

**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**

**ДОНЕЦК - 2012**

**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 - 2012**

УДК 669.18:621.7

Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции студентов. - Донецк: ДонНТУ, 2012. - 209 с.

В материалах сборника освещены результаты научных исследований и технических разработок в области современных металлургических и литейных технологий, обработки металлов давлением, материаловедения, металлостроения 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); ст. препод. Байков Е.В. (отв. редактор); д.т.н., проф. Ярошевский С.Л.; д.т.н., проф. Смирнов А.Н.; д.т.н., проф. Рябцев А.Д.; д.т.н., проф. Маняк М.А.; д.т.н., проф. Смирнов Е.Н.; к.т.н., доц. Егоров Н.Т.; к.т.н., проф. Туяхов А.И.; к.т.н., доц. Кочура В.В.

***Ответственный за выпуск:***

Маняк Н.А, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Цветная металлургия и конструкционные материалы».

Статьи напечатаны с авторских экземпляров

Адрес редакционной коллегии:

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



Уважаемые студенты!

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

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

Доклады в сборнике приведены по секциям:

- Металлургия чугуна
- Металлургия стали
- Электрометаллургия и специальная металлургия
- Литейное производство черных и цветных металлов
- Обработка металлов давлением
- Прикладное материаловедение, термическая обработка металлов и металловедение
- Промышленная теплотехника
- Теплоэнергетика
- Экология и охрана окружающей среды в металлургии.

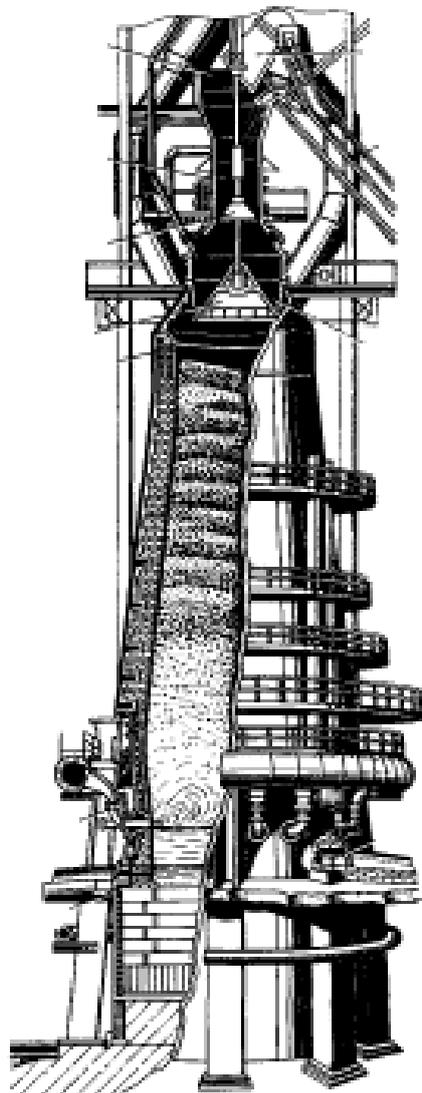
Важнейшими задачами конференции и настоящего издания являются обмен актуальной информацией, активизация исследовательской работы студентов, научная интеграция студенческого сообщества.

Надеюсь, что научные идеи и направления, высказанные молодыми учеными на страницах этого сборника, найдут понимание и послужат ориентирами для реконструкции и развития отечественной металлургии.

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

С.М. Сафьянц

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА



# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА НА ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРОХОТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Стамбулжи Г.И. (МЧМС-11а)\*

Донецкий национальный технический университет

Эффективное грохочение топлива позволяет достигнуть высоких технико-экономических показателей агломерационного процесса. Освобождение подготовленного топлива от избыточного количества вредных мелких классов крупностью менее 0,5 мм достигается за счет предварительного, перед измельчительной машиной, отсева из него готовых классов крупности 0 – 3 мм.

Для этого была разработана конструкция виброгрохота «Flip – Flow» в полной мере, соответствующая требованиям эффективной сортировки трудноразделимых влажных, абразивных и даже липких глинистых частиц. В отличие от классических грохотов, новый грохот оснащен эластичными полиуретановыми перфорированными матами с ячейками шириной 3 – 6 мм (рисунок).



Рисунок - Грохот «Flip – Flow», принцип действия и внешний вид

Указанное крепление, а также предварительное натяжение эластичных матов позволяют достичь очень высокого их ускорения – 50 g. В результате предотвращается залипание (забивание) щелей просеивающей поверхности, достигаются высокие эффективность грохочения и удельная производительность грохота.

Установка эффективных грохотов перед топливными дробилками позволяет: уменьшить число дробилок; исключить переизмельчение топлива, снизить затраты на электроэнергию, а также проточку и наплавку бандажей валков дробилок износостойким сплавом.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

Парахин Р.А. (МЧМ-08а)\*

Донецкий национальный технический университет

В современной доменной плавке в результате освоения технологии пылевдувания требования к коксу резко возросли, в том числе и по фракционному составу. Известно, что наиболее непрочной фракцией кокса является класс >80 мм. Ввиду этого одним из эффективных мероприятий по подготовке кокса будет снижение фракции >80 мм.

В январе 2006 года в ПАО «Енакиевский металлургический завод» был введен в эксплуатацию склад окатышей и кокса (СОК). В состав СОК входят: разгрузочное устройство, непосредственно склад окатышей и кокса, узел сортировки материалов, участок погрузки отсева окатышей, система конвейеров для транспортировки окатышей и кокса.

Со склада кокс попадает на узел сортировки, где установлен грохот для выделения фракции >80 мм с последующим её додроблением на двухвалковой дробилке и возвратом обработанного кокса в общий поток.

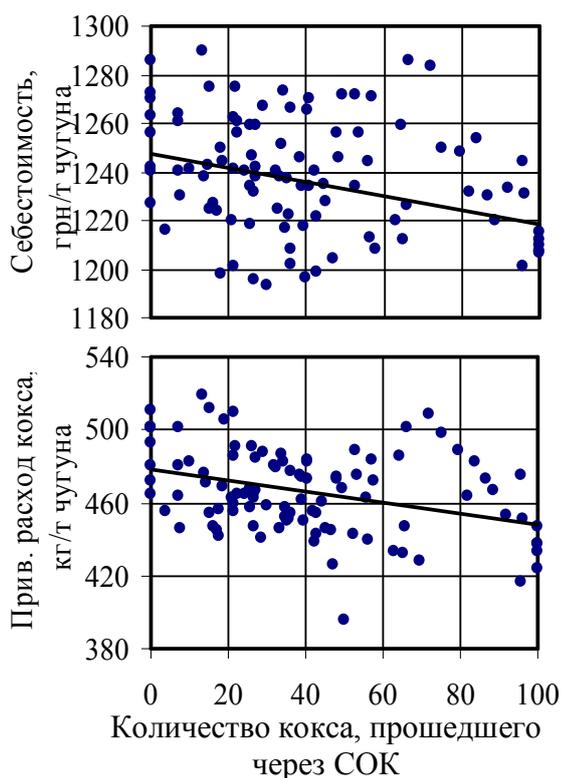


Рисунок - Зависимость основных показателей доменной плавки от количества кокса, прошедшего через СОК

освоении технологии пылевдувания.

Проведенные исследования показали, что указанная обработка кокса позволила снизить среднее содержание фракции >80 мм в скиповом коксе более чем в два раза. Однако возрастает количество фракции менее 40 мм более чем в полтора раза. Данная проблема решается за счет выделения и использования коксового орешка фракцией >15 мм.

Выполнена оценка эффективности применения подготовленного кокса. Так, например, повышение на 10% доли кокса, прошедшего обработку на СОК, способствовало снижению на 1 т чугуна приведенного расхода кокса на 3 кг и себестоимости чугуна на 2,5 грн (рис.).

Таким образом, подготовка металлургического кокса создает условия для повышения эффективности доменной плавки и будет являться важнейшим компенсирующим мероприятием при

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗОНЫ ГОРЕНИЯ И СКОРОСТИ ДУТЯ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Парахин И.А. (МЧМ-08 а)\*

Донецкий национальный технический университет

Размеры, форма и расположение зон горения в горне доменной печи существенно влияют на движение шихтовых материалов, распределение газового потока по сечению печи. От объема зон горения зависят скорость из нее газов, распределение газов по сечению печи и использование их энтальпии в процессах восстановления. Размеры зон горения определяются количеством дутья, скоростью его истечения из фурм, нагревом и влажностью дутья.

В данной работе была написана программа на языке С#. По результатам программы были получены графики, которые показывают зависимость скорости дутья от диаметра фурм, температуры дутья и давления (рис.).

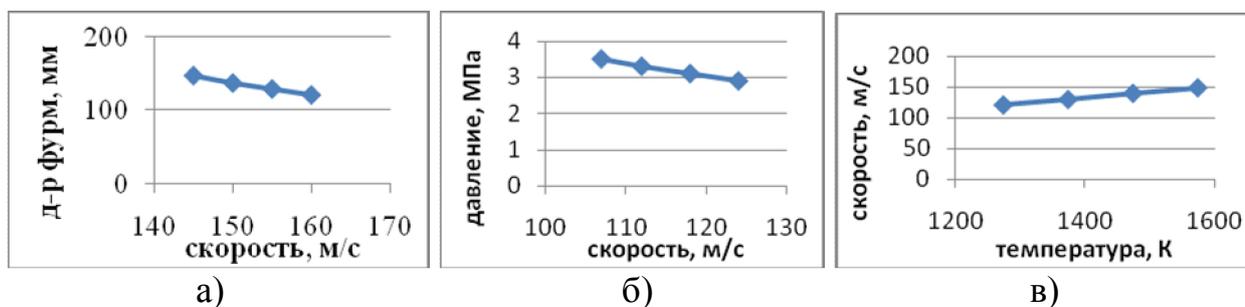


Рисунок – Зависимость скорости дутья от различных факторов

Так при изменении скорости истечения дутья при постоянном его расходе за счет изменения сечения фурмы, изменения в размерах окислительных зон в различных направлениях не одинаковы. Увеличение скорости истечения дутья вызывает увеличение зоны в глубину, но уменьшение в ширину и высоту и наоборот (рис., а).

Влияние нагрева дутья на размеры окислительной зоны проявляется по-разному. Так при нормальном, а тем более при чрезмерном нагреве горна повышение нагрева дутья вызывает увеличение объема, скорости и кинетической энергии воздушно газовой струи (рис., б).

Увеличение давления газов, вызванное увеличением кинетической энергии струи, удлиняет окислительную зону. С увеличением давления в горне объем дутья уменьшается, что приводит к уменьшению скорости его истечения из фурм и кинетической энергии, а это вызывает сокращение зоны горения (рис., в).

Кроме того в будущем рассматривается работа по зависимости комбинированного дутья от различных добавок к дутью.

\* Руководитель – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой РТП Кочура В.В.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ УЛУЧШЕНИЕМ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ

Минакова Ю.А. (МЧМ-11ас)\*

Донецкий национальный технический университет

Современная технология агломерации, направленная на вовлечение в сферу окускования тонкоизмельченных концентратов, отходов производства и заменителей твердого топлива, предъявляет к процессам предварительной подготовки шихты повышенные требования. Процесс агломерации начинается в слое, структура которого уже сформировалась в период смешивания, окомкования и загрузки шихты на аглоленту. Поэтому, эффективными способами интенсификации аглопроцесса следует считать технологии, обеспечивающие увеличение скорости спекания шихты при улучшении (или сохранении) качества агломерата, а также направленные на снижение расхода твердого топлива.

