в современных условиях. Она позволит уменьшить потери энергии, т.е. более эффективно использовать энергетические ресурсы, что является особенно актуальным в условиях приближающегося энергетического кризиса.

---

\* Руководитель - доцент, канд. техн. наук Гридин Сергей Васильевич

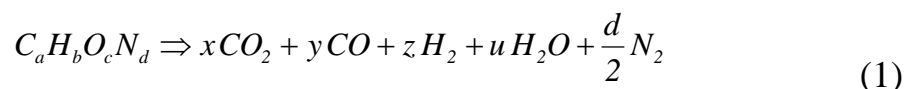


## ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Щипская В.В. (ТП-10М)\*

Донецкий национальный технический университет

Многие процессы, протекающие внутри рабочего пространства теплового агрегата существенно зависят от состава и свойств продуктов горения топлива, поэтому определение состава продуктов горения является важной задачей. В первом приближении расчет состава продуктов горения сводится к отысканию и решению системы уравнений относительно коэффициентов реакции сгорания топлива, которая в общем виде записывается так:



где  $C_a H_b O_c N_d$  - так называемая условная формула топлива;  $a, b, c, d$  - числа грамм-атомов соответствующих элементов в условной молекуле топлива;  $x, y, z, u, d/2$  - числа грамм-молекул соответствующих веществ в продуктах сгорания топлива (коэффициенты реакции). После определения условной формулы топлива, определяют три соотношения для расчета коэффициентов реакции сгорания, представляющие собой уравнения материального баланса реагирующих веществ: баланс по углероду, баланс по водороду, баланс по кислороду. Следует иметь ввиду, что кроме основной реакции горения в газообразных продуктах протекают побочные обратимые реакции, основными из которых являются



и реакции диссоциации.

Для давлений и температур, характерных для тепловых агрегатов константа равновесия реакции (2) настолько велика, что эту реакцию можно считать предельно сдвинутой влево, т.е. не рассматривать при практических расчетах. Реакции диссоциации также не играют существенной роли, так что остается принять во внимание лишь реакцию (3), константа равновесия этой реакции дает дополнительное уравнение, с учетом которого система уравнений для определения коэффициентов реакции горения становится замкнутой:

$$a = x + y, \quad (\text{баланс по углероду})$$

$$b = 2z + 2u, \quad (\text{баланс по водороду})$$

$$c = 2x + y + u, \quad (\text{баланс по кислороду})$$

$$K = \frac{u y}{x z}. \quad (\text{константа равновесия})$$

---

\*Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пяташкин Г.Г.

Величина  $K$  зависит от температуры продуктов сгорания, поэтому решение системы может быть найдено лишь в случае, если известна температура сгорания топлива.

Для решения полученной системы уравнений, как самый оптимальный, был выбран метод Ньютона-Рафсона. Для данного метода необходимым условием сходимости является правильный выбор начальных параметров. Проблема выбора начальных параметров была решена с помощью метода координатного спуска, который заключается в поочередном поиске по каждой из координат минимума функции:

$$F = |x+y-a| + |2z+2u-b| + |2x+y+u-c| + |Kxz-uy|. \quad (4)$$

Алгоритм решения данных задач был реализован на языке программирования Pascal.

Прежде чем приступить к интересующему расчету сгорания на более простом примере был изучен способ составления и решения системы уравнений для определения состава продуктов сгорания. Были рассмотрен случай горения водорода при заданном постоянном давлении, при изменяющейся температуре и при изменяющемся давлении, [табл. 1, табл. 2]

В ходе расчетов были получены зависимости состава продуктов сгорания от давления и температуры, из которых сделан вывод, что температура значительно более резко влияет на состав продуктов сгорания, чем давление.

Таблица 1 – Состав продуктов горения водорода при  $P = 1$  ата

T, K	K	H2O	H2	O2
2500	5,27E-08	0,999999909	0,000000091	0,500000046
2700	1,65E-06	0,999997142	0,000002858	0,500001429
2900	3,21E-05	0,999944405	0,000055595	0,500027797
3100	4,28E-04	0,999259414	0,000740586	0,500370293
3300	4,18E-03	0,992829025	0,007170975	0,503585487
3500	3,15E-02	0,949062944	0,050937056	0,525468523
3700	1,91E-01	0,923499754	0,076500264	0,538249877

Таблица 2 – Состав продуктов сгорания водорода при  $T = 3300$  K

P, ата	K	H2O	H2	O2
1	4,18E-03	0,992829025	0,007170975	0,503585487
2	2,95E-03	0,994924945	0,005075055	0,502537527
3	2,41E-03	0,995848818	0,004151182	0,502075591
4	2,09E-03	0,996397737	0,003602626	0,501801313
5	1,87E-03	0,996774972	0,003225028	0,501612514
6	1,70E-03	0,997067013	0,002932987	0,501466493
7	1,58E-03	0,997273297	0,002726703	0,501363352

Зная состав продуктов сгорания топлива можно моделировать процесс горения, подсчитать основные величины, характеризующие свойства газовой смеси.

## ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Волошина С. В. (ТП-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

Современные технологии часто обращаются к реализации гетерогенных процессов, протекающих между двумя или несколькими неоднородными средами в системах «жидкость – жидкость» и «жидкость – твердое тело». Это процессы массообмена, диспергирования, разделения жидкостей и суспензий, кристаллизации, предотвращения накипеобразования на поверхностях теплообменных аппаратов и трубопроводов, полимеризации и деполимеризации и т.д., а также различные химические и электрохимические реакции.

Технология гидродинамической кавитационной обработки жидких сред применяется для интенсификации и снижения энергоемкости, а также улучшения выходных показателей качества процессов гомогенизации и диспергирования.

Кавитация — образование в жидкости пульсирующих пузырьков (каверн, полостей), заполненных паром, газом или их смесью.

Процесс гидродинамической кавитационной обработки осуществляется в специальном устройстве - пассивном гидродинамическом диспергаторе за счет направленного и регулируемого преобразования потенциальной и кинетической энергии потока жидкости, принудительно прокачиваемой гидравлическим насосом через реакционную камеру диспергатора.

В результате указанных преобразований энергии в специальных зонах гидродинамического диспергатора возникает и поддерживается процесс образования газовых, либо парогазовых кавитационных пузырьков (каверн), которые в последующем при повышении местного гидростатического давления в жидкости закрываются (схлопываются). Закрытие кавитационных пузырьков сопровождается интенсивными ударными волновыми процессами с возникновением локальных зон сверхвысоких давлений и температур.

В процессе точечного ударно-волнового воздействия происходят структурные и молекулярные изменения в сложных молекулах, агломератах и глобулах, изначально присутствующих в перекачиваемой жидкости, разрушение органических и минеральных примесей. Сопровождающие кавитацию процессы тепло- и массопереноса, а также возникающие далее по потоку жидкости струйные течения приводят к интенсивному перемешиванию и диспергированию многокомпонентных несмешиваемых жидкостей и твердых включений с образованием гомогенных и стойких во времени к расслоению тонкодисперсных

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Пяташкин Г.Г.

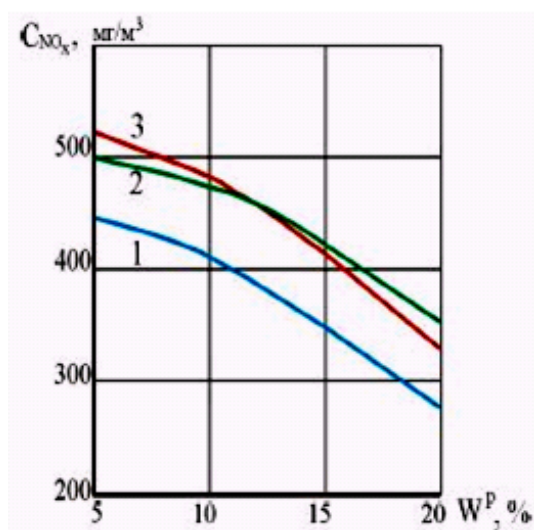
эмульсий и суспензий.

Гидродинамическая кавитационная обработка мазутов может быть осуществлена непосредственно на топливосжигающих объектах с полным использованием штатного оборудования систем циркуляции и нагнетания мазута к горелочным устройствам.

Переход на использование в топливосжигающих установках водомазутных эмульсий (ВМЭ) взамен традиционных мазутов обеспечивает следующие преимущества:

- Существенно упрощается технология и снижаются энергозатраты на подготовку жидкого топлива к сжиганию в топках котлов и бойлеров. Это достигается тем, что из цикла топливоподготовки исключаются операции отстаивания, дренирования и очистки загрязненной нефтепродуктами подтоварной воды. Таким образом, не требуется расходов пара и электроэнергии на длительный прогрев топлива в емкостях хранения, обеспечивающих отстаивание воды.

- Повышается экологическая безопасность котельных установок и надежность работы оборудования. Рационально организованный процесс сжигания ВМЭ позволяет по сравнению со сжиганием неэмульгированного мазута снизить содержание в дымовых газах окислов азота  $\text{NO}_x$  на 20-40%, сажи на 70–80%, оксидов серы на 10 -15 %. Происходит более глубокое выгорание топлива, уменьшаются золые отложения по газовому тракту; повышается надежность работы котельного оборудования. Переход на сжигание ВМЭ всегда приводит к снижению концентраций оксидов азота  $c(\text{NO}_x)$  в продуктах сгорания в широком диапазоне коэффициентов избытка воздуха  $\alpha'$  по сравнению с режимами сжигания неэмульгированного мазута (рисунок). Величина снижения  $\Delta c(\text{NO}_x)$  зависит от влажности ВМЭ и при влажности 10—12% составляет  $\Delta c(\text{NO}_x) = 50\text{—}60 \text{ мг/м}^3$ . Однако если перейти от исходного режима ( $W_p=5\%$ ;  $\alpha'=1,2$ ) к режиму, сочетающему пониженные избытки воздуха ( $\alpha' = 1,10$ ) и работу на ВМЭ с влажностью около 12%, то суммарное снижение концентрации оксидов азота достигает  $140 \text{ мг/м}^3$ . Еще более резкое снижение достигается в режимах с повышенной влажностью ВМЭ ( $W_p=18\text{-}20\%$ ), но это не является базовым решением по технико-экологическим соображениям. Окончательное решение о допустимом влагосодержании водомазутной эмульсии определяется эколого-технико-экономической оптимизацией.



Влияние влажности сжигаемой ВМЭ в паровом котле ТП-170 на концентрации оксидов азота в дымовых газах: 1-  $\alpha' = 1,10$ ; 2-  $\alpha' = 1,15$ ; 3-  $\alpha' = 1,20$

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА В УКРАИНЕ

Идиатулин Ю.Ю. (ЭНМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

В Украине существуют очень благоприятные условия и возможности производства и использования биологического топлива. Выгоден ли такой вид топлива? Об этом можно судить по опыту других стран в которых использование биотоплива обходится значительно дешевле чем традиционное топливо. Биотопливо не загрязняет окружающую среду, что очень важно учитывая критическую экологическую обстановку в стране.