Улучшение гранулометрического состава окомкованной шихты можно достичь за счет подогрева шихты, введения в шихту извести, отдельного увлажнения шихты водой, прошедшей магнитную обработку, двухстадийного окомкования, воздушной сегрегации шихты при укладке на агломашину и т.д.

Оценка и поддержание оптимальной влажности  $W_{\text{опт}}$  при окомковании шихты обеспечивает наилучшую ее газопроницаемость. Обработка опытных данных позволила установить корреляционные зависимости влияния влажности шихты на показатели и параметры аглопроцесса при различных соотношениях «концентрат-руда»: 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 (здесь для соотношения 70/30):

$$\begin{aligned} v_{\text{сп}} &= -1,29 x^2 + 20,72 x - 67,62; & Q_{\text{уд}} &= -1,61 x^2 + 25,49 x - 86,55; \\ B_{\text{г}} &= -4,59 x^2 + 70,39 x - 201,63; & B &= 4,49 x^2 - 66,74 x + 279,40. \end{aligned}$$

Из зависимостей  $Q_{\text{уд}}$  от влажности шихты следует, что при росте доли концентрата в шихте от 50 до 80 % влажность  $W_{\text{опт}}$ , при которой достигается  $Q_{\text{уд.макс}}$ , увеличивается от 7,5 до 8,2 %. Значительное влияние на показатели процесса спекания оказывает содержание в исходной шихте (до увлажнения) и после ее увлажнения фракций 1,2 - 0 мм и +5 мм. Так, например, фракционный состав исходной шихты представлен отношением  $f_{(+5)}/f_{(1,2-0)}$  и для первой серии (50/50) равен 0,27, а для четвертой серии (70/30) равен 0,19. В то же время, фракционный состав шихты после окомкования представлен отношением  $F_{(+5)}/F_{(1,2-0)}$  и соответственно равен 6,11 и 1,33. Итак, при более высоких содержаниях концентрата в шихте это отношение заметно уменьшается в ущерб фракции +5 мм, что свидетельствует о необходимости увеличения времени окомкования и расхода воды ( $W_{\text{опт}}$ ) с увеличением соотношения «концентрат-руда».

Таким образом, мероприятия, направленные на разработку методов интенсификации, управления процессом спекания и получения спека с заданными свойствами, должны рассматриваться, главным образом и прежде всего, через этапы подготовки шихты к спеканию.

---

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

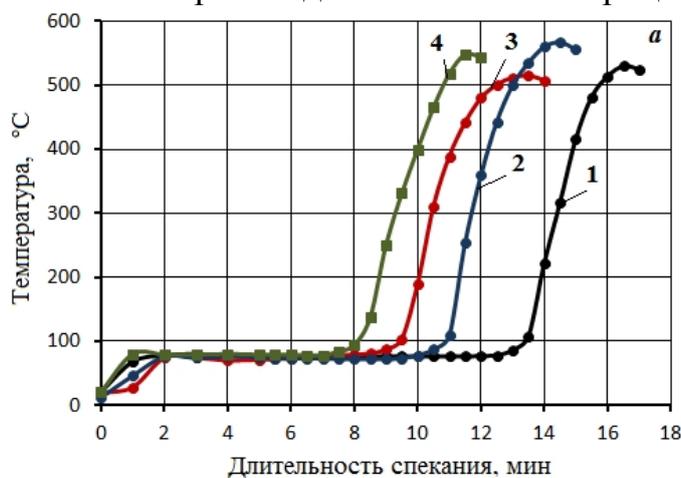
# СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ С ДОБАВКОЙ ОБЫЧНОГО И КАЛИБРОВАННОГО ВОЗВРАТА

Безруков В.В. (МЧ-08)\*

Приазовский государственный технический университет

В агломерационных шихтах Украины содержание комкующих фракций в среднем составляет 15 %. В этих условиях особая роль отводится возврату – мелкому некондиционному агломерату, направляемому на повторное спекание, частицы которого играют роль центров грануляции шихты. На процесс окомкования аглошихты, обеспечивающий повышение ее газопроницаемости, влияет не только количество возврата, но его крупность. Лучше комкуют тонкодисперсный железорудный концентрат частицы калиброванного возврата (КВ) фракции 3-5 мм. Лабораторные исследования влияния количества возврата на процесс окомкования железорудного концентрата показали, что оптимальная крупность гранул ~5 мм для процесса их спекания обеспечивается при доле возврата 20-40 % (в интервале влажности шихты 10-6 %), при этом достигается относительно высокая степень окомкования шихты 85-92 %.

В ходе лабораторных спеканий выявлено (рисунок, а), что повышение доли возврата в базовом спекании (БС) с 20 (кривая 1) до 40 % (кривая 2) привело к росту вертикальной скорости спекания  $v_s$  с 11,6 до 13,2 мм/мин при снижении производительности аглопроцесса при замкнутом цикле возврата  $\Delta\Pi$



на 31 %. Замена 20 % обычного возврата калиброванным (кривая 3) сопровождалась ростом количества центров окомкования на 10 %,  $v_s$  до 14,2 мм/мин,  $\Delta\Pi$  на 23 % и барабанной пробы агломерата на 2 %. Применение КВ требует решения проблемы утилизации мелкого возврата фракции менее 3 мм. Замена в БС мелкого возврата брикетированным фракции 3-5 мм (кривая 4) обеспечила повышение доли центров окомкования в шихте на 16 %,  $v_s$  до 16,7 мм/мин,  $\Delta\Pi$  на 41 % при незначительном снижении прочности агломерата.



Рисунок – Изменение температуры отходящих газов во времени процесса спекания аглошихты (а) с добавкой обычного, калиброванного возврата и брикетного крошева (б), полученного дроблением исходных брикетов (в)

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры МЧ Семакова В.Б.

# ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МАТЕРИАЛА КОКСОВЫМ ОРЕШКОМ

Чудаков Д.В. (МЧМ-08ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Теоретические и экспериментальные соображения дают основания рассчитывать на существенную интенсификацию процесса восстановления оксидов железа в железорудном слое при введении в него коксового орешка.

Было проведено восстановление окатышей при температуре 900 и 1100 °С при введении в них коксового орешка в количестве 30 %. В качестве исследуемых материалов использовали окатыши СевГМК и коксовую мелочь ЕКХЗ. Подготовка материалов заключалась в следующем: производили дробление, высушивание, выделение необходимой фракции и усреднение каждого вида материала. Восстановление осуществляли на собранной в ДонНТУ установке, основным элементом которой является нагревательная электропечь.

Опыты проводили следующим образом. В рабочее пространство предварительно нагретой до заданной температуры электропечи устанавливали алундовый тигель с исследуемыми материалами. После установки алундового тигля в электропечь опускали алундовую трубку, через которую в печь подавали аргон. На протяжении всего опыта автоматическим регулятором температуры контролировалось значение температуры в рабочем пространстве электропечи, а аналитическими весами Т-5000 – потеря веса. Степень восстановления железорудного материала определяли по формуле

$$V = (M_{\text{нач}} - M_{\text{кон}}) \cdot \frac{16}{28} / O_{\text{нав}} \cdot 100, \%$$

где  $M_{\text{нач}}$  – начальная масса навески окатышей, г;  $M_{\text{кон}}$  – масса навески окатышей после определенного времени выдержки её в печи, г;  $O_{\text{нав}}$  – начальное содержание кислорода в окатышах, г.

Результаты исследования приведены на рисунке. По данным рисунка оценили, что скорость восстановления составляет 0,107 и 0,789 %/мин соответственно при температуре 900 и 1100 °С. С использованием уравнения

Аррениуса оценили энергии активации, которая составила  $1,337 \cdot 10^5$  Дж/моль.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили оценить энергию активации реакции восстановления оксидов железа коксовым орешком. Результаты данного исследования будут использованы в дальнейшем для определения константы скорости реакций.

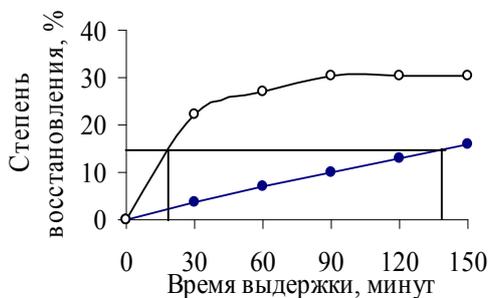


Рисунок – Изменение степени восстановления окатышей от времени

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

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОКСОВОГО ОРЕШКА И МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Ильченко В.А. (МЧМ-11ам)\*

Донецкий национальный технический университет

На начало XXI века основной тенденцией развития металлургии чугуна остается сокращение себестоимости продукции для обеспечения достаточной конкурентоспособности. А именно эта тенденция развивается в 2-х направлениях: увеличение производительности и сокращение расхода топлива. Как правило при разработке новых технологических режимов работы доменной печи они тесно связаны между собой.

Один из методов снижения себестоимости продукции – замена более дорогих видов топлива более дешевыми, а именно замена кокса, который является основным видом топлива в доменном производстве, пылеугольным топливом и коксовым орешком. Пылеугольное топливо (ПУТ) приготавливается из некоксуемых марок углей, что и обеспечивает его дешевизну. Коксовый орешек представляет собой некондиционную фракцию по гранулометрическому составу, и является отсевом скипового кокса.

Замена большего количества кокса за счет вдувания пылеугольного топлива осуществляется по средствам применения полной и комплексной компенсации негативных воздействий ПУТ на доменную технологию. К числу компенсирующих мероприятий принадлежат такие как:

- увеличение доли кислорода в дутье
- увеличение содержания железа в железорудной части
- увеличение горячей прочности кокса
- стабильности хим. состава и физ. свойств шлака
- снижение прихода серы с шихтой
- снижение выхода шлака
- снижение выхода горновых газов
- снижение прихода «мелочи» с шихтой
- обеспечение оптимальной газопроницаемости рудных линз и др.

Почти все из них не только позволяют экономить кокс за счет применения ПУТ, но и позволяют снизить расход условного топлива (суммарный), также положительно влияют и на производительность печей. Таким образом, интенсифицируя расход ПУТ мы воздействуем на себестоимость продукции сразу по нескольким статьям и по всем положительно. К сожалению не все средства интенсификации являются экономически обоснованными для применения по ряду причин, но в сочетании с их полезным свойством увеличивать расход ПУТ и напрямую экономить кокс могут стать выгодными.

---

\* Руководитель - д.т.н., профессор кафедры РТП Ярошевский С.Л.

Таким образом применение ПУТ по средствам экономических механизмов заставляет переводить доменные печи на режимы более производительные и экологичные. Все компенсирующие мероприятия являются интенсификационными и концентрируют все затраты на первоочередной задачи доменной печи – восстановление оксидов железа.

Еще одним методом компенсации, и как следствие, сокращения доли кокса в шихте и увеличения расхода дополнительных видов топлива, является загрузка коксового орешка в смеси с рудной частью. Коксовый орешек имеет не кондиционный для доменной плавки гранулометрический состав, поему является более дешевым видом топлива. Но в смеси с железорудной частью шихты улучшает газопроницаемость рудной линзы, тем самым интенсифицируя процесс восстановления и увеличить расход ПУТ (рис). Позволяет не только использовать технологически некондиционный продукт, но и позволяет сохранить расход условного топлива на базовом уровне и сократить расход сухого скипового кокса до 150кг на тонну чугуна.

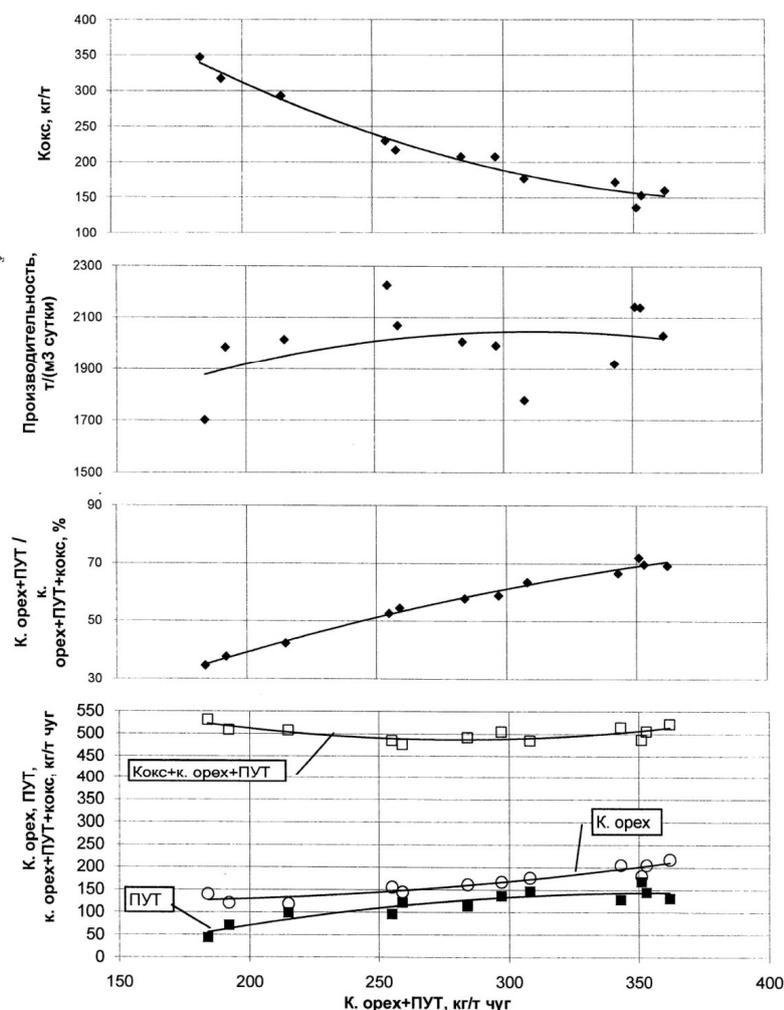


Рисунок - Эффективность замены кокса (скипового, сухого) ПУТ и коксовым орешком (среднемесячные данные д.п. №6 V<sub>n</sub> 1752 м<sup>3</sup>, Arcelor Mittal Bremen, Германия)

## ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ МЕТАЛОБРУХТУ СІРИХ ЧАВУНІВ

Качан Ю.П., Тросцінський Т.Р. (ПМ-41)\*  
Луцький національний технічний університет

Вимоги, що висуваються до якості і властивостей виливок, в сукупності з відмінністю технологічних схем їх виробництва, обумовлюють вимогу створення прогресивних технологій підвищення якості чавуну для виливок безпосередньо в ливарних цехах. Модифікування при цьому є найбільш поширеним вивченим методом дії на якість чавуну і виливок з нього.

Чавун широко застосовується в промисловості як конструкційний матеріал завдяки простоті та невеликій вартості конструкцій, хорошій рідкотекучості, зносостійкості, надійній роботі в умовах знакозмінних навантажень і підвищених температур.

Проблемою при литві чавуну є утворення у виливку хімічно пов'язаного вуглецю у вигляді цементита  $Fe_3C$ . В структурі чавуну різко знижується пластичність і обробка різанням литих деталей і тому його вміст повинно бути зведено до мінімуму.

Метою даної роботи було встановити: вплив модифікатора ФС-75 на структуру вилитою чавуна та зміну його властивостей, а також перевірити на наявність небажаних зон відбілювання.

Феросиліцій - феросплав, основні компоненти якого залізо і кремній.

Склад обраного нами модифікатора наведений в таблиці.

Таблиця – Хімічний склад феросиліцію ФС-75

Si	C	P	Mn	Cr	Al	S
74-80	0,1	0,04	0,4	0,3	3,0	0,02

Шихтою слугував брухт сірого чавуну який завантажувався в індукційну піч. Плавку вели при температурі 1600°C. Розплав модифікували феросиліцієм ФС-75 в кількості 1,5%. Отримані виливки досліджувались методами мікроструктурного аналізу з використанням металографічного мікроскопа МИМ-10. Твердість визначали за методом Роквела.

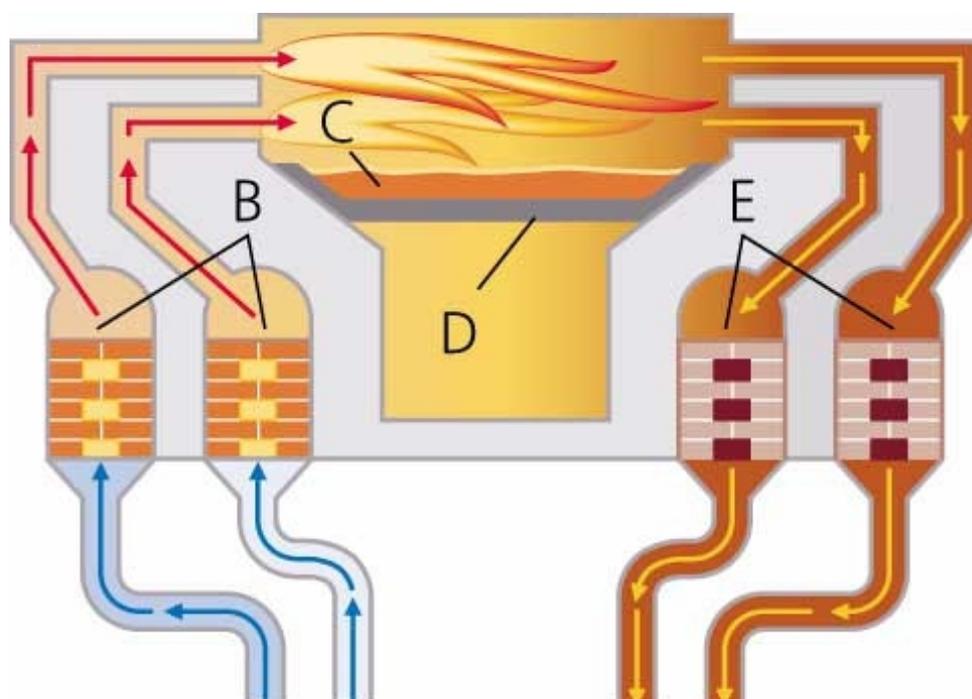
Дослідження показали, що у структурі модифікованого чавуна спостерігається пластинчастий графіт у перлітно-сорбітній матриці. Зони відбіленого чавуну не виявлені. Твердість отриманого чавуна порівняно із твердістю шихтового збільшилась з 20 HRC до 23...24 HRC, це пояснюється формуванням перлітно-сорбітної структури у металевої матриці.

Отже, при використанні модифікатора ФС-75 ми отримали сірий чавун з перлітно-сорбітною матрицею без відбілених зон. Чавунні виливки із такою структурою добре обробляються різанням, і можуть повторного використовуватися у виробництві для виготовлення деталей.

---

\* Керівник –асистент кафедри М та ПФКМ Дмитріюк М.В.

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ



## ИЗУЧЕНИЕ ИЗНОСА КОНВЕРТЕРНОЙ ЛЕТКИ ВО ВРЕМЯ ВЫПУСКА СТАЛИ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Барановский В.А., Антонов Б.О. (МЧМм – 11б)\*  
Донецкий национальный технический университет

Отсечка конечного шлака во время выпуска стали из кислородного конвертера в ковш имеет важное практическое значение. Одним из наиболее распространённых способов предотвращения попадания большого количества шлакового расплава в сталеразливочный ковш является применение специальных отсечных элементов в виде поплавок из огнеупорного материала. Его вводят с помощью манипулятора в ванну конвертера.

Качество работы отсечного устройства шлака определяется рациональной конструкцией поплавок и состоянием верхней торцевой поверхности лётки конвертера. Она наиболее быстро изнашиваемый элемент футеровки, эксплуатируемая в крайне жестком тепловом режиме. Во время выпуска плавки её рабочая поверхность подвергается размывающему воздействию со стороны жидкого металла и шлака.

Для того что бы повысить качество работы отсечного устройства этого типа были выполнены исследования особенностей износа рабочей поверхности лётки. С этой целью был изготовлен фрагмент физической модели (в масштабе 1:6) 160 т кислородного конвертера.

Для улучшения визуализации процесса подкрашивали локальные объёмы воды. Во время истечения жидкости через сталевыпускное отверстие на её поверхности образовывается воронка, в которую затягиваются верхние слои моделирующей жидкости. Эти объёмы двигались в середине общего потока, что отчётливо видно на рис. 1а и 1б. Дополнительно установлено, что поток в

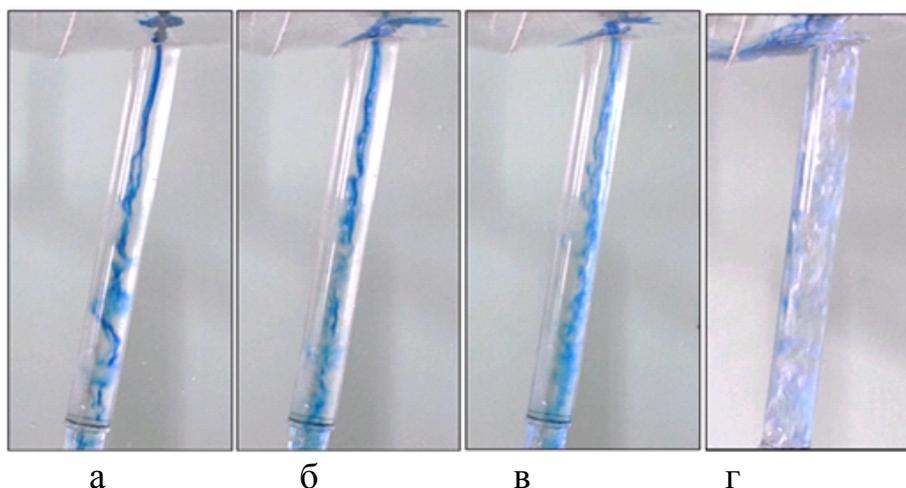
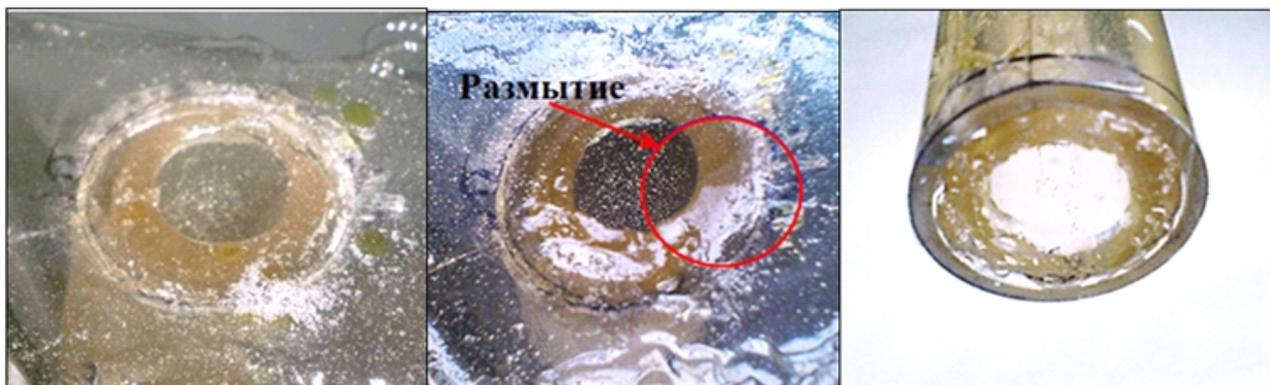