Экономика Украины ежегодно потребляет более 10 млн. тонн светлых нефтепродуктов: 6 – бензинов, 4 – дизельного топлива. Сельское хозяйство Украины сегодня использует 1,8 млн. тонн дизельного топлива и 600–700 тыс. тонн бензина в год. Стоимость затраченных энергоносителей на 30% формирует уровень себестоимости сельскохозяйственной продукции. Последствия использования традиционного жидкого топлива в моторной технике известны: вредные выбросы в атмосферу и ухудшение вследствие этого качества окружающей среды; удорожание всей продукции, производство которой связано в какой-то степени с использованием топлива; повышение уровня энергетической зависимости страны. Украина обеспечивает свои потребности в нефти за счет импорта на 85–90%. Производство и использование экологического биотоплива в сельском хозяйстве даст возможность:

- удешевить производство продукции;
- сделать её более экологичной;
- заменить дорогие в силу их исчерпаемости и экологически небезопасные виды используемого топлива экологически чистыми, безопасными, которые можно получать из ежегодно возобновляемого сырья;
- создать условия для повышения спроса на продукцию сельского хозяйства в качестве сырья для производства топлива, улучшив тем самым экономическое положение сельскохозяйственных производителей;
- повысить уровень энергетической независимости страны;
- изменить ориентацию некоторых отраслей сельского хозяйства с внешнего на внутренний рынок, что снизит уровень риска в соответствующем бизнесе;
- в значительной степени улучшить кормовую базу животноводства;
- улучшить состояние окружающей среды и выполнить положения Закона Украины от 4 февраля 2004 года „О ратификации Киотского протокола к Рамковой Конвенции ООН об изменении климата”.

В нашей стране основной культурой, масло из которой может использоваться для производства биодизеля, является рапс. Он развивается на почвах, на которых не растет никакая другая культура, неприхотлив и прост в уходе и обработке. Хотя, как высокотехническая культура рапс требует соответствующей подготовки почвы. Рентабельность выращивания рапса на семена достигает 400–500%. В случае переработки масла семян рапса на биодизель, рентабельность его выращивания вырастает на порядок, что позволяет предположить, что налаживание в стране комплексной цепи по производству биодизеля позволило бы в значительной степени повысить уровень экономики села. С точки зрения агрономической, рапсу, как предшественнику, нет равных, особенно для зерновых, в частности озимой пшеницы.

---

\* Руководитель - доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Гридин С.В.

## ВОМОЖНОСТЬ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО ШАХТНОГО ВОЗДУХА

Баранов А.В., Лещенко С.Ю. (ЭНМ-10м)  
Донецкий национальный технический университет

В связи с сильной зависимостью Украина от импорта основных энергоресурсов – нефти и газа (удовлетворение потребностей за счет собственных запасов менее чем на 50%), особо актуальными становятся вопросы энергосбережения и использования нетрадиционных, в том числе и вторичных источников энергии.

По данным ООН, экологи, проанализировав пробы воздуха, взятые по всей Украине, подсчитали, что на одного жителя приходится до 120 килограммов вредных выбросов в год. Две трети всех вредных выбросов приходится на восточную Украину, где допустимые нормы загрязнения атмосферного воздуха превышены минимум в девять раз. Самый значительный вклад в ухудшение экологии Украины вносит Донбасс. Плотность выбросов пыли и газов на 1м<sup>2</sup> в этом районе в шесть раз больше, чем в среднем по Украине. Преобладают такие вредные вещества, как оксид углерода, сернистый ангидрид, пыль и лёгкие органические соединения.

Источником такого масштабного загрязнения воздуха являются предприятия энергетики, теплоэлектростанции, поскольку многие из них слабо оснащены системами очистки пылегазовых выбросов. Мелкие котельные, промышленные и отопительные печи размещаются в зонах с высокой концентрацией населения, на них отсутствуют технические средства для полного сжигания топлива. Тем самым наносится огромный вред экологии Украины, а из-за нерационального расходования энергоресурсов - и энергетической стабильности страны.

Основными органическими энергоносителями Украины являются каменный и бурый уголь. Ресурсная база каменного угля составляет 94,5%, бурого — 5,5%.

По общим оценкам, недра Украины могут содержать до 300 млрд.т угля. Если, по данным западных экспертов, мировых запасов традиционной нефти и газа хватит на 80-90 лет, угля — на 350 лет, то отечественных запасов угля хватит на 400 лет. В связи с этим современную угольную энергетику рассматривают как приоритетную отрасль энергетики, а уголь - как основной энергоресурс Украины, о чем и свидетельствует наличие большого количества шахт.

В соответствии с технологическими условиями и для соблюдения норм загазованности в шахтных стволах и в забоях применяются вентиляторы для продувки и выноса шахтного воздуха на поверхность. Относительно высокая и постоянная, вне зависимости от сезона, температура этого воздуха – до +25 °С, делает его привле-

котельным источником энергосбережения. Количество извлекаемого шахтного воздуха составляет тысячи тонн в секунду. В связи с тем, что данный воздух проходит сквозь угольные пласты, он насыщается шахтным газом – метаном, в процентном соотношении до 1% к общему количеству воздуха.

В данной работе рассматривается возможность утилизации и повторного использования отработанного шахтного воздуха для нужд шахтной котельной, расположенной в непосредственной близости от вентиляционного ствола.

Для сокращения расходов на топливные ресурсы можно рассматривать следующие варианты применения шахтного воздуха в условиях нестабильной ценовой политики как на мировом, так и внутреннем украинском энергетическом рынке:

а) подогревать питательную воду перед её подачей в систему теплоснабжения, а также воду, используемую для горячего водоснабжения;

б) использовать тёплый шахтный воздух для интенсификации горения топлива (непосредственно в топке котла);

в) экономить топливо за счёт содержащегося в шахтном воздухе метана.

Для осуществления данных энергосберегающих мероприятий необходимо провести следующие работы:

- 1) монтаж системы гибкого воздуховода от шахтного вентилятора до котельной;
- 2) выбор и установка теплообменника, в котором отработанный шахтный воздух подогревает воду, идущую на подпитку системы отопления и горячего водоснабжения;
- 3) обеспечение доступа шахтного воздуха непосредственно к горелкам котлов.

Шахтная котельная, на базе которой можно внедрить данный проект, является отопительной, состоит из трёх котлов ДКВР 10-13 (первое число после наименования котла обозначает паропроизводительность, т/ч; второе - давление пара в барабане котла, кгс/см<sup>2</sup>). Постоянно работают два котла; расход природного газа составляет 1105 м<sup>3</sup>/ч; температура шахтного воздуха перед теплообменником составляет +24 градуса Цельсия.

Для осуществления мероприятий необходимо:

1. выбрать теплообменник, для чего необходимо определить расходы воды и воздуха через него, а также его тепловую мощность. Итоговый объёмный расход воздуха составил  $V_{\text{воз}}=19,6\text{ м}^3/\text{с}$ ; тепловая мощность  $N=22680\text{ Дж/с}$ . На основании полученных данных выбираем пластинчатый теплообменник ТР1  $N\leq 0,1\text{ Гкал/час}$ , стоимость мероприятия составляет 2700 грн.;

2. выбрать воздуховод, учитывая расстояние от шахтного вентилятора до котельной (100 м). С учётом расхода воздуха через него выбираем гибкий тер-

моизолированный воздухопровод ISODEC диаметром  $d = 508$  мм. Цена воздухопровода – 560 грн/10 м, соответственно, стоимость 100 – метрового воздухопровода составит 5600 грн;

3. выбрать вентилятор для обеспечения отвода необходимого количества воздуха от потока главного шахтного вентилятора. Необходимый расход воздуха составляет  $19,6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для обеспечения такого расхода выбираем вентилятор AR 1000 DG AXIAL FAN, максимальный расход равен  $25 \text{ м}^3/\text{с}$ , потребляемая мощность – 5,5 кВт, годовой расход на электроэнергию – 26500 грн. Стоимость вентилятора – 53000 грн.

Экономический эффект достигается за счёт подогрева питательной воды, поступающей в котёл. Вода, поступающая в котёл для восполнения потерь воды в сети, имеет среднегодовую температуру  $+10$  градусов по Цельсию. При этом:

- при подогреве воды на 10 градусов относительная экономия топлива составит: 1,54%;
- экономия при использовании шахтного воздуха для горения топлива составляет: 1,5%;
- экономия топлива за счёт содержащегося в шахтном воздухе метана позволяет снизить количество сжигаемого в топке котлов природного газа на 9,7%.

В итоге, суммарная экономия топлива может составить (при годовом расходе природного газа в шахтной котельной равной 20 млн.  $\text{м}^3$ ):

$$V_{\text{эк}} = 20 \cdot (1 - (1 - 0,0154) \cdot (1 - 0,015) \cdot (1 - 0,097)) = 2,485 \text{ млн } \text{м}^3.$$

В 2010 г. для предприятий Донецкой области природный газ отпускался по цене 2200 грн/1000  $\text{м}^3$ . Следовательно, экономический эффект от проведенных мероприятий составит 5,467 млн. грн. (без учёта годовой стоимости обслуживания новых агрегатов).

Затраты на проведение всех мероприятий составляют 858200 грн. Описанные мероприятия являются средnezатратными и высокоэффективными, поскольку окупаются в течении одного года.

Таким образом, вышеизложенный вариант частичной утилизации шахтного воздуха с использованием его тепла для нужд котельной комплексно отвечает на целый ряд вопросов:

- экономических: экономия топлива (природного газа), сокращение потребления природных ресурсов путём рационализации потребления топлива;
- экологических: при экономии исчерпаемого вида топлива – природного газа уменьшается негативное воздействие на окружающую среду, в том числе и от значительного выброса подогретого воздуха в атмосферу;
- социальных: соблюдение полного комплекса мер направленных на безопасность здоровья и жизнедеятельности человека.



## ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ.ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.

Сноведский И.И. (ЭНМ-07)\*  
Донецкий национальный технический университет

Сама концепция тепловых насосов была разработана еще в 1852 году выдающимся британским физиком и инженером Уильямом Томпсоном (лордом Кельвином).

Тепловой насос — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (то есть с низкой температурой) к потребителю с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос представляет собой обращённую холодильную машину. Эффект изменения температуры теплоносителя осуществляется изменением давления при прохождении его через компрессор и дроссельную заслонку.

Данное техническое приспособление я считаю перспективным исходя из 2-х его особенностей:

1) Тепловой насос использует электрическую энергию на много эффективнее любых котлов, которые сжигают топливо. Показателем эффективности работы теплового насоса является коэффициент преобразования тепла (КПТ), также это понятие называется коэффициентом трансформации тепла, мощности, преобразования температур. Он показывает отношение получаемого тепла к затраченной энергии. К примеру, КПТ = 4,5 означает, что номинальная (потребляемая) мощность теплового насоса составляет 1 кВт, на выходе мы получим 4,5 кВт тепловой мощности. Для современных насосов эта величина составляет от 4 до 6.