Рисунок 1 – Характер движения потоков «металла» в лётке конвертера во время выпуска

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

первой трети длины лётки характеризуется визуальными признаками ламинарного движения, а остальные две трети могут характеризоваться признаками турбулентного потока. Также наблюдается увеличение завихрений у выходного отверстия лётки. А из – за особенностей конструкции данного конвертера повышается вероятность смещения плотности потока «металла» к стенки канала со стороны горловины конвертера (рис. 1в). В заключительный момент выпуска происходит относительно равномерное размытие канала, что видно на рисунке 1г.

Для подтверждения этого были проведены дополнительные исследования. Лётка конвертера была «футерована» изнутри специально подготовленной размываемой смесью (рис. 2а). Её готовили путём растворения мерного количества сахара в воде. К полученной смеси добавляли набугший загуститель. Визуальная информация о характере изменения внутреннего геометрического размера лётки представлена на рисунке 2б. Здесь видно, что воздействию движущегося потока наиболее подвержена та часть сталевыпускного отверстия, которая расположена ближе к горловине конвертера. Это явление можно объяснить тем, что образующаяся воронка вместе с потоком, о котором говорилось ранее, смещается ближе к горловине конвертера относительно центра отверстия, иногда это смещение может быть значительным. Кроме того, на выходе из лётки наблюдается наибольшая степень её износа (рис. 2в).



а

б

в

Рисунок 2 – Характер износа «футеровки» лётки

Неоднородная структура струи металла и шлака вызывает неравномерный износ канала лётки, её сечение по мере эксплуатации конвертера будет постоянно меняться, и становиться отличным от круглого. Таким образом, эффективность процесса отсечки шлака определяется качеством контактной поверхности лётки и рациональными параметрами поплавок. Для компенсации неровностей места их контакта целесообразно использовать полавки не с гладкой рабочей поверхностью, а с различными бугорками и неровностями, расположенными в хаотичном порядке.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛА И ШЛАКА В РАЙОНЕ ЛЕТКИ В НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ВЫПУСКА

Антонов Б.О., Барановский В.А. (МЧМм – 11б)\*  
Донецкий национальный технический университет

В начальном периоде выпуска стали из кислородного конвертера в ковш попадает первичный шлак, который может содержать до 20 – 30%  $FeO$ . Его попадание приводит к повышенному угару раскислителей и легирующих добавок, рефосфорации металла, снижает эффективность внепечной обработки стали и выход годного. Исследование динамики поведения стали и шлака в дальнейшем позволит повысить эффективность использования одноразового саморазрушающегося «тампона», который устанавливается внутри летки до наклона конвертера. Для исследования взаимного движения металла и шлака при наклоне конвертера было выполнено моделирование этого процесса.

Его проводили на физической модели кислородного конвертера. В качестве моделирующих сред использовали воду, как жидкий металл. Трансформаторное масло моделировало шлак. Исследование выполняли при условии 45%-го износа летки.

На начальном этапе (рис. 1а) хорошо видна граница раздела сред: 1 – «шлак», 2 – «сталь». Во время наклона конвертера первые порции «шлака» попадают в сталевыпускное отверстие (рис. 1б).

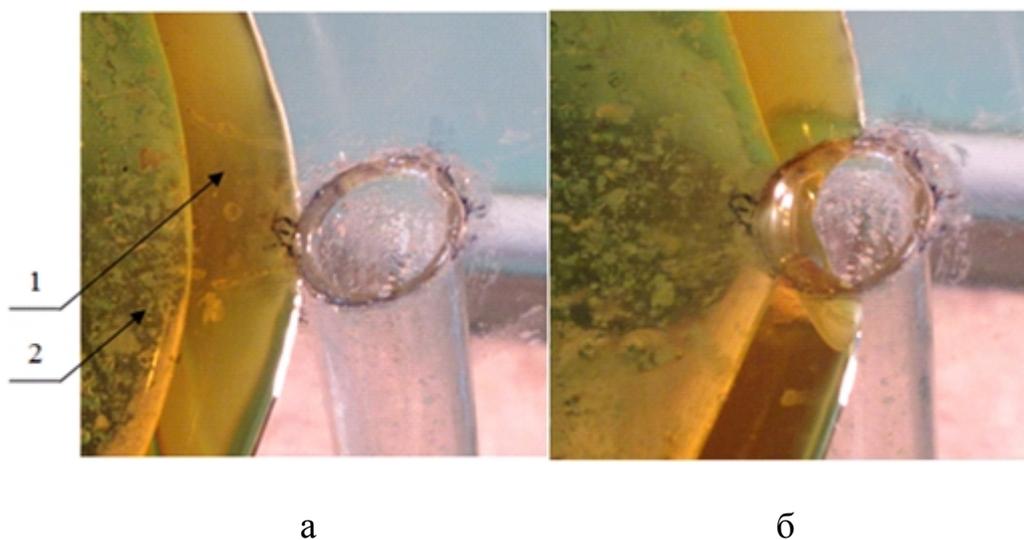


Рисунок 1 – Начальный этап выпуска из кислородного конвертера

По мере набегания моделирующих жидкостей над лёткой образуется воронка, которая способствует попаданию шлака в сталеразливочный ковш. Если скорость наклона конвертера низкая, то на протяжении всего времени

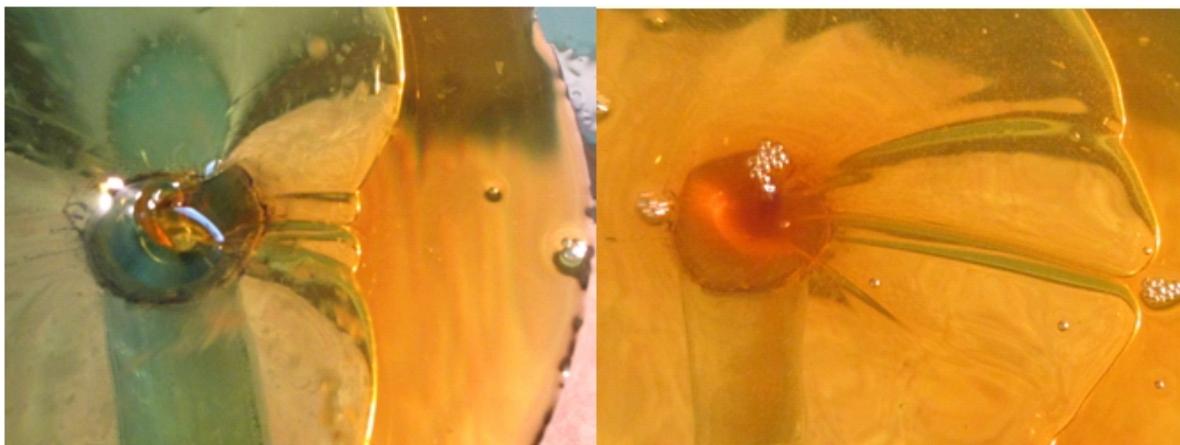
\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры МС Лебедев Е.Н.

наклона наблюдается процесс затягивания шлака. Оно происходит в результате образования воронки из-за чего шлак попадает в лёточный канал только со стороны горловины, это хорошо видно на рисунках 2а и 2б.

В случае большей скорости наклона конвертера (72 град./мин.) шлака успеваает пройти над сталевыпускным отверстием. Это препятствует затягиванию шлака (рис. 2в).



а



б

в

Рисунок 2 – Характер движения жидкостей в конвертере

Из этого следует, что регулируя скорость наклона конвертера можно влиять на степень попадания первичного конвертерного шлака в ковш. Экстраполируя полученные данные на малошлаковую технологию можно предположить что, уменьшение слоя шлака будет способствовать раннему образованию воронки и потребует уточнение параметров саморазрушающегося «тампона».

# СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ТУГОПЛАВКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНЦЕНТРАТОВ

Петрищев А.С. (*аспирант*)\*

Запорожский национальный технический университет

Высокая летучесть высших оксидных соединений тугоплавких легирующих элементов при повышении температуры приводит к существенным потерям ценных легирующих элементов при выплавке стали в результате угара. Особенно эта проблема обострилась в последние годы, в связи со стремительным ростом цен на тугоплавкие легирующие материалы на мировом рынке потребления. Накопленный опыт свидетельствует о высокой эффективности применения восстановительных процессов при переработке молибден-, вольфрам- и хромосодержащего рудного сырья для последующего использования полученного продукта в качестве лигатуры.

Цель работы заключалась в разработке мероприятий, существенно снижающих потери молибдена, вольфрама и хрома при переработке рудного сырья, и использовании полученных продуктов в качестве легирующих добавок в сталеплавильном производстве, а конкретные задачи настоящих исследований заключались в углубленном изучении физико-химических свойств обожженного молибденового концентрата (КМо), шеелитового концентрата (КШИ) и хромовой руды, как исходных материалов для получения легированных компонентов на плавку.

Установлены особенности фазового состава и микроструктуры (рис.) оксидного молибденового концентрата, шеелитового концентрата и хромовой руды, определены закономерности изменения скорости их сублимации в температурном интервале 1073-1173К, что дает возможность влиять на величину угара тугоплавких элементов в виде соединений с повышенной упругостью паров при металлизации рудного сырья.

Выявлено, что микроструктура КМо неоднородная: в виде пластин, гранул округлой формы, нитевидных образований. Структура представлена частицами 0,5-1 мм с четко выраженной пористостью с размерами пор 7-40 мкм.

Структура шеелитового концентрата высокодисперсная, состоящая из камневидных микрочастиц не закрепленных между собой

Хромовая руда, в отличие от КМо, состоит из монолитных однородных по структуре гранул не закрепленных между собой. Их размеры находятся в пределах 200-600 мкм.

Скопление наноразмерных нитевидных формирований с развитой поверхностью реагирования и ничтожно малым поперечным сечением в КМо обеспечивают условия для интенсивного испарения высших оксидных соединений молибдена.