2) Тепловые насосы открывают самую возможность использования низкопотенциального тепла. То есть то тепло, которое выбрасывается либо просто не используется может быть полезно применено. Если учесть, что то самое тепло мы получаем путём сжигания органического топлива (запасы которого весьма ограничены), вопрос наиболее рационального отбора и использования тепла становится все актуальнее.

Учитывая современную ситуацию на рынке теплогенерирующего оборудования, установка тепловых насосов частным бытовым потребителям является неперспективной и экономически необоснованной. Однако имеются широкие перспективы внедрения тепловых насосов в промышленности и в коммунальных хозяйствах. Так что дальнейшие разработки, детальные исследования и внедрение ТН будет способствовать большей рационализации процессов использования тепла и сможет поднять их энергоэффективность на новый уровень.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Гридин С.В.

## ЭНЕРГОАВТОНОМНЫЕ ЭКОДОМА

Внуков В.В. (ЭНМ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Учёные всего мира не дремлют. Днём и ночью идёт кропотливый мыслительный процесс, оплотом которого являются проблемы создания альтернативных источников энергии. Стоит сказать, что за последние тридцать лет мировая наука в этом направлении достигла определённых положительных результатов. Конечно, решать глобальные энергетические вопросы альтернативные источники энергии пока не в состоянии, но локальные энергетические потребности компенсировать вполне могут. Например, альтернативная энергетика нашла широкое применение при строительстве энергоавтономных экодомов.

Давайте посмотрим, как строится традиционный кирпичным дом, и как распределяются расходы при строительстве. Планово-экономическая служба любого проектного института вам расскажет, что на возведение несущих конструкций затрачивается 20 % расходов, на отделочные работы – 70 % и на возведение инженерных систем жизнеобеспечения - порядка 10 %. Последний пункт выглядит не очень затратно на общем фоне, однако именно инженерные системы при эксплуатации дома имеют наибольшее значение для жильцов. И ломаются они часто, и квартплата платится в основном за их обслуживание и стоимость ресурсов, которые перемещаются по ним до потребителя. В концепции экодомов авторы исключили такой традиционный элемент, как внешние инженерные коммуникации. Тем самым они избавили жильцов от необходимости вносить ежемесячную оплату за использования электричества и тепла, а также от неприятных контактов с работниками службы ЖКХ при поломке оборудования.

Стоит рассмотреть подробнее, каким образом разработчикам удалось обойтись без централизованных систем канализации, отопления, водоснабжения, вентиляции и электроснабжения.

Наибольшее значение имеют система электроснабжения. В экодомах она решена путём четырёх альтернативных систем получения энергии. Во-первых, это установка «солнечных батарей» из фотоэлектрических панелей, которые крепятся на крышах. Днём батареи вырабатывают энергию. Часть энергии расходуется, а часть остаётся в аккумуляторных батареях для ночных нужд.

Во-вторых, путём установки солнечных коллекторов. Это специальные

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Гридин С.В.

приспособления, которые способны захватывать энергию солнца исключительно физическим путём, передавать её циркулирующей жидкости, которая в свою очередь способна нагревать бак с водой в доме. Есть два вида солнечных коллекторов – плоский и вакуумный. Второй вид очень эффективен в зимнее время. Солнечные коллекторы относятся к системе пассивного отопления дома. Не происходит ровным счетом никаких дополнительных действий со стороны хозяев. Просто изначально архитекторы спроектировали дом так, что конструктивные элементы здания способны самостоятельно улавливать энергию солнечного света.

В-третьих, возле экодомов могут устанавливаться ветроэнергетические установки. Они эффективны в регионах, где круглогодично наблюдаются ветра определенной силы и интенсивности. Поэтому в тихих и умеренных местах ветрогенераторы используются меньше.

В-четвертых, возле экодомов могут устанавливаться миниГЭС, конечно, если рядом течёт речушка или ручеёк. Энергии от такой установки вполне хватит, чтобы подсветить иллюминацию на приусадебном участке или фонарь над мостиком через речку.

Не менее значима канализационная система дома. В экодоме в этом вопросе сплошные преимущества. Обычно стоки отводятся от дома в очистные сооружения, там подвергаются химической и механической обработке, после чего сбрасываются в реки, а затем вновь к нам в водопроводный кран. В общем, ужас! В экодоме стоки не накапливаются. Специальные бактерии, которые запускаются в соответствующий резервуар, способны полностью уничтожить стоки и превратить их в отличное органическое удобрение. Оно потом пригодится на приусадебном участке.

Вопросы вентиляции решаются в экодоме сами по себе. Во-первых, стены в экодоме дышащие. А, во-вторых, в качестве приточной вентиляции отлично работает открытая форточка.

Вопросы отопления в экодоме также решаются самостоятельно. Стены состоят из материалов, которые обладают максимальными теплоизоляционными свойствами (прессованные блоки из соломы и прочее). Опыт показывает, что даже в лютый мороз будет достаточно забросить в камин два полена или включить хороший калорифер. Тёплый воздух в доме появиться способен, а вот улетучиться нет.

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ



## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОНОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБОРОТНЫХ ВОД

Белый Р.О. (зр. МФ-07)\*

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Развитие металлургического производства на современном этапе происходит с непрерывным возрастанием объема воды, используемой на технологические нужды. Поскольку вопросы охраны окружающей среды, а именно, водных ресурсов на данном этапе стоят очень остро, то на предприятиях все большее распространение получают системы с использованием оборотной воды замкнутого водоснабжения. Многократное использование промышленной воды без специальной обработки вызывает солеотложения в трубопроводах и коррозию оборудования, что отрицательно сказывается на работе оборудования, требует частых ремонтов, а иногда является причиной аварии на предприятиях.

Для стабилизации оборотных вод использовали фосфорсодержащие комплексоны: ОЭДФ (оксиэтилидендифосфоновая кислота), НТФ (нитрилтриметилфосфоновая кислота), ДПФ-1Н – фосфанол (тетраметил-фосфоновая кислота).

Перечисленные комплексоны обладают способностью переводить оксиды металлов в истинно растворимое состояние, что исключает образование взвеси в оборотной воде. Они образуют прочные комплексные соединения как со щелочными, щелочноземельными металлами, так и с катионами переходных и легкогидролизующихся элементов. Вследствие этого не образуются осадки карбонатных солей и в оборотной воде отсутствуют свободные ионы железа и других элементов.

Скорость коррозии и солеотложений определяли гравиметрическим методом по изменению массы образцов до испытаний и после выдерживания в специально подготовленных растворах, моделирующих составы промышленных оборотных вод. Исследованию подвергались образцы конструкционных сталей Ст.3, Ст.10, Ст.45.

Наиболее перспективным с точки зрения эффективности защиты трубопроводов от коррозии и отсутствия токсичности является комплексон ДПФ – 1Н (фосфанол). Высокий защитный эффект достигается при концентрациях 10 мг/л и составляет 98 – 99%.

По эффективности ингибирования процессов коррозии и солеотложения комплексоны можно расположить в ряд: ДПФ -1Н > ОЭДФ > НТФ.

Методом ядерно-магнитного резонанса на приборе РЯ 23-05 с частотой 100 МГц было установлено, что комплексоны термически устойчивы до 220°C, распад их начинается при температурах выше 220°C в нейтральных и слабоосновных средах.

---

\* Рук. Масленко С.Н.

# ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Богуш Е.И. (ЭКМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В связи с применением на металлургических печах высококачественных огнеупорных материалов, новых конструкций холодильных плит последнего поколения и других современных технических решений системы охлаждения также совершенствуются и модернизируются.

В настоящее время для охлаждения теплонагруженных элементов металлургических печей как в Украине, так и за рубежом предпочтение отдается в основном следующим трем системам охлаждения, это:

- охлаждение проточной технической водой;
- испарительное охлаждение (с естественной и принудительной циркуляцией);
- охлаждение химически очищенной водой (ХОВ) в замкнутом контуре с использованием теплообменников.

При водяном охлаждении отвод теплоты от водоохлаждаемых элементов производится холодной проточной водой. При этом расход воды должен обеспечить, по возможности, безнакипный режим. Данное условие трудно выполнимо, так как техническая вода содержит накипеобразователи, которые при нагреве воды выпадают на стенках деталей, препятствуя отводу от них тепла.

Каждая из названных систем имеет свои преимущества и недостатки, что касается обеспечения качества охлаждения, а также их экономичности и эффективности.

Все больше получает распространение система испарительного охлаждения металлургических печей (доменных, мартеновских, электроплавильных, нагревательных и вагранок), разработанная д-ром техн. наук проф. С. М. Андоньевым. При испарительном охлаждении тепло от нагретых элементов печи отводится водой, нагревающейся до образования пароводяной эмульсии. При этом используется скрытая теплота парообразования, т. е. тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение. В холодильники печи подается вода, освобожденная от солей жесткости и лишенная коррозионных свойств. Получаемый пар используется на технологические нужды завода.

Данная система представляет собой комбинацию двух функционально независимых систем: традиционное испарительное охлаждение с естественной циркуляцией для холодильников шахты (первый контур) и принудительная циркуляция холодной химически очищенной для охлаждения холодильников нижней зоны и труб подлещадного охлаждения (второй контур), которые объединены общей системой утилизации тепла нагретой воды для подогрева воздуха, идущего для горения газа в доменных воздухонагревателях.

---

\* Руководитель – профессор, к.т.н., декан ФТФ Клягин Г.С.

Система теплоиспользования состоит из водовоздушного теплообменника (калорифера), пароводяных теплообменников (бойлеров) и водоводяных теплообменников. Калориферы используются в качестве теплообменников, в которых за счет тепла нагретой воды охлаждаемых элементов нижней зоны и тепла конденсации пара системы испарительного охлаждения холодильников шахты нагревается воздух, идущий для горения газа в воздухонагревателях.

СИО используют для охлаждения элементов печей цветной металлургии. В печах кипящего слоя охлаждают стояки отходящих газов (для предварительного охлаждения газов), кессоны для отвода теплоты от слоя; в отражательных – рамы завалочных окон, пятовые балки, шибера. Кессоны, шахты, свода и пода фьюминговой печи; в конвертерах – напыльники; в печи рудно-термической плавки - закладные элементы кладки стен печи, приэлектродные зоны свода печи, загрузочные течи и т.д.