---

\* Руководитель – д.т.н., доц., зав. каф. теории и практики менеджмента ЗНУ, Григорьев С.М.

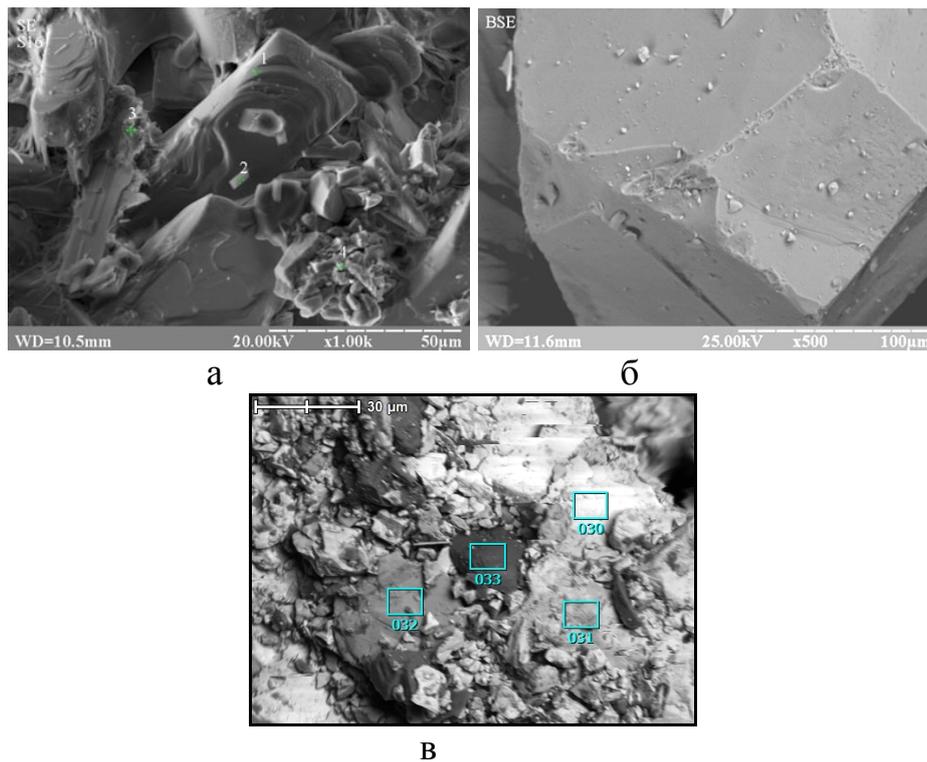


Рисунок – Структура КМо (а) и хромовой руды (б) и КШИ (в) с увеличением  $\times 1000$ ,  $\times 500$  и  $\times 1000$  соответственно

В результате исследований определено:

1) С целью уменьшения потерь молибдена, вольфрама и хрома в виде возгонов  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  необходимо придерживаться относительно низких температур, однако целесообразных и достаточных для активации и поддержания процессов восстановления, особенно до момента перехода высших оксидных соединений в низшие, и другие соединения, имеющие низкую упругость паров (например, оксикарбидные и карбидные соединения). Процессы восстановления и карбидообразования также приводят к снижению окислительной способности лигатуры и росту усвоения дорогостоящих легирующих элементов.

2) Повышение температуры интенсифицирует процесс восстановления посредством активного проникновения в оксидный продукт газообразных восстановителей. Пористая структура материала, как например у КМо, не затрудняет диффузионные процессы и лимитирующими факторами скорости реакции выступают лишь температура и внешнее давление.

3) Склонность к спеканию частиц рудного сырья между собой при росте температуры свидетельствует о существовании вероятности образования в процессе восстановления блок-слоев спекшихся гранул, что помимо замедления испарения оксидов может снизить скорость восстановления по причине затруднения диффузионных процессов подвода восстановителя в зону реакции и отвода продуктов реакции.

## КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ШИХТОВКИ І ПРОДУВКИ КОНВЕРТОРНОЇ ПЛАВКИ

Бондаренко Є.К. (ФС – 92), Капусняк О.О. (ФС – 92)\*  
Національний технічний університет України “КПІ”

Модель призначена для функціонування в інформаційному режимі, при якому технічні засоби, які реалізують модель виробляють і видають оперативному персоналу інформацію, в тому числі про керуючі параметри процесу. Модель забезпечує можливість шляхом видачі уставок в систему контролю і управління положення фурми впливати на витрати кисню, формувати завдання для програмного дозування сипких матеріалів та феросплавів.

Комп'ютерна модель створена для умов 160 – тонного конвертора з метою отримання після продувки:

- а) з ймовірністю не менше 90% заданої температури металу з точністю  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ;
- б) заданого вуглецю з точністю  $\pm 0,01\%$  при заданому вмісті вуглецю до 0,06%;
- в) з точністю  $\pm 0,02\%$  при заданому вмісті вуглецю 0,07% - 0,10%;
- г) з точністю  $\pm 0,03\%$  при заданому вмісті вуглецю 0,11% - 0,15%;
- д) заданої маси рідкої сталі;
- е) заданої основності шлаку.

Модель забезпечує: керування встановленою технологією, а також передбачає можливість її коректування; розрахунок шихти, параметрів продувки, кількість феросплавів та легуючих; можливість автоматичного управління режимом продувки, введення сипких матеріалів і феросплавів.

Структура системи, яка реалізує модель дворівнева з розподіленими функціями. Нижній рівень забезпечує функції збирання, обробки, представлення інформації і управління технологічними параметрами, а також передачу на верхній рівень. Верхній рівень повинен забезпечити централізований збір інформації від нижнього рівня і її обробку, вирішення задач розрахунку і управління технологічним процесом, представлення інформації по управлінню і поточних значеннях технологічних параметрів на моніторах автоматизованого робочого місця (АРМ). Також верхній рівень забезпечує передачу завдань по управлінню в локальні системи нижнього рівня і можливість підключення до інших систем автоматизації конвертора.

Зв'язки моделі забезпечують вирішення комплексу задач керування конверторною плавкою з іншими АСУ і автоматизованими робочими місцями.

---

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

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКОВ

Ткаченко Ю.Ю. (МЧМ-11бм)\*

Донецкий национальный технический университет

Разливка стали на сортовой МНЛЗ получила большое распространение в мире. Наиболее часто для получения сортовых заготовок из сталей обыкновенного качества применяют метод разливки открытой струей. В этом случае главной задачей является разливка длинными сериями из одного промковша. Это позволяет минимизировать производственные издержки (затраты на огнеупоры, потери металла из-за остановки машины) и повысить производительность МНЛЗ. Например, один из “рекордсменов” по серийности разливки – «Нукор Стил Плимут» (США) – 349 плавов.

Оптимизация конструкции промковша – залог достижения большой серийности МНЛЗ. Постоянный рост требований к качеству сталей обусловил изменение требований к промковшу. Так современный промковш сортовой МНЛЗ имеет свою историю. Выделяют следующие прототипы:

- “В - образные” - точка приема металла находилась на одной оси с ручьями, не зависимо от их количества;
- “Т - образные” – имеют “карман ” для приема металла и его дальнейшего распределения между ручьями, это позволяет усреднить металл по химическому составу и температуре и обеспечивает необходимое время для всплытия неметаллических включений;
- “W - образные” – точка падения металла равноудалена от ручьев МНЛЗ, что обеспечивает создание условий для усреднения расплава между ручьями МНЛЗ;

Длительность разливки стали из одного промковша сортовой МНЛЗ лимитируется двумя основными факторами: износом стаканов-дозаторов и опережающим износом футеровки промковша в зоне падения струи, вытекающей из сталеразливочного ковша. Проблема износа внутренней поверхности стаканов-дозаторов решается путем оптимизации технологии подготовки стали к разливке и применением устройств для быстрой замены стаканов-дозаторов. Поступающая в промковш сталь движется в виде компактной струи вертикально вниз со скоростью нескольких метров в секунду. Струя с такими параметрами может вовлечь в ванну металла частички покровной смеси. Так же место удара струи о днище промковша имеет повышенный износ и быстрее разрушается. При ударе струи потоки обычно перенаправляются в горизонтальном направлении либо под незначительным углом вверх. Для торможения струи в области ее контакта с днищем используются дополнительные приемные устройства, которые выполняются из специальных высокопрочных огнеупорных материалов. Известно множество

---

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

различных вариантов металлоприемников от простейшей бойной плиты до устройств с оригинальными конструкционными решениями.

Создание монолитных металлоприемников ведрообразного типа с «окнами» обеспечивает максимальную защиту стенок и днища промковша многоручьевых МНЛЗ. В независимости от производителя такой тип металлоприемника обеспечивает не только торможение струи, но и предотвращает перемешивание металла со шлаком в зоне ее падения. Более того, благодаря специально выполненным в стенках металлоприемника «окнам» удастся предотвратить прямой контакт вытекающих из него потоков со стенами промковша. На рисунке приведен общий вид некоторых металлоприемников ведрообразного типа, используемых на различных металлургических предприятиях.

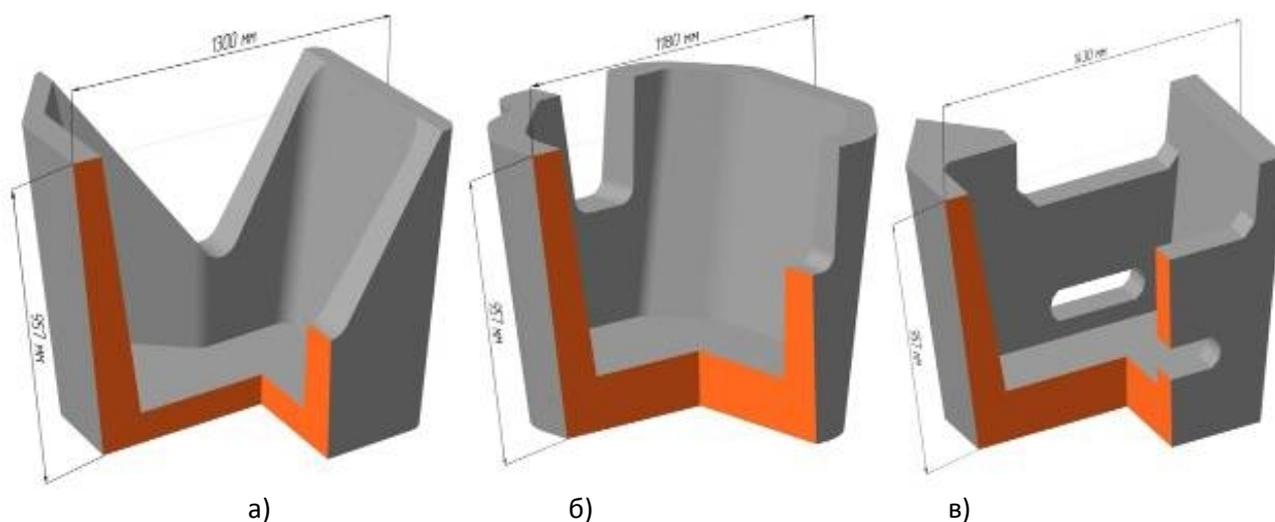


Рисунок – Металлоприемники ведрообразного типа различных фирм производителей: а) «Dalmond»; б) «Calderys»; в) «Fematek»

В целом геометрические размеры металлоприемника требуют уточнения применительно к конкретным условиям разливки, числу ручьев и геометрической конфигурации внутренней полости проежutoчного ковша.

Важным условием повышения серийности разливки стали из одного промежуточного ковша является применение металлоприемника. Который обеспечивает гашение энергии падающей струи из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш, предотвращает прямой контакт потоков металла со стенами промковша за счет перенаправления их движения. Препятствует перемешиванию металла со шлаком в зоне ее падения. Металлоприемник в конструкции современного промковша сортовой МНЛЗ – обязательный элемент, способствующий его эффективной работе.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИВКИ СТАЛИ ЧЕРЕЗ ШИБЕРНЫЙ ЗАТВОР ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

Верзилов А.П. (МЧМ-м11б)\*

Донецкий национальный технический университет

Одним из решений обеспечивающих подвод стали в кристаллизатор, является применение трехплитного шиберного затвора, установленного в днище промежуточного ковша, которое получило широкое распространение на ряде металлургических заводов мира. Дозирование стали осуществляется за счет частичного перекрытия разливочного канала при изменении положения средней плиты. При этом выполненные промышленные исследования позволили обосновать ряд позитивных моментов применения шиберных затворов для непрерывной разливки сортовой заготовки.

Целью настоящих исследований являлось изучение особенностей движения струи металла в разливочном канале промежуточного ковша и оценка влияния различных положений средней плиты шибера на стабильность процесса литья применительно к разливке на сортовой МНЛЗ ООО «Электросталь» (г. Курахово).

В ходе выполнения данных исследований основное внимание было сконцентрировано на изучении особенностей гидродинамических явлений, происходящих внутри разливочного канала стакана-дозатора и трехплитного шиберного затвора на математической модели. Подобный подход к исследованию гидродинамических явлений в рассматриваемом процессе хорошо себя зарекомендовал в металлургической практике. Разработанная математическая модель была реализована с помощью метода конечных элементов в прикладном пакете ANSYS. Результатами расчетов являлись значения векторов скорости и суммарной скорости движения стали.

Расчеты выполнены для 5 положений средней шиберной плиты, при которых открытая площадь поперечного сечения разливочного канала составляла 1,0; 0,90; 0,80; 0,70 и 0,60 от площади сечения отверстия средней плиты соответственно. Количество итераций для сходимости решения в каждом из рассмотренных случаев составило 90.

Результирующие изображения характера истечения стали через стакан-дозатор при различных положениях средней плиты шиберного затвора представлены на рис.

На основании рассмотренных исследований предложено выбор диаметра отверстия в плитах шиберного затвора осуществлять из условия, чтобы расход жидкой стали при разливке с номинальными режимами обеспечивался при положении средней плиты, соответствующем открытой площади поперечного сечения отверстия на уровне 0,95-0,90. При этом перекрытие отверстия

---

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

разливочного канала до уровня 0,85-0,80 допускается в качестве штатного режима литья в случае производственной необходимости.

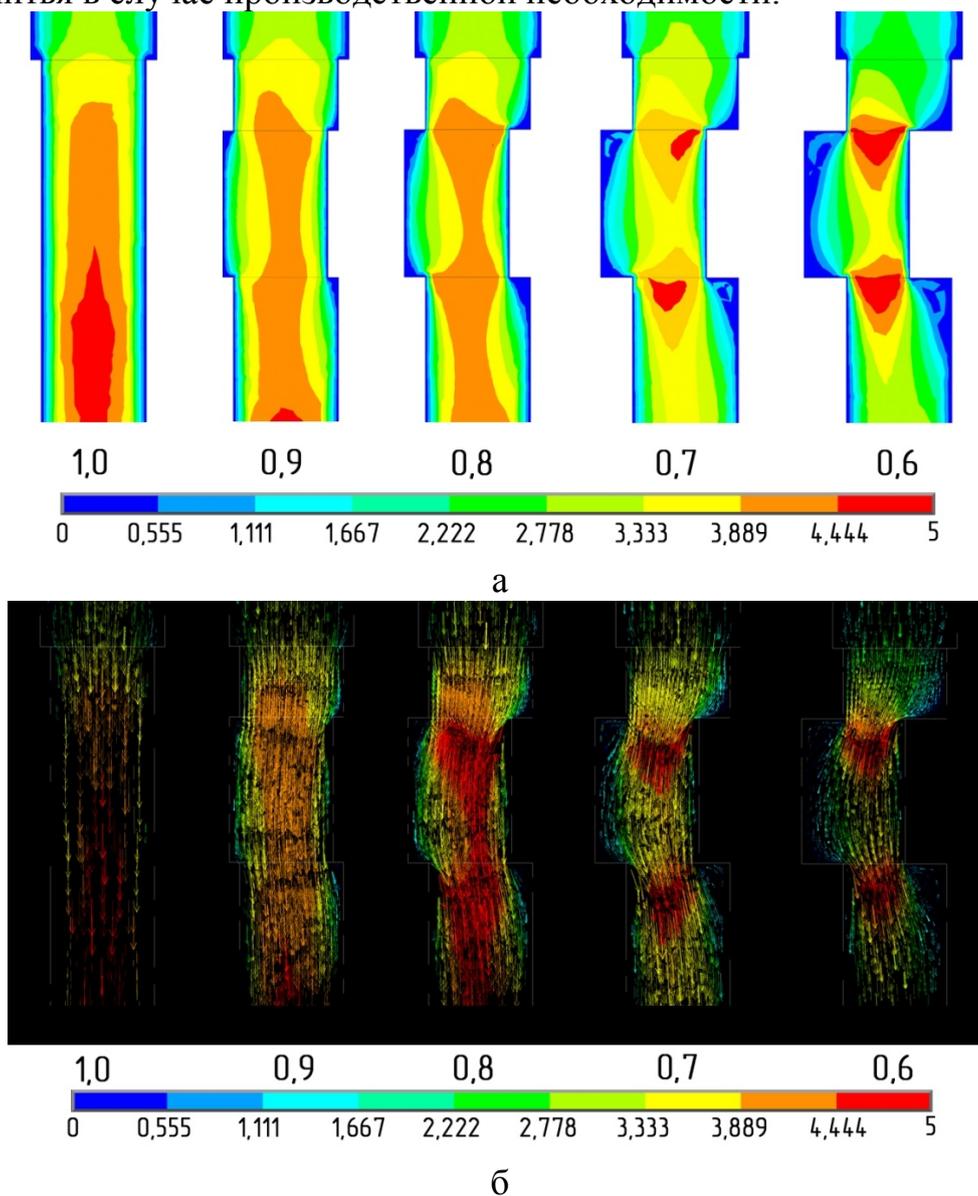


Рисунок – Распределение полей (а) и векторов (б) скоростей (м/с) в струе стали разливочного канала при различных положениях средней шиберной плиты

Применительно к условиям разливки на сортовой МНЛЗ ООО «Электросталь» рекомендуемый диаметр внутреннего отверстия шибберных плит составляет 25-28 мм в зависимости от сечения заготовки и скорости ее вытягивания. Увеличение диаметра отверстия от первоначально опробованного на 10-20% , в определенной степени, будет способствовать снижению скорости затягивания разливочного канала, поскольку отложения глинозема, формирующиеся в виде различного рода перемычек и наростов, постоянно разрушаются и смываются движущимся потоком металла. Соответственно, вероятность процесса затягивания внутренней полости разливочного канала в некоторой степени снижается.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Кирпьяков Г.С., Верзилов А.П. (МЧМ-м11б)\*  
Донецкий национальный технический университет

Развитие технологических систем внепечной доводки расплава обуславливает необходимость оптимизации условий перемешивания металла в ковше. Такое перемешивание, как правило, осуществляется путем вдувания в расплав некоторого количества инертного газа – аргона. Основной задачей настоящего исследования является установление оптимальных режимов перемешивания расплава в процессе обработки, которые бы позволили решать следующие проблемы:

- определение рационального количества продувочных узлов и их положения в днище ковша;
- предотвращение возникновения застойных зон в ванне жидкого металла в ковше;
- определение условий, соответствующих рациональной интенсивности перемешивания в соответствии с технологией обработки металла в ковше.

На начальном этапе исследований была произведена оценка работы 160 тонных сталеразливочных ковшей в условиях конвертерного цеха ММК им. Ильича. Техническим отделом был сделан вывод о неэффективности использования одного продувочного узла, который нес в себе ряд проблем. В процессе эксплуатации ковша наблюдались повышенный износ огнеупоров в зоне шлакового пояса, а также недостаточное удаление неметаллических включений. Исходя из этого, предприятием было принято решение об увеличении количества продувочных узлов до двух.

В силу того, что промышленный эксперимент, сопряжен с рядом трудностей было решено использовать методы физического моделирования.

Физическая модель сталеразливочного ковша является двухмерной, состоящей из 3х плит органического стекла (центральная представляет собой внутренний контур промышленного сталеразливочного ковша ММК им. Ильича) и выполнена в масштабе 1:6. В качестве рабочей жидкости, моделирующей жидкую сталь, использовалась вода при температуре 18-25°C, так как значения вязкости воды и стали в области температур внепечной обработки и разлива достаточно близки друг к другу. Для перемешивания расплава применялся сжатый воздух. Движение потоков фиксировалось с помощью цифровой видеокамеры.

В основу экспериментальных исследований были положены четыре варианта продувки с расходами сжатого воздуха равными: 150 л/мин (мягкое

---

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

перемешивание), 250 л/мин и 350 л/мин (среднее перемешивание), 800 л/мин. Результаты физического моделирования представлены на рисунке.

Рассматривая вариант а) следует отметить, что оба потока не вступают во взаимодействие друг с другом и их течение является независимым. Такой характер продувки наиболее характерен для так называемой «мягкой продувки».