Преимущество испарительного охлаждения состоит в том, что:

- обеспечивается надежность работы печи и сокращаются ее простои для ремонта охлаждаемых деталей;
- используется тепло охлаждающей среды в виде пара;
- уменьшаются в три раза объем сооружений и мощность системы водоснабжения;
- для отвода тепла от охлаждаемых деталей используется скрытая теплота парообразования, отвод тепла осуществляется в результате образования и отвода пара. При этом 1 литр воды отводит около 600 Ккал тепла, вместо 10 – 20 Ккал при водяном охлаждении;
- за счет использования хим.очищенной деаэрированной воды сокращается не менее, чем в 60 раз расход технической воды, исключается накипеобразование в охлаждаемых деталях, отпадает необходимость в периодической промывке холодильных плит, сокращаются текущие простои и ремонты металлургического агрегата;
- вода необходима на охлаждение деталей лишь нижнего строения металлургических печей, т. е. требуется примерно 30% ее общего расхода при водяном охлаждении;
- за счет естественной циркуляции исключается зависимость системы испарительного охлаждения от источников электропитания;
- благодаря наличию определенного объема воды в барабане-сепараторе система может работать без подпитки определенное время, достаточное для устранения возможных неисправностей или перебоев в системе подачи питательной воды;
- возможно строительство менее мощных насосных станций технической воды, градирен, брызгальных бассейнов и трубопроводов меньших диаметров, т. к. для резервирования СИО тех.вода требуется в меньших количествах;
- возможна утилизация тепла в виде насыщенного пара;

## **БРИКЕТИРОВАНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

Данилова Ю. С. (ЭКМ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Черная металлургия, как один из основных источников загрязнения окружающей среды, нуждается во внедрении более рациональных и экологически чистых технологий, которые позволят комплексно использовать не только природное сырье, но и отходы производства.

На сегодня одним из универсальных способов подготовки железосодержащих отходов является процесс брикетирования. Брикетирование – это получение смеси с добавкой и без добавки связующих веществ, с последующим прессованием ее в куски нужного размера и формы.

В качестве шихты для металлургического брикета используются различные отходы производств: шламы газоочисток, пыль аспирационных установок, коксовая мелочь, отсеvy флюсующих компонентов (известняка, доломита), прокатная окалина, стальная и чугунная стружки, а также первородные мелкофракционные и тонкодисперсные железные руды.

С точки зрения технологии и экономики производства, брикетирование имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами окускования, поэтому при дальнейшем развитии вполне может заменить агломерационное производство. Брикетные фабрики по сравнению с агломерационными являются более компактными и высокопроизводительными, практически не нуждаются в энергетических ресурсах и не загрязняют окружающую среду. Брикеты в отличие от агломерата:

- имеют правильную одинаковую форму и более высокий удельный вес;
- в меньшем объеме содержат больше металла;
- обладают более высокой прочностью и лучшей транспортабельностью;
- экономически более выгодны (их себестоимость на 20-28% ниже).

Брикеты используются в качестве шихты для доменного и сталеплавильного производства. В доменном переделе они позволяют уменьшать расход железорудного сырья и кокса. В сталеплавильном – дают возможность организовать рециклинг цинксодеждающих отходов, с последующим накоплением цинка и продажей его предприятиям цветной металлургии.

Внедрение брикетного производства – это рациональное и экономически выгодное решение для тех заводов Украины, где нет собственных агломерационных фабрик. Оно является перспективной областью, развитие которой позволит снизить стоимость продукции и значительно улучшить экологическую обстановку, за счет утилизации накопленных отходов и отказа от устаревших технологий.

### **ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ**

---

\* Руководитель – к.т.н., снс кафедры РТП Перистый М. М.



## ПІДГОТОВЦІ І ВИКОРИСТАННІ ФЛЮСІВ В МЕТАЛУРГІЇ

Панченко К.І. (ЕКМ-07)\*

Донецький національний технічний університет

Особливу проблему екологічної безпеки при виробництві чорних металів представляє видобуток і підготовка сировинних матеріалів. Одним з важливих компонентів шихти агломераційного, доменного, сталеплавильних виробництв є основні флюси – вапняк і продукт його випалу вапно, що виробляється як на металургійних, так і на флюсодобуваючих підприємствах.

У зв'язку зі зростанням об'єму виробництва металургійної продукції зростає і потреба в сировині, у тому числі і у флюсах.

Видобуток і підготовка цих матеріалів до металургійного переділу значною мірою впливають на навколишнє природне середовище. При цьому особливу проблему представляють порушення земної поверхні кар'єрними виїмками, відвалами розкритих скельних порід і відходів збагачення.

Величезний вплив на атмосферу роблять пилогазові викиди від різних операцій видобутку і збагачення. Основними способами боротьби з пиловиділенням є гідрознепилення і сухе пиловловлювання.

Дії флюсодобуваючих підприємств піддається і гідросфера. Тому особлива увага повинна надаватися знешкодженню кар'єрних stokів і стічних вод дробильно-збагачувальних фабрик за рахунок створення замкнених циклів водопостачання.

Складнощі, пов'язані з дією на навколишнє середовище, виникають при подальшій переробці вапняків на металургійних підприємствах. Відходи, які містять у складі вапно, що утворюються при цьому, не знаходять повного застосування в суміжних галузях промисловості і тому, часто, вивозяться у відвали. Упровадження технологій утилізації цих відходів в металургійному виробництві дозволить поліпшити екологічну ситуацію, а також понизити необхідність в здобичі матеріалів флюсів.

Таким чином, не дивлячись на упровадження природоохоронних заходів, негативний вплив флюсодобуваючих і металургійних підприємств на навколишнє середовище залишається досить високим. При цьому основною причиною такої ситуації є недостатньо ефективна існуюча технологія утилізації і знешкодження відходів, що утворюються та характеризуються різними фізико-хімічними властивостями. Тому з метою підвищення екологічної безпеки даного виробництва необхідно розробити комплексні заходи щодо знешкодження відходів, що утворюються на всіх стадіях підготовки і використання флюсів, а також по їх повній утилізації в різних галузях народного господарства, що дозволить виключити їх накопичення.

---

\* Керівник – канд. техн. наук., с.н.с. Перістий М.М.

## ФТОРОАММОНИЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

Пихотенко А. П. (МЦ-10), Мезенцева Е. В. (аспирант)\*  
Запорожская государственная инженерная академия

В последнее время принимает все большее развитие переработка минерального сырья фторидными методами. Ещё недавно фториды использовались в основном в атомной промышленности в производстве гексафторида урана, в настоящее время крупнейшей областью использования фторидных технологий является производство фторполимеров. Широкое внедрение фторидных технологий в промышленность возможно только с развитием концепции замкнутого фторидного цикла, где фториды будут являться реагентом, в среде которых проходит химический процесс, но расход их будет исключён. В основе фтороаммонийного цикла лежит возможность регенерации фторирующего агента. Использование фторидов аммония позволит вовлечь в химический передел сложновскрываемые, спекшиеся силикатные породы и шлаки многих производств. Возможность полной регенерации фторидов аммония, предопределяет высокие экономические показатели технологии. Развитие процессов фторирования идет по пути совершенствования реакций с участием фтора, фтористого водорода и фтористоводородной кислоты, применения разнообразных методов физической активации реакций фтора и газообразных фторидов.

В работе рассматривается применение гидрофторида аммония ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) в качестве фторирующего реагента. Гидрофторид аммония отличается тем, что в обычных условиях представляет собой твердое вещество, плавящееся при низкой температуре и обладающее довольно высокой реакционной способностью, которая может превосходить свойственную безводному фтористому водороду и фтористоводородной кислоте. Применяемый фторирующий реагент и побочные продукты реакций легко восстанавливаются с отсутствием твердых, жидких и газообразных отходов, что позволяет многократно использовать их в технологических процессах с полной гарантией экологической безопасности окружающей среды. Эксперименты по проверке фторидной технологии переработки алюмосиликатов проводили на примере каолина Положского месторождения Запорожской области. Исследован каолин состава (%):  $\text{SiO}_2$  – 44,74;  $\text{TiO}_2$  – 0,83;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 37,4;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,06;  $\text{MgO}$  – 0,47;  $\text{CaO}$  1,28;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,37; ППП – 14,05. Спекание осуществлялось при 170...220 °С. Пиролиз с получением глинозема производился в температурном интервале 350...700 °С, сублимация с "сухим" разделением соединений алюминия и кремния - при 350...400 °С. Получение аморфного кремнезема проводился путем гидролиза гексафторси-

---

\* Руководители – д.т.н., профессор, академик АИН Украины, зав. каф. металлургии цветных металлов Червонный И. Ф., к.т.н., профессор, зав. НИСа ЗГИА Насекан Ю. П.

ликата аммония в водно-щелочном растворе при 30...90 °С при pH 8...9. Прокаливание аморфного кремнезема и кальцинация глинозема выполнялись в муфельных электропечах при 700...1100 °С. Из глинозема методом электролитического восстановления можно получать первичный алюминий, а из кремнезема - поликристаллический кремний.

Степень превращения каолина по объему выделившегося аммиака и по массе полученного спека соответственно равна 95,59 и 95,88 %. Это свидетельствует о высокой степени превращения каолина по фторидной технологии, однако спекание проводилось без перемешивания смеси, что возможно снизило результаты. Сквозная степень извлечения  $\text{SiO}_2$  из каолина в наших экспериментах составила от 84,8 до 94,8 %. Потери  $\text{SiO}_2$  связаны с потерями во время спекания, полнотой сублимации и полнотой отмывки  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Получаемый продукт обладает высокой степенью чистоты (98,23 %) согласно протокола анализа № 130 от 07.06.2010 проведенного аналитической лабораторией Государственного научно-исследовательского и проектного института титана. Степень извлечения  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из каолина составила 84,8 %.

По итогам проведенных экспериментов было разработано аппаратное оформление основных стадий технологической схемы получения диоксида кремния и оксида алюминия из каолина Положского месторождения.

В технологический процесс включены следующие операции: обескремнивание, спекание, утилизация гексафторосиликата аммония методом десублимации, а так же регенерация фторирующего агента - бифторида аммония. Основными достоинствами данной схемы являются:

- в процессе обескремнивания каолина выделяется гексафторосиликат аммония, который также является товарным продуктом.

- также аммиачным гидролизом каолина можно получить  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$  из которого выделяют особо чистый оксид кремния сорта «белая сажа», широко используемый в различных областях промышленности и микроэлектроники.

экологичность производства: в процессе переработки каолина по данной схеме удается избежать образования ядовитого газа  $\text{SiF}_4$ , который требует специальных условий переработки;

- возможность регенерации фторирующего агента, что существенно снижает затраты производства;

Предлагаемая высокоэффективная технология получения диоксида кремния и оксида алюминия позволит получать готовые продукты - с содержанием в них не менее 95 % масс полезного компонента, с достаточно низкой себестоимостью. При комплексной переработке каолинов предложенная технология фторидной металлургии может конкурировать с широко применяемым процессом получения глинозема из бокситовых руд способом Байера. Новый метод также подходит для извлечения глинозема из низкокачественных высококремнистых бокситов и алюмосиликатных пород (анортозитов, нефелиновых сиенитов, сынныритов и др.).

## СОКРАЩЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Понька Н.А. (ЭКМ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

На предприятиях черной металлургии проводятся организационно-технические мероприятия, направленные на рациональное расходование воды и уменьшение сброса сточных вод в водоемы, а также осуществляется строительство очистных и других сооружений с целью предотвращения загрязнения природных вод.

Основными источниками образования загрязненных сточных вод являются газоочистки доменных и мартеновских печей, конвертеров, электросталеплавильных печей, а также станы горячей прокатки.

Т.к. большинство металлургических предприятий расположено в регионах, имеющих ограниченный дебит источников водоснабжения, единственным технически приемлемым и экономически целесообразным решением является оборотное водоснабжение, без сброса сточных вод и, в первую очередь, загрязненных. Новая техника в области использования водных ресурсов может быть подразделена на три сферы применения:

- новая техника в сфере привлечения для водообеспечения нетрадиционных источников: обессоленных морских, шахтных и подземных минерализованных вод, использование деминерализованных коллекторно-дренажных вод в орошаемом земледелии и др. промышленных и животноводческих стоков;

- создание высокоэффективных очистных и охлаждающих устройств для широкого внедрения оборотных, замкнутых и бессточных систем водоснабжения, снижающих потребление свежей воды и, в конечном итоге, исключающих сброс каких-либо загрязнений в водоемы;

- изменение технологического оборудования, отдельных процессов и целых производств, позволяющих снизить объем водопотребления и водоотведения, т.е. создание и внедрение водосберегающих технологий.

Основным источником производственного водоснабжения должны являться очищенные производственные и городские сточные воды, а также поверхностный сток с территории предприятия. Несмотря на важность создания замкнутых бессточных систем водного хозяйства, наиболее радикальным и перспективным является внедрение маловодной и безводной технологии. Это такие технологические процессы, применение которых позволяет значительно сократить потребление воды, количество сточных вод и степень их загрязненности, либо полностью исключить применение воды и образование сточных вод.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Перистый М.М.

## ЭФФЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

С.В. Ткаченко (ЭКМ-07)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время современные процессы и технологическое оборудование позволяют чёрной металлургии мира производить около 1,35 млрд. т стали в год. Львиную долю (96%) этого объёма производят по классической схеме: производство – кокса, агломерата, чугуна, стали, проката. Вместе с колоссальным объёмом производства готовой металлопродукции, в окружающую среду попадает громадная масса загрязняющих веществ.

Наибольшая доля вредных выбросов принадлежит доменному и сопряжённым с ним производствам кокса и агломерата. Одним из вариантов кардинальной экологизации производства черных металлов, является использование внедоменных процессов получения металла. Следовательно, в регионах, лишённых возможности производить кокс, единственной возможностью получать первичный металл является применение способов прямой металлизации железа. При этом выбор способа получения металла зависит от конкретных условий наличие и качество руд, энергетические ресурсы, запасы и вид твёрдого топлива, ассортимент металла и требуемые объёмы производства и пр. Основным преимуществом бескоксовой металлургии железа, над ущербной, в экологическом отношении, классической схемой является то, что некоторые передовые заводы, использующие технологии прямого получения железа, являются практически безопасными для окружающей среды. Это преимущество является одним из основных, а в будущем может явиться решающим в борьбе двух схем производства первичного металла, для производства стали. Важной особенностью металлургии железа является то, что из первородного металла, удаётся получать сталь с очень высокими служебными характеристиками (прочность, пластичность и др.). Глубоких, исчерпывающих объяснений этому явлению всетаки не предложено. Чаще всего основную причину повышения качества стали видят в том, что металлизированные материалы, в отличие от металлического лома, практически не содержат нежелательных примесей, и особенно – цветных металлов. В этом смысле говорят о "первородных свойствах" металлизированных материалов или "первородной шихте", подчёркивая, что губчатое железо не прошло ранее стадию металлургического переплава, не содержит наряду с "загрязненными" металлами, растворенные в железе газы и неметаллические включения. Следовательно продукты прямой металлизации железа, могут стать качественным и экологичным в производстве заменителем металлического лома.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

## ПІДГОТОВКА ДОМЕННОГО ГАЗУ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ

Товщик Н.О.(ЕКМ-10 м) \*

Донецький національний технічний університет

Відомо, що доменний газ має велику енергетичну цінність, але для того щоб подальше його використання стало можливим необхідно відділити від нього колошниковий пил, який також має високу сировинну цінність і може використовуватися у виробництві.

У зв'язку з великим вмістом в доменному газі (ДГ) СО (до 32%) його повсюдно використовують як паливо. Кількість хімічного тепла ДГ у загальному балансі вторинних енергоресурсів на багатьох підприємствах досягає 80%. Крім хімічного тепла, фізичне тепло ДГ може скласти в загальному балансі 2-3% .

В даний час для очищення ДГ як джерела ВЕР застосовують мокрі газоочистки з використанням труб Вентурі, мокрих скрубєрів, дезінтеграторів. На жаль, мокра газоочистка знижує ефективність застосування ДГ як джерела ВЕР. За рахунок насичення газу водяними парами його теплота згоряння знижується на 25 - 30%; фізичне тепло повністю втрачається з водяними парами; застосування газової утилізаційної безкомпресорної турбіни (ГУБТ) через наявність водяної пари і низької ефективності очищення газів від пилу дуже проблематично. У зв'язку з цим актуальним є питання переведення доменних печей з мокрої газоочистки на суху.

Перші результати роботи газоочисток підтвердили високу економічну та екологічну ефективність використання сухого способу очищення ДГ. Сухе очищення дозволить:

- отримати стабільну і ефективну роботу ГУБТ для вироблення електроенергії, тому що концентрація пилу в доменному газі зменшується до 2-3 мг/м<sup>3</sup>, що збільшує термін служби повітрянагрівачів, а також підвищує продуктивність ГУБТ на 30% і стійкість лопаток ГУБТ - до 1 року;

- збільшити використання ВМР у зв'язку з виключенням утворення шламу;

- виключити з виробництва використання води для мокрих газоочисток, у зв'язку з чим виключаються або скорочуються обсяги будівництва ряду об'єктів водного господарства доменної печі: шламової перекачувальної станції газоочистки, відстійників і флокулятору шламу, насосної станції перекачування пульпи, циркуляційної насосної станції оборотного циклу газоочистки та ін.;

- підвищити температуру нагрівання доменного дуття і використовувати фізичне тепло доменного газу, тому що температура газу після сухого очищення на 50-70 °С вище, ніж при використанні мокрої газоочистки; вологість газу знижується на 50-60 г/мі, що в сукупності рівноцінно збільшення калорійності доменного газу на 50-60 ккал / м<sup>3</sup>;

На основі закордонного досвіду пропонується технологічна схема газоочи-

---

\* Керівник – к.т.н., доц., зав. каф. РТП Кочура В.В.

стки для знепилювання колошникових газів сухим методом, яка складається з послідовно з'єднаних пиловловлювача, дросельної групи, відсічних клапанів, рукавного фільтру, ГУБТ і регулятора тиску.

Принцип роботи системи сухого очищення доменного газу заснований на проходженні доменного газу через фільтруючі елементи секцій рукавного фільтра.

На жаль, через високий тиск газу застосувати наявні схеми регенерації зворотної продувкою або імпульсом стисненого повітря не представляється можливим. Тому для такої газоочистки потрібна установка ГУБТ. За рахунок комбінації з перепадами тиску до і після ГУБТ є можливість проводити регенерацію фільтру очищеним колошниковим газом.

Для регенерації фільтрувальних елементів використовується імпульсна продувка стисненим повітрям через швидкодіючі продувні клапани.

Ефективність знепилювання газів в фільтрі залежить від дисперсності частинок пилу, характеристик фільтрувального полотна, способу і режиму регенерації, величини питомого навантаження, гідравлічного опору апарату.

Фільтри оснащені високоефективною і надійною системою регенерації стисненим повітрям із застосуванням швидкодіючих продувних клапанів. Робота установки повністю автоматизована.

Фільтр складається з корпусу і механічного устаткування. Корпус є несучою конструкцією. Він розділений на камери чистого і брудного газу горизонтальними перегородками - рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів. Фільтрувальні рукави розміщуються в камері брудного газу.

Верхня частина камери чистого газу обладнана зйомними кришками, що забезпечують доступ до рукавів при проведенні технічного обслуговування. Камера брудного газу являє собою єдину секцію без перегородок.

Камера чистого газу розділена на секції вертикальними перегородками по числу відсічних клапанів (у разі оснащення фільтра відсічними клапанами). Вихід чистого газу - загальний.

Нижню частину корпусу фільтру становлять пірамідальні або щілинні бункера, що закінчуються фланцями для установки шлюзових живильників або гвинтових конвеєрів. Також можлива установка системи пневмотранспорту уловленого пилу і системи пневмопилеоброблення, що накопичується в бункері пилу.

Застосування варіанту технології очищення доменного газу сухим способом за допомогою рукавного фільтру істотно знижує негативний вплив на навколишнє середовище, який дає використання технології очищення доменного газу мокрим способом. У результаті впровадження технології сухого очищення доменного газу за допомогою рукавного фільтру істотно знижується негативний вплив доменного виробництва на рослинний і тваринний світ та здоров'я людей, а також поліпшується екологічна обстановка на заводі у зв'язку з більш якісним очищенням газу від пилу і усуненням шламового господарства.

## СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИНОВ И ФУРАНОВ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДОГРЕВА ЛОМА

М. Г. Толкачёва (ЭКМ-10м)\*

Донецкий национальный технический университет

В нашем регионе предприятия чёрной металлургии являются одними из основных источников загрязнения атмосферы вредными веществами. Самыми токсичными соединениями, попадающими в окружающую среду за счет антропогенных источников, к которым относятся черная металлургия, являются диоксины.

Электросталеплавильные цеха, являются интенсивными источниками выделения диоксинов. Они образуются в результате неполного сгорания органических веществ (при температуре 200-800 °С, наиболее интенсивно при 300-600 °С), в условиях недостатка кислорода и в присутствии атомов хлора и брома. Их образование происходит при подогреве металлолома, в котором присутствуют различные краски, пластмассы, изолированные кабели и т. д.

Первичным мероприятием по предупреждению образования диоксинов/фуранов является создание условий оптимального сжигания углеводородов и их соединений. Для этого должна быть обеспечена температура не ниже 850 °С во всех зонах подогрева металлолома, достаточная продолжительность протекания реакций и оптимальное соотношение кислорода с продуктами горения.

Технология дожигания диоксинов/фуранов в отходящих газах не решает проблему их образования, так как при охлаждении газов имеет место процесс вторичного образования этих вредных веществ, так называемый «Новосинтез». Поэтому актуальными являются новые мероприятия по устранению их образования.

Таким мероприятием может быть предварительный подогрев металлолома в шахтной электропечи, который включает следующее:

1) комбинированный подогрев металлолома по высоте шахтной печи: в нижней части шахтного подогревателя – теплом отходящих газов; в средней и верхних частях, где температура падает ниже 800 °С, подогрев следует вести путем ввода дополнительного тепла от внешнего источника энергии.

2) ввод дополнительного тепла в шахтный подогреватель должен осуществляться системой газо-кислородных горелок, для уменьшения объема отходящих газов следует избегать применение газо-воздушных систем горелок.

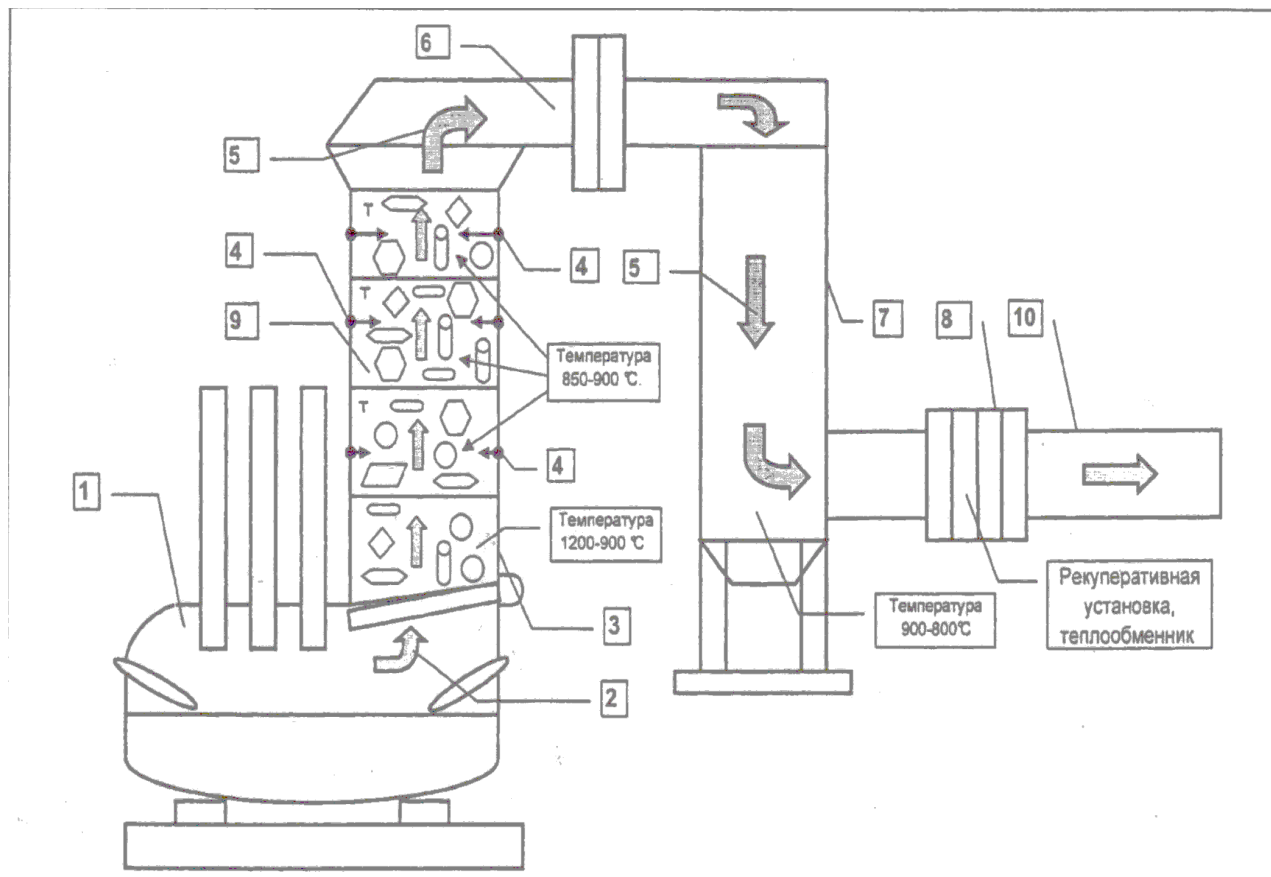
3) для полного сгорания органических и неорганических примесей, содержащихся в металлоломе, система горелок шахтного подогревателя в начале подогрева должна работать на полной мощности при небольшом избытке кислорода, во всех зонах шахтного подогревателя температура отходящих газов должна быть 850-900 °С.

---

\* Руководитель – доцент кафедры РТП Перистый М. М.



4) отходящие газы благодаря высокой температуре не требуют дополнительной термической обработке в камере дожигания, они подводятся в камеру реакции и осаждения крупной фракции пыли, где происходит окончательное догорание летучих углеводородов и диоксинов/фуранов. В нижней части камеры необходимо установить циклон для сбора крупных фракций пыли и частиц металла.



1 - ДСП; 2 – отходящие газы ДСП; 3 – шахтный нагреватель; 4 – система горелок; 5 – отходящие газы шахтного нагревателя; 6 – переходная часть; 7 – камера реакции и осаждения пыли; 8 – recuperative установка, теплообменник; 9 – столб подогреваемого металлолома; 10 – газоотводящий тракт

Рисунок – Комбинированный процесс предварительного подогрева лома на основе шахтного подогревателя

Таким образом, комбинированный процесс подогрева металлолома способствует полному сгоранию органических примесей и предотвращает образование диоксинов и фуранов в концентрациях, превышающих допустимые нормы, позволяет сократить расход электроэнергии и продолжительность плавки, уменьшить выделение вредных веществ в окружающую среду.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА

Халаимова И.В. (ЭКМ-10м)\*  
Донецкий национальный технический университет

Одним из способов экологизации коксохимического производства является повышение качества кокса. При исследовании качества кокса важную роль играет прочность кокса.

В настоящее время используют следующую характеристику прочности металлургического кокса: горячую прочность, то есть прочность кокса после реакции с диоксидом углерода при 1100 °С. Показатель горячей прочности *CSR* более точно определяет качество кокса, поскольку характеризует его поведение в доменной печи при высоких температурах в процессе выплавки чугуна. С повышением значений показателя *CSR* уменьшается разрушение кокса в печи, улучшается проницаемость для газов и жидкостей в зоне плавления доменной печи, повышается производительность, снижаются выбросы вредных веществ и т.д.

В лабораторных условиях на ОАО "Авдеевский коксохимический завод" было изучено влияние гранулометрического состава кокса на «горячую» прочность. Для исследований использован металлургический кокс, полученный из шихты одинакового состава при постоянном технологическом режиме при следующих параметрах:

- качество шихты:  $W^r = 8,2\%$ ,  $A^d = 8,4\%$ ,  $V^{dat} = 28,6\%$ ,  $y = 15,0$  мм;
- содержание класса  $< 3$  мм = 80 %;
- температура в контрольных отопительных каналах: м.с. = 1286°С, к.с. = 1327°С;
- период коксования = 15,00 ч.

Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица – Прочность металлургического кокса *CSR* (%) по классам

Опыт	Прочность металлургического кокса <i>CSR</i> (%) по классам, мм			
	> 80	60 – 80	40 – 60	25 – 40
1	46,9	51,3	56,1	58,6
2	44,4	52,8	58,3	60,7
Среднее	45,7	52,1	57,2	59,7

Использование углей с благоприятными (низкой основностью) свойствами золы позволяет значительно повысить в целом показатель *CSR* кокса. Напротив, снижение *CSR* кокса в основном связано с использованием углей высокой основностью золы и низким выходом летучих.

На рисунке приведена зависимость «горячей» прочности кокса от его гра-

\* Руководитель – к.т.н., доц. Кочура В.В.

нулометрического состава.

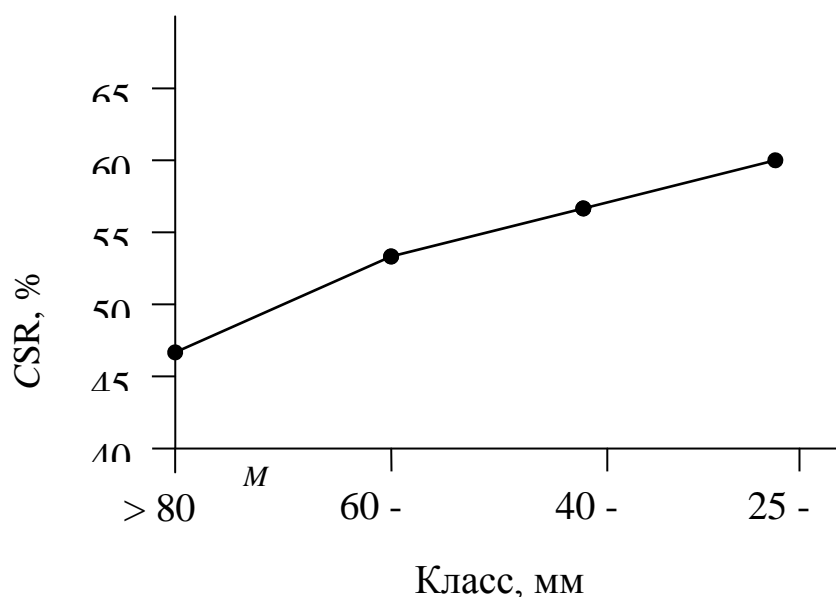


Рисунок – Зависимость показателя горячей прочности *CSR* от класса крупности кокса

Установлено, что кокс с пониженным показателем *CSR* содержит минеральный компонент, химически неактивный по отношению к диоксиду углерода, и легче разрушается в барабане для определения *CSR*. Что касается снижения показателя *CSR* вне зависимости от реакционной способности *CRI*, то оно обычно идентифицируется с накоплением таких инертных составляющих, как коксовая мелочь, антрацит, нефтяной кокс и включения кварца. Некоторые зарубежные заводы используют до 70% австралийских углей в шихте, несмотря на их высокую стоимость, получая кокс с  $CSR = 70\%$ .

Показатель *CSR* за рубежом стал наиболее важным оценочным параметром качества. Для высокой производительности печей и снижения расхода восстановителей следует нормативный показатель *CSR* исходного кокса установить на уровне  $\geq 60\%$ .

Решающее влияние на достижение требуемых нормативов показателя *CSR* кокса на европейских заводах оказал подбор состава угольной шихты. Значения *CSR* кокса зависят как от категории углей, свойств минеральных составляющих угольной шихты, так и от условий коксования. Например, установлено, что получение кокса с  $CSR > 65\%$  связано с необходимостью сокращения доли более дешевых газовых и слабоспекающихся углей в шихте для коксования.

Таким образом, горячую прочность металлургического кокса, определяемую по реакции углерода кокса с  $CO_2$  при температуре  $1100^\circ C$ , рассматривают как один из основных показателей качества при использовании кокса в доменной печи.