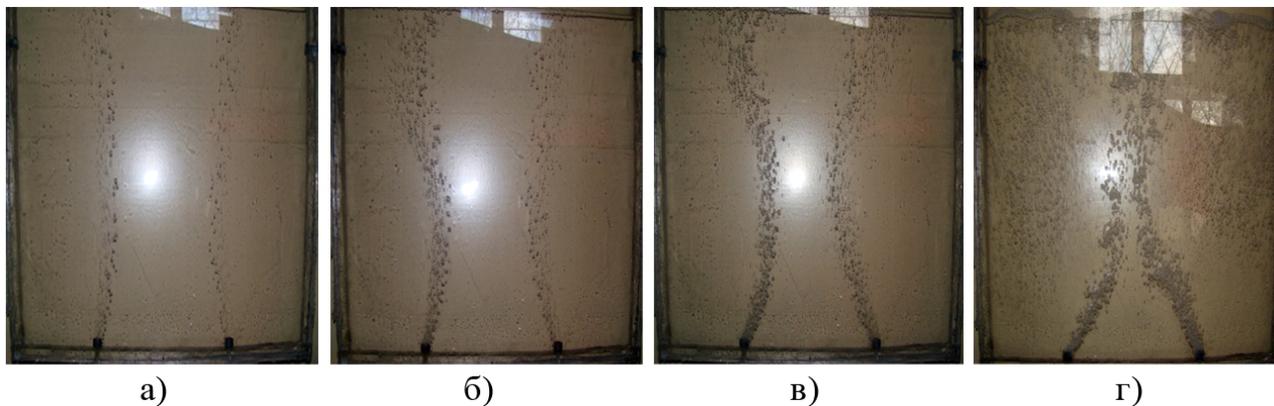
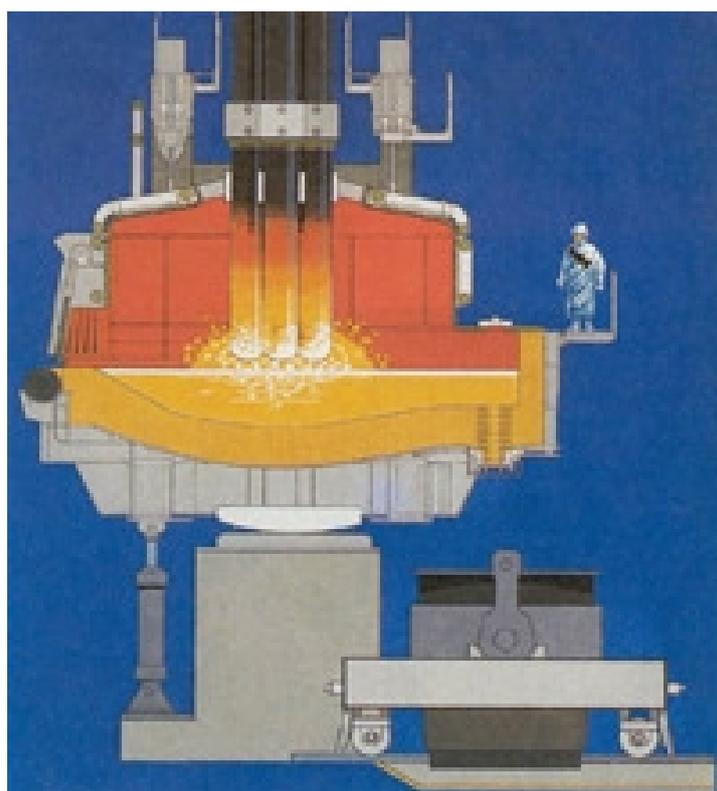


Рисунок – Картина движения газовых пузырьков при различной интенсивности продувки: а)150л/мин; б) 250 л/мин; в)350 л/мин; г)800 л/мин

Характер истечения при проведении опытов с более высокими расходами газа 250, 350 и 800 л/ мин (б, в, и г соответственно) носит сходный характер. Как видно из рисунка при увеличении интенсивности продувки увеличивается взаимное воздействие одной струи на другую. Так в варианте б) и в) струи воздуха влияют друг на друга не значительно. В нижней части ковша они прижимаются друг к другу, а в верхней незначительно расходятся. Однако этого нельзя сказать о варианте г), где к середине уровня налива ковша происходит их взаимное слияние, а на поверхности вследствие этого возникают волны. Также пройдя под зеркалом металла, воздушная струя продолжает свое движения обратно вглубь ковша, формируя, тем самым, верхнюю зону циркуляции. Благодаря этому неметаллические включения, которые должны удаляться в результате обработки с высокой долей вероятности будут переходить в металл. При этом, будет наблюдаться значительное снижение эксплуатационной стойкости футеровки сталеразливочного ковша..

Исходя из этого, следует сделать вывод, что использование двух пробок более эффективно как в аспекте гармонизации движения потоков внутри сталеразливочного ковша, так и удаления неметаллических включений в условиях работы ковша в конвертерном цеху ММК им. Ильича. Однако увеличение интенсивности продувки выше 800 л/мин влечет за собой обратный эффект, а также повышенный износ в зоне шлакового пояса.

# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ



# ОБРАБОТКА СТАЛИ В КОВШЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ ПОДВЕРГНУТЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ В АГРЕГАТАХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

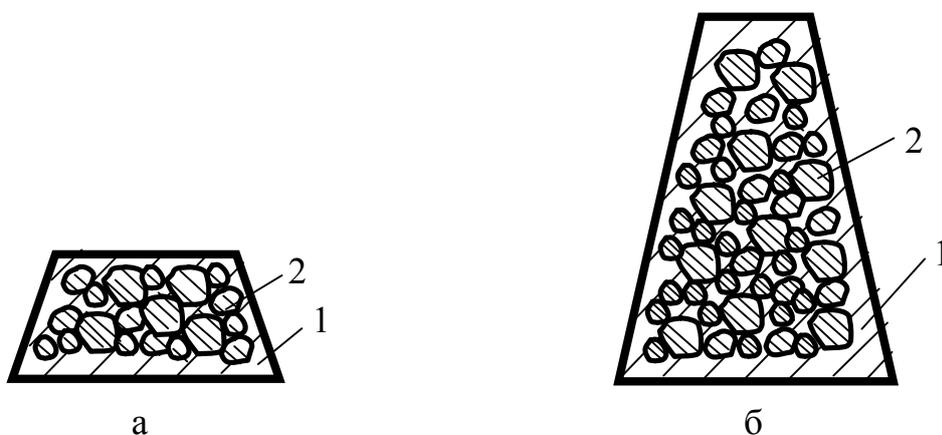
Егоров К.В. (ФС-61М)\*

Национальный технический университет Украины “КПИ”

Работа посвящена вопросу раскисления стали в ковше добавками, подвергнутыми электромагнитному воздействию в агрегатах магнитодинамического типа.

Исследования выполнялись в сталелитейном цехе завода “Ленинская кузница”. Объектом исследования процесса раскисления выбрана сталь 25Л, использовавшаяся для отливок ответственного назначения. Сталь выплавлялась в печи ДСП-1,5 с кислой футеровкой и садкой 2,6 – 3,0 т. Предварительное раскисление в печи выполнялось FeSi и FeMn. Через 5 мин сталь с температурой 1680 – 1710°C выпускалась из печи. Ковш перед выпуском плавки нагревался газовой горелкой до 700 °С. Металл серийных плавов окончательно раскислялся в ковше с помощью кольца Al, укрепленного на стопоре, при удельном расходе раскислителя до 2 кг/т.

Металл опытных плавов раскисляли в ковше специально изготовленными слитками алюминия с ферросплавами (рис.).



а – плоский слиток; б – конусообразный слиток; 1 и 2 – соответственно алюминий и ферросплавы

Рисунок – Схематические разрезы плоского и конусообразного слитков

Повышенные усвоения Mn и Al, вводимых в ковш в составе сплавов, полученных в МДН-агрегатах, позволил на треть снизить их удельные расходы при гарантировании требований ГОСТ по химсоставу и мехсвойствам стали. Средние значения мехсвойств стали опытных плавов превосходили требования ГОСТ по всем характеристикам (табл.).

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФХОТМ Богушевский В.С.

Таблица – Усвоение раскислителей и механические свойства стали 25Л

Раскислитель	Расход, кг/т		Усвоение, %		Механические свойства *			
					$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\psi$ , %	$\delta$ , %
	Al	Mn	Al	Mn	ГОСТ 440	235	30	19
Al кольцо	1,92	-	23	-	<u>620</u> 1,41	<u>313</u> 1,33	<u>27,9</u> 0,93	<u>16,0</u> 0,84
Mn Al	0,88	2,69	43	86	<u>515</u> 1,17	<u>300</u> 1,28	<u>53,7</u> 1,79	<u>26,4</u> 1,39
50 % Al + 50 % FeMn	1,14	0,94	39	91	<u>587</u> 1,33	<u>344</u> 1,46	<u>42</u> 1,40	<u>24,8</u> 1,31

\* Числитель – абсолютное значение, знаменатель – отношение абсолютного значения к величине, требуемой по ГОСТ 977-88.

Как видно из таблицы усвоение Al в серийных плавках находилось на уровне ~ 25%. Металл этих плавков характеризовался значительным превышением значений прочностных свойств, требуемых стандартом. Однако уровень пластических свойств металла был недостаточно. Эта сталь имела феррито-перлитную структуру, а оксидная фаза состояла в основном из включений глинозёма с размером около 3 мкм, значительная часть которых образовывала скопления. Сталь содержала так же железомарганцевые силикаты, отдельные кристаллы шпинели с размерами до 13×40 мкм. Включения кремнезёма имели глобулярную форму с размерами 1 – 3 мкм. Обнаружены также дисперсные включения кремнезёма размером 0,5 мкм, распределённые на ферритном поле. Сульфиды располагались в основном по границам зёрен (сульфиды II рода). В плоскости шлифов наблюдались как удлинённые (до 18 мкм), так и округлые (до 6 мкм) сульфиды.

Раскисление стали гомогенным сплавом MnAl обеспечило повышенное (в 1,8 раза больше, чем по серийной технологии) усвоение Al. Этот металл имел высокие пластические свойства, но более низкие прочностные. Сталь имела также феррито-перлитную структуру, но с более тонким строением перлита. Снизилось как количество глинозёмных включений, так и число их скоплений. Появились так же отдельные более крупные (до 6 мкм) включения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сульфиды в металле опытных плавков в основном были мелкими (2 – 3 мкм) и значительно равномернее распределялись по плоскости шлифов.

При раскислении стали в ковше сплавом Al+FeMn усвоение Mn несколько (на 5 %) превосходило, а усвоение Al мало уступало значениям этих показателей при обработке стали сплавом MnAl. Такая обработка дала наиболее равномерное превышение прочностных и пластических свойств металла над требованиями ГОСТ. Металл раскисленный сплавом Al+FeMn в сравнении со сталью раскисленной сплавом MnAl содержал несколько большее количество включений глинозёма, но меньшее оксидно-сульфидных и более крупные (2 – 5 мкм) сульфиды. Вероятно, более длительное перемешивание металла опытных плавков в сравнении с серийными способствовало ускорению зарождения и роста продуктов раскисления, а также более полному очищению от них стали.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ В ВАННЕ КОНВЕРТЕРА

Зайцева К.И., Мамчик Д.В. (ФС-81) \*

Национальный технический университет Украины “КПИ”

Скорость обезуглероживания жидкой ванны характеризуется наличием пульсаций. Пульсационный характер процесса обезуглероживания приводит к изменению давления газов в полости конвертера, которое передается по газоотводящему тракту.

Считая, что во время продувки конвертера выделяются только углеродсодержащие газы CO и CO<sub>2</sub>, можно записать

$$\Delta P = \frac{2q_{CO} \cdot (22,4/12)v_C \gamma_{CO}}{i_{CO_2} (V_{КС} + V_{Г}) \cdot f \cdot \gamma_{CO_2}}, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – амплитуда колебаний давления газов в верхней части подъемного газохода, Па;  $q_{CO}$  – удельная теплота сгорания окиси углерода от догорания конвертерных газов при нормальных условиях, равная  $12,7 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>;  $v_C$  – скорость обезуглероживания ванны, кг/с;  $\gamma_{CO}$  – степень окисления углерода до CO в полости конвертера;  $i_{CO_2}$  – с учетом колебательных число степеней свободы движения одной молекулы двуокиси углерода, равное 8;  $V_{КС}, V_{Г}$  – объемы соответственно кессона и подъемного газохода, м<sup>3</sup>;  $f$  – частота колебаний давления газа в верхней части подъемного газохода, Гц.