## УТИЛІЗАЦІЯ ЛОМУ ОЦИНКОВАНОЇ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ХЛОРУВАННЯ

К.А.Більдій (ЕКМ 10с) \*

Донецький національний технічний університет

Лом продовжує залишатися найбільш економічною складовою шихти. У загальній структурі собівартості сталі частка сталевого лому складає 8-15 %. В результаті використання металевого лому при виробництві сталі значно скорочується витрата первинних сировинних (залізорудних) матеріалів і палива (кокс, природний газ), скорочуються викиди парникових газів. Переробка (рециклінг) лому необхідна з економічної і екологічної точок зору.

Для боротьби з оцинкованим ломом за кордоном була запропонована технологія хлорування оцинкованого лому сумішшю повітря і хлору при температурі 800° С. Тоді як цинк піддається дії хлорування з утворенням летючого хлориду цинку, окислення заліза забезпечує утворення захисного оксидного шару, який протистоїть дії хлору і, отже, утворенню хлоридів заліза. Це дозволяє отримати новий і дешевий спосіб утилізації лому оцинкованої сталі для чорної металургії і пов'язаних з нею інших галузей промисловості.

Переваги процесу хлорування оцинкованого лому сумішшю повітря і хлора полягають в наступному: хлор є дешевим і доступним, летючі хлориди легко відділяються; забезпечується оптимальна поверхня зіткнення між газом і ломом, і, отже, ефективно вилучення цинку за короткий час; а також потрібен менший об'єм підготовчих робіт.

Основним недоліком застосування хлора є його токсичність і корозійна дія.

Хлорування лому оцинкованої сталі ґрунтується на виборчому хлоруванні цинку замість заліза. Тоді як цинк піддається хлоруванню з утворенням летючого хлориду цинку, окислення заліза забезпечує утворення захисного оксидного шару, який протистоїть дії хлору. З погляду термодинаміки оксид заліза є стабільнішим, ніж оксид цинку.

Після хлорування хлориди кольорових металів можуть бути виділені із сталі за рахунок випаровування. Вони можуть конденсуватися виходячи з різних точок кипіння –  $ZnCl_2$  (732 °С),  $PbCl_2$  (950 °С),  $CdCl_2$  (772 °С). Очищення хлоридів для отримання  $ZnCl_2$  (водного розчину) може бути досягнуте за рахунок цементації. Потім здійснюється електроліз водного розчину хлористого цинку для отримання чистого цинку і газоподібного хлора.

Після видалення цинкового покриття утворення оксидів заліза створює поверхню, що пасивує, яка захищає сталь, що знаходиться під нею, від подальшої дії на неї хлора. Було підтверджено, що оксидом заліза, що утворюється, є гематит і магнетит, що володіють ефективними захисними властивостями.

---

\* Керівник – ст. викл. кафедри РТП Кравченко О.В.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ПАО «МАШЗАВОД «БУРАН»

Федорова В.В. (ЕКМ 10с)\*

Донецький національний технічний університет

Ливарне виробництво ПАО «Машзавод «Буран» спеціалізується на випуску чавунних, сталевих і алюмінієвих ливарних заготовок. До складу ливарного цеху входять плавильне та модельне відділення газифікованих моделей, модельне відділення дерев'яних моделей, обрубне відділення. Виплавка стали і чавуну здійснюється в індукційних печах ІСТ-0.25, ІСТ-0.4.

Для формування використовують пісок, дерев'яні моделі (для відливання на плацу) і газифіковані моделі з пінополістиролу (для відливань з алюмінію). Сталеві ливники обрізуються газорізальним апаратом, що працює на пропан-бутані і кисні, чавунні – обрубуються уручну. А сталеві заготовки очищаються від горілої землі в дробоструминній камері, чавунні – в галтувальному барабані.

В результаті основної діяльності підприємства утворюються наступні види відходів: нафтопродукти (відпрацьовані масла), промаслений пісок і ганчір'я, золошлаки, зола вугільна, лом чорних металів, стружка металева, огарки електродів, відходи деревини, відпрацьовані формувальні суміші, шлак плавки чавуну, шлак плавки алюмінію, пил від пилоочисних установок.

Після аналізу стану утворення, обліку, утилізації і переробки відходів на підприємстві нами рекомендується проведення наступних заходів:

- розробити по кожному місцю організованого накопичення відходів (вторинної сировини) інструкції по забезпеченню їх зберігання відповідно до технічних, санітарних і екологічних нормативів;
- вести облік і контроль за освітою, руху і утилізації відходів;
- забезпечити передачу вторинної сировини.

Також пропонуються наступні заходи щодо утилізації промислових відходів на ПАО «МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД «БУРАН»:

- металобрухт і стружку використовувати як шихту для металургійних агрегатів.
- промаслений пісок і ганчір'я передавати на утилізацію сторонньої організації.
- зношені автомобільні покришки утилізувати методом спалювання в печах (теплотворна здатність ~ 30000 кДж/кг). Це тимчасове рішення не вимагає капітальних витрат і дозволяє заощадити природне паливо. Проте при цьому паливні установки мають бути обладнані пилоочисними установками, оскільки при згоранні автомобільних покришок в атмосферу може виділятися велика кількість сажі.

---

\* Керівник – ст. викл. кафедри РТП Кравченко О.В.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ НА УЧАСТКЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПУТ НА ЗАО «ДМЗ»

Голикова Ю.С. (ЕКМ-07ф)\*

Донецкий национальный технический университет

На современных металлургических заводах в условиях интенсификации технологических процессов, сопровождающихся значительными пыле- и газо-выделениями, предъявляют повышенные требования к газоочистному оборудованию.

На ДМЗ используется трехступенчатая система газоочистки, которая в процессе эксплуатации установки приготовления ПУТ совершенствовалась в сторону повышения надежности оборудования и снижения вредных выбросов в атмосферу.

В качестве третьей ступени газоочистки используется рукавный фильтр.

Фильтрация промышленных запыленных газов и аспирационного воздуха в тканевых фильтрах является радикальным техническим решением для достижения эффективного пылеулавливания при относительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах.

Недостатком рукавного фильтра с импульсной регенерацией, является то, что регенерацию осуществляют без отключения регенерируемой секции фильтра и продувочным импульсам сжатого газа приходится преодолевать напор тягодутьевого устройства фильтра.

В предлагаемой конструкции запыленный газ через трубопровод поступает в корпус фильтра, где очищается через фильтровальные рукава, закрепленные на трубной плите, и выбрасывается в атмосферу. При достижении максимально допустимого гидравлического сопротивления фильтра производится его регенерация. Для этого закрывают отсечной клапан и давление в фильтре уравнивается с атмосферным. Затем открывают атмосферный клапан и через патрубок корпус фильтра сообщается с атмосферой. После этого на 0,1–0,5 с открывают быстродействующий клапан и сжатый воздух из ресивера по раздающему коллектору через сопла поступает в диффузор. При попадании в рукава сжатого воздуха в них инжектируется воздух из атмосферы и внутри рукавов создается избыточное давление, вызывающее отделение осевшей на их внешней поверхности пыли. После проведения регенерации фильтра атмосферный клапан закрывают и открывают отсечной клапан. Таким образом, применение предлагаемого фильтра позволяет повысить эффективность регенерации фильтра за счет увеличения инжекционного эффекта подсоса атмосферного воздуха внутрь рукавов при продувочном импульсе. Кроме того, расположение раздающего сжатого воздуха с соплами снаружи корпуса фильтра упрощает его конструкцию, снижает металлоемкость и повышает удобство обслуживания аппарата.

---

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция «МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА»

1. Липунов С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТЕРМ.....	5
2. Мирончик М.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОКСОВОГО ОРЕШКА В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ .....	7
3. Мирончик М.В. ПОЛУЧЕНИЕ И КАЧЕСТВО КОКСОВОГО ОРЕШКА НА ЗАО «ДМЗ».....	8
4. Парахин Р.А. СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ПО ФРАКЦИОННОМУ СОСТАВУ.....	9
5. Семаков В.В. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ».....	10
6. Борцова М.А. О ПРИМЕНЕНИИ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ.....	12
7. Бердников Е.В. ОЦЕНКА И СТАБИЛИЗАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ .....	13
8. Смоленский В.А. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДОЗИРОВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ВДУВАНИИ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ.....	14

### Секция «МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ»

1. Абрамова О.С. КОНТРОЛЬ ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА.....	16
2. Бендіч А.В. НЕКОТОРЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПАРЕНИЯ МЫШЬЯКА, СЕРЫ И ФОСФОРА ИЗ ЧУГУНА ПРИ ЕГО ВАКУУМИРОВАНИИ.....	17
3. Барановский В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ОТСЕЧКИ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА ЭЛЕМЕНТАМИ ПОПЛАВКОВОГО ТИПА ПРИ ВЫПУСКЕ СТАЛИ.....	19
4. Барановский В.А. УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОТСЕЧКИ ШЛАКА ПРИ ВЫПУСКЕ ИЗ КОНВЕРТЕРА.....	20
5. Верзилов А.П. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕТЕКАНИЯ СТАЛИ ЧЕРЕЗ СТАЛЕПРОВОДЯЩИЙ КАНАЛ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАКАНОВ.....	21
6. Горбачова М.В. СТАБІЛІЗАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ.....	22
7. Машнина Е.В. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОСФОРА НА ПЛОТНОСТЬ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗА.....	23
8. Чернушевіч Я.Д. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТАЛУ В КОНВЕРТЕРНІЙ ВАННІ ПІД ЧАС ПРОДУВКИ.....	25

9. Шабловский А.В. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СОВРЕМЕННЫМ ШЛАКООБРАЗУЮЩИМ СМЕСЯМ ДЛЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА.....	26
10. Куркурин А.Э., Лизун А.Ю., Пильгаев Р.В. УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОДУВКИ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕЙ ГАЗА.....	28
11. Лизун А. Ю. Пильгаев Р.В. Куркурин А. Е. ВПЛИВ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ БРУХТУ НА МАСОПЕРЕНОС У КОНВЕРТОРІ.....	29
12. Пильгаев Р.В. Куркурин А. Е. Лизун А. Ю. ВПЛИВ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ МЕТАЛОБРУХТУ НА ЙОГО РОЗПОДІЛ ПРИ ЗАВАЛЦІ.....	30

### **Секция «ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»**

1. Лавренко С.М. ВПЛИВ ГЛИБИННОЇ ОБРОБКИ РОЗПЛАВІВ ПЛАЗМОРЕАГЕНТНИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ .....	33
2. Богущев А.П. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА В МЕДИ, ПРИ НАГРЕВЕ ДУГОВОЙ ПЛАЗМОЙ.....	35
3. Скачок О.Е. ЗМІНА ВМІСТУ ВОДНЮ В ЛАТУНІ ЛЦ40С ПРИ ПЛАЗМОВО-ІНДУКЦІЙНІЙ ПЛАВЦІ.....	38
4. Белая Л., Листопад Д.А. ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ТИТАНАТІВ.....	40
5. Тищенко А.П. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПЕЧИ С ПОДОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ.....	42
6. Лучкова А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГУБЧАТОГО ТИТАНА.....	44
7. Баландин Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ НА СТЕПЕНЬ УСВОЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	46
8. Бондаренко М. Ю. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ И ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ.....	48
9. Зинченко А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ КЭШП.....	50
10. Когтев С.А. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА КИНЕТИКУ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ СТАЛИ.....	52
11. Омельченко В.В. CARBOTHERMIC REDUCTION OF ALUMINIUM AND SILICON OXIDE MIXTURE.....	54



## **Секция «ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»**

1. Езеикебуру Ч. У. АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ НИГЕРИИ.....57
2. Колесник А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВОВ СИСЕМЫ Ni-Cr В ТИГЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПЕЧАХ.....59
3. Остапенко В. В. ПОЛУЧЕНИЕ БРОНЗОВЫХ СЛИТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭШП В ГРАФИТОВОМ ТИГЛЕ.....61
4. Рязанцев И.В. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ БРОНЗЫ В ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ.....63

## **Секция «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ»**

1. Колупаева И. В. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ДИСКОМ И МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАЛИБРОВОК.....66
2. Волков А.Г. ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ НА СТАДИИ НЕПОЛНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ.....68
3. Гайдук Р.Е. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПРОКАТКИ КРУГЛЫХ ПРОФИЛЕЙ ДИАМЕТРОМ 150 ММ НА ТЗС «900/750-3» ОАО ДМКД .....70
4. Холодный А.А., Дворников С.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ.....72
5. Демченко Д.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ В ЛИНИИ МНЛЗ С ЦИКЛИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРОМ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЖАТИЯ .....73
6. Красенков С. Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ “РОМБИЧНОСТЬ”.....75
7. Красенков С. Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ.....77
8. Перогив А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ НА ПОПЕРЕЧНУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ТОЛСТЫХ ПОЛОС .....79
9. Петров И.В. СОЗДАНИЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТА

НА БАЗЕ СТАНА 150 ЗАО ММЗ И РАСШИРЕНИЕ СОРТАМЕНТА СТАНА .....	81
10. Семенова И.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ВЫНУЖДЕННОЕ УШИРЕНИЕ РАСКАТОВ ДЕФОРМАЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ И ПАРАМЕТРОВ ЯЩЕЧНЫХ КАЛИБРОВ.....	83
11. Семенова О.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ОБЖАТИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА.....	85
12. Шум В.Б., Игнатков Р.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА В ПРЯМОУГОЛИНЫХ КАЛИБРАХ ПО НОВОЙ СХЕМЕ.....	87
13. Волошин О.М. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТРУБ МАЛИХ РОЗМІРІВ (МІКРОТРУБ) .....	89
14. П'ятак Г.М. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕЖУ ТЕКУЧОСТІ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ.....	91

**Секция «ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ  
И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ»**

1. Бродина М. С. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АЗОТОМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА ПЕРЕД ОТПУСКОМ...	94
2. Воропаева М.В. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕДИ.....	95
3. Горобчук Ю.В. РЕНТГЕНСТРУКТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БОРОВАНОГО ШАРУ СТАЛІ 20.....	97
4. Григоренко Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА ЛАТУНЬ - СТАЛЬ ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ЗАЛИВКИ .....	98
5. Желтобрюх Л.О. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА НОВЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГИДРАВЛИКИ ШАХТНОЙ КРЕПИ...	100
6. Крейда О.В. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АРМАТУРЫ ИЗ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ПОДКИСЛЕННЫХ СРЕДАХ ....	102
7. Красников Ю.Д. РАЗРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРЕСМОТРА СТАНДАРТА ПО МЕТОДУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ.....	104
7. Поляк Н.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦИНКОВОГО ПОРОШКА.....	106
8. Вислогузова Е.А. О НЕСТАНДАРТНОМ ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА	

ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ.....	107
9. Мельниченко Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕДИ .....	108
8. Максакова А.А. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРОВОЛОКИ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ОБЛУЧЕНИИ.....	109
9. Морозова О.Г. КАРБОНИТРАЦИЯ СТАЛИ 25Х2МФ.....	110
10. Мосисса Д.Б., Сидько В.А.ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОПЛАМЕННОГО НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ.....	111
11. Перькова К.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕДИ МАРКИ М06 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ РКУП И УГП.....	112
12. Ганжа Е.С. ВЛИЯНИЕ СФЕРОИДИЗИРУЮЩЕГО ОТЖИГА ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 40Х СЕЛЕКТ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТИЗОВ.....	114
13. Колчина Ю.С. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКЕ И ПРИ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.....	115
14. Чуйкина С.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ,ПРОИЗВОДСТВА «ДМЗ».....	117
15. Кучер И.А. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО СОРТОВОГО ПРОКАТА.....	118
16. Артеменко Т.А.ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ НАПЫЛЕННОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ИЗДЕЛИЯ ....	120
17. Бодакова М.Г., Пылева И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ГШО.....	121
18. Приймачук Ю.В. , Рыбакова Д.С. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ МОНТАЖЕ.....	122

### **Секция «ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»**

1. Алехина Н.В. ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАТАЛИЗАТОРА НА ТВЕРДОЙ ПОДЛОЖКЕ.....	124
2. Власова Е.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ.....	125
3. Волкова Т.Г. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ.....	126
4. Гнитиёв П.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ	

ГОРЕЛОК И ДЫМОВОГО ТРАКТА В КОТЕЛЬНЫХ.....	127
5. Нуйкина Ю.Б. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ РАСХОДА ТОПЛИВА.....	128
6. Подобед Ю.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ПЕЧИ МЕТОДИЧЕСКОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЕ ЗАГОТОВОК.....	129
7. Каплунова А.И. ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО ГАЗА ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ .....	131
6. Кожевник Л.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА.....	132
7. Косолюкин Д.А. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВА И ХАРАКТЕРИСТИК РЕКУПЕРАТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕКУПЕРАЦИИ .....	133
8. Мороз С.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ НАГРЕВЕ ЗАГОТОВОК В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ.....	135
9. Некрасова И.С. МЕТОД АНАЛИЗА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУТЕРОВКИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ.....	137
10. Сапронова Ю.М. РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ В ПРОХОДНЫХ ПЕЧАХ МЕТОДИЧЕСКОГО ТИПА.....	139
13. Симоненко Л.Г. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШЛАКОВ.....	140
14. Сиряк А. Е. О МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ Г. КУРАХОВО.....	142
15. Ткаченко М.И. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ СТОИМОСТИ.....	143

### **Секция «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»**

1. Басенко О.С., Христенко Е.В. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЛОВ ТП-109 БЛОКОВ 200МВт.....	145
2. Берющева А.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЛА ТП-100.....	147
3. Буслов И. В., Приходько А. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА КВГ – 6,5 НА КОТЕЛЬНОЙ ПОСЕЛКА «ПОБЕДА» ККП ДОНГОРТЕПЛОСЕТЬ.....	148
4. Вертела С.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	150
5. Голдынский Г.А., Остапенко М.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО	

НАСОСА В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ С КОГЕНЕРАЦИОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	151
6. Лещенко С.Ю., Баранов А.В. УТИЛИЗАЦИЯ СБРАСЫВАЕМОГО ТЕПЛА НА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ.....	152
7. Гоба И. В., Подавинников М.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ КВ. 61 ВОРОШИЛОВСКОГО ТЕПЛОвого РАЙОНА ККП «ДОНЕЦКГОРТЕПЛОСЕТЬ».....	154
8. Горбенко И.Е. ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ВОДОЕМАХ ПРИ ВЫПУСКЕ ПОДОГРЕТОЙ ВОДЫ.....	156
9. Дрюк А.Г. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАРУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	158
10. Киселёв С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	160
11. Корсун А.А., Белоненко В.О. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПУТ НА ВЫХОД КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА.....	161
12. Кравцов Е.Э. МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПАРА.....	163
13. Крючкова С.И. ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ СОКРАЩЕНИЯ КОНЕЧНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ.....	164
14. Кужелев А.В. ТЕПЛОЕ ИСПЫТАНИЕ ТУРБИНЫ К-200-130-3 ЛМЗ .....	166
15. Кучерук Д.А. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕЧЕЙ ПИРОЛИЗА.....	168
16. Лукьянова И.О. ИЗУЧЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛА ТГМ-159/СО ТЭЦ-ПВС НА АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО.....	169
17. Нестругина О.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	170
18. Остапенко М.Н., Голдынский Г.А. СНИЖЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ КОТЛА БКЗ-75-39 на АКХЗ.....	172
19. Ревко Е. В., Берющева А. С. СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТОПЛИВА В КОТЛАХ ТПП - 312А БЛОКА 300 МВт ЗАПОРОВСКОЙ ТЭС.....	173
20. Швец А.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ НА БАЗЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК.....	175
21. Щипская В.В. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ.....	176
23. Волошина С.В. КАВИТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОГО ТОПЛИВА .....	178
23. Идиатулин Ю.Ю. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА В УКРАИНЕ.....	180
24. Баранов А.В., Лещенко С.Ю. ВОМОЖНОСТЬ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО ШАХТНОГО ВОЗДУХА .....	181

25. Сноведский И.И. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ.ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....	184
26. Внуков В.В. ЭНЕРГОАВТОНОМНЫЕ ЭКОДОМА.....	185

### **Секция «ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ»**

1. Белый Р.О. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОНОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБОРОТНЫХ ВОД.....	188
2. Богущ К.І. ВИПАРНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПЕЧЕЙ.....	189
3. Данилова Ю. С. БРИКЕТИРОВАНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ .....	191
4. Панченко К.І. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ ФЛЮСІВ...	192
5. Пихотенко А. П., Мезенцева Е. В. ФТОРОАММОНИЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМОСИЛИКАТОВ.....	193
6. Понька Н. А. СОКРАЩЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	195
7. Ткаченко С.В. ЭФФЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ .....	196
8. Товщик Н.О. ПІДГОТОВКА ДОМЕННОГО ГАЗУ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	197
9. Толкачёва М.Г. СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИНОВ И ФУРАНОВ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДОГРЕВА ЛОМА.....	199
10. Халаимова И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА.....	201
11. Більдїй К.А. УТИЛІЗАЦІЯ ЛОМУ ОЦИНКОВАНОЇ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ХЛОРУВАННЯ .....	203
12. Федорова В.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ПАО «МАШЗАВОД «БУРАН».....	204
13. Голикова Ю.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ НА УЧАСТКЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПУТ НА ЗАО «ДМЗ».....	205