Значение  $\gamma_{CO_2}$  определяется как отношение значений расхода двуокиси углерода от догорания конвертерных газов к сумме расходов углеродсодержащих конвертерных газов и подсосанного воздуха, который пропорционален разрежению в нижнем сечении кессона:

$$\gamma_{CO_2} = \frac{(22,4/12) \cdot v_C \cdot \gamma_{CO}}{(22,4/12) \cdot v_C + k \delta p}, \quad (2)$$

$k$  – коэффициент пропорциональности, определяющий расход подсасываемого воздуха при нормальных условиях в зависимости от разрежения в нижнем сечении кессона, м<sup>3</sup>/(с · Па);  $\delta p$  – разрежение в нижнем сечении кессона, Па.

Подставляя численные значения параметров и решая совместно (1) и (2), получим

$$v_C = 0,169 \cdot 10^{-6} (V_{КС} + V_{Г}) \Delta P \cdot f - 0,536 k \delta p. \quad (3)$$

Испытание макета показало, что определение скорости обезуглероживания повысило количество плавок, находящихся в заданных пределах с первой повалки, на 5 – 7 %, что снижает себестоимость стали и повышает ее качество.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФХОТМ Богушевский В.С.

## ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА С УЧЕТОМ МАССЫ «БОЛОТА» В ДСП

Кулик Д.О. (МЧМ-088)\*

Донецкий национальный технический университет

По ходу плавки сталевару необходимо получить к моменту выпуска определенную температуру. Сделав замер температуры нужно определить, сколько осталось ввести электроэнергии. По количеству электроэнергии, введенной в печь к моменту первого замера температуры, можно судить о полноте расплавления завалки.

По данным завода «Электросталь» (г. Курахово) отношение температуры к введённой энергии изменяется в очень широких пределах - от 3,6 до 5,8 °С/(кВт\*ч/т), и в среднем составляет 4,74 °С/(кВт\*ч/т) (сплошная линия на рисунке). Средняя удельная теплоёмкость железа в интервале температур 0-1600 °С составляет около 0,21 кВт\*ч/(т\*°С), что приблизительно соответствует максимально возможному коэффициенту нагрева металла 4,76 °С/(кВт\*ч/т). Средний расход общей энергии при выплавке стали составляет около 410 кВт\*ч/т на тонну лома при средней температуре выпуска 1613 °С, что соответствует коэффициенту нагрева 4 °С/(кВт\*ч/т) (пунктирная линия на рисунке).

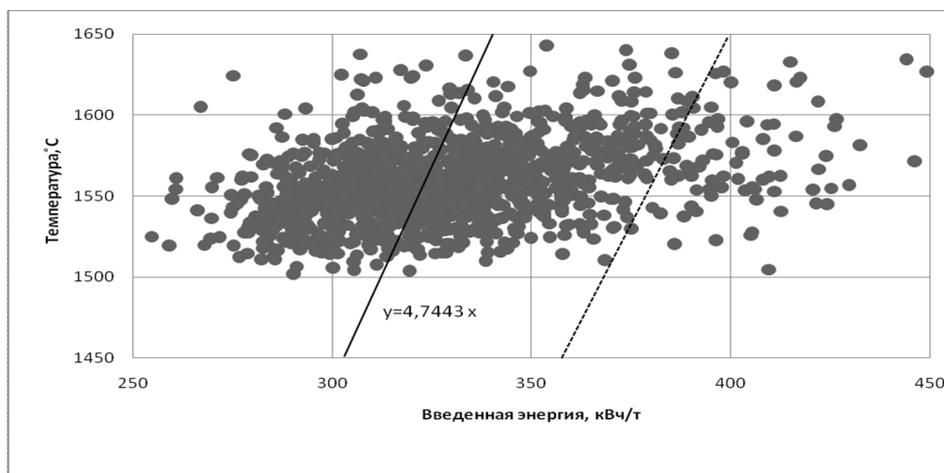


Рисунок – Зависимость первого замера температуры от введенной энергии

Таким образом, все точки левее пунктирной линии соответствуют дополнительному приходу тепла в ванну до первого замера за счет тепла "болота". Точки справа - плавки после длительных простоев и первые плавки в серии. Приведенные данные свидетельствуют о существенной роли "болота" в тепловом балансе плавки стали. Например, для нагрева ванны до 1550 °С необходимо 380 кВт\*ч/т, а реальный расход энергии составляет от 260 кВт\*ч/т (в среднем 320 кВт\*ч/т), что соответствует доле тепла, вносимого болотом и футеровкой до 32% (в среднем 16%).

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМ Храпко С.А.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВРЕМЯ КОНТАКТА МЕТАЛЛА И ВЫСОКООКИСЛЕННОГО ПЕЧНОГО ШЛАКА НА ВЫПУСКЕ

Писковатсков К.Э. (МЧМ-116м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В процессе взаимодействия раскисленного металла и окисленного шлака (например, при попадании печного шлака в ковш на выпуске металла из печи) происходит процесс восстановления марганца и фосфора. Данный процесс объясняется сверхравновесным содержанием кремния. Восстановление марганца и фосфора из шлака продолжается, пока содержание кремния не снизится до равновесного значения, после чего процесс перехода марганца и фосфора обращается – происходит их снижение до равновесных значений.

Для исследования поведения марганца при внепечной обработке проведено моделирование выплавки стали 10Г2С с помощью системы «Оракул». Химический состав полупродукта приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав полупродукта, %

О	С	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,1500	0,37	0,23	0,0003	0,23	0,0055	0,16	0,23	0,24

В таблице 2 приведены материалы, которые используются для достижения заданного химического состава стали в ходе ее внепечной обработки. Вариант 1 соответствует попаданию в ковш по окончанию слива металла печного шлака, вариант 2 – полной отсечке шлака при выпуске.

Таблица 2 – Материалы, отдаваемые в ковш

Время, мин	Материал	Масса, т (вар.1)	Масса, т (вар.2)
0	Металл (распл)	100	100
1	Al (II)	0,2	0,2
1	Кокс	0,1	0,1
2	СМн17	1,150	1,550
3	ФС65	1,2	0,75
5	Шлак (распл)	6	-
16	Известь	1	1

На рисунках 1 и 2 приведены расчетные зависимости, описывающие поведение марганца и других элементов во время контакта полупродукта и печного шлака.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМ Храпко С.А.

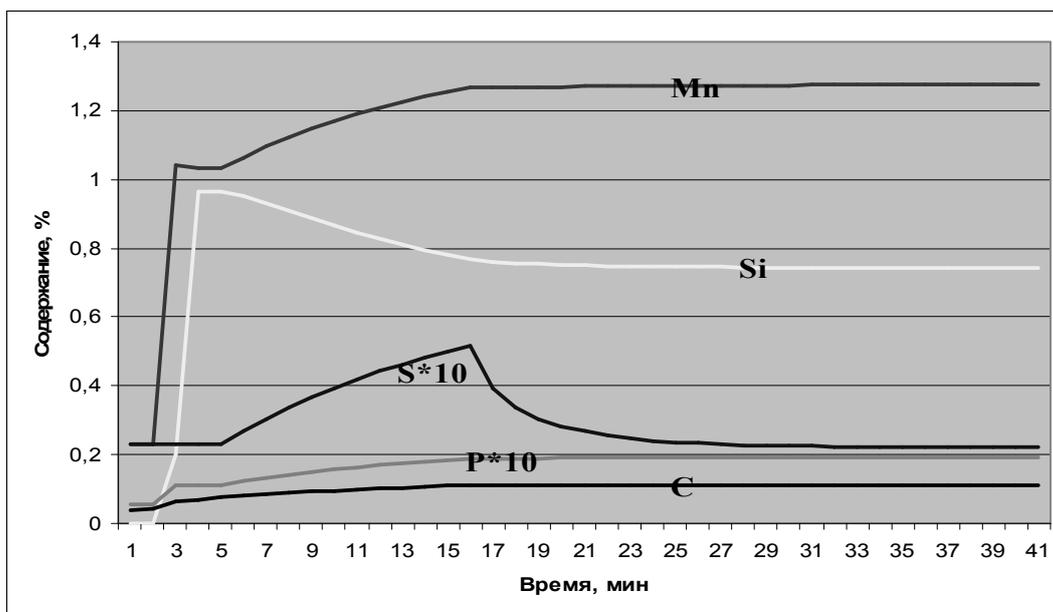


Рисунок 1 – Поведение элементов при попадании шлака в ковш

Как видно из рис.1, восстановление марганца из шлака происходит с 5 минуты (попадание в ковш печного шлака) до 15 минуты (произведено скачивание ковшевого шлака).

В случае отсечки печного шлака при выпуске металла (рис.2) восстановление марганца из шлака не происходит. Отсутствие окисленного печного шлака приводит к снижению расхода ферросилиция на 450 кг, однако потребность в силикомарганце увеличивается на 400 кг.

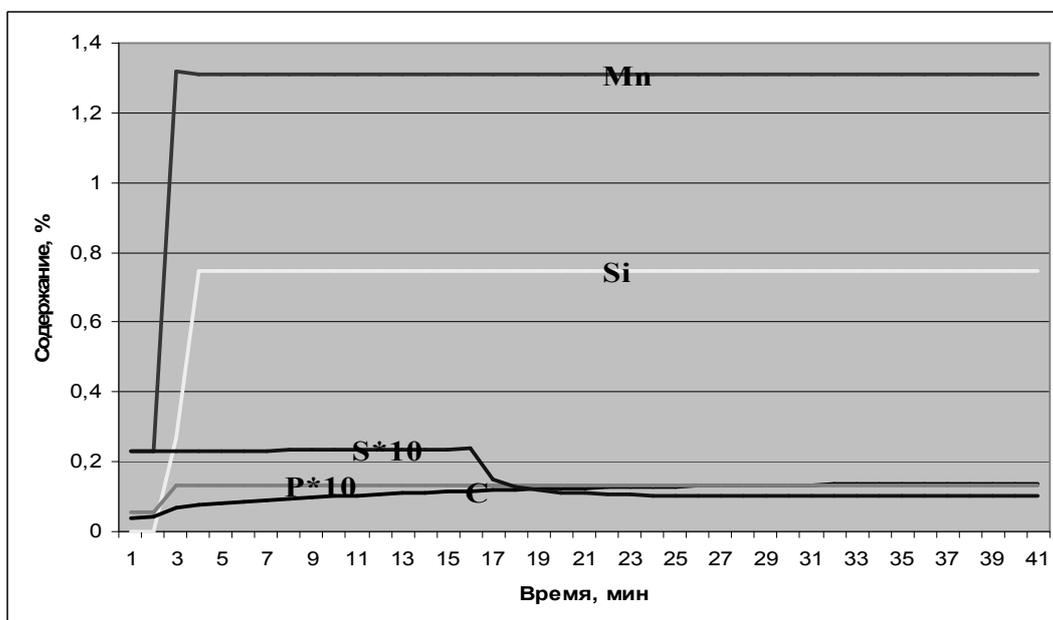


Рисунок 2 – Поведение элементов в случае отсечки шлака

Таким образом, попадание в ковш печного шлака увеличивает расход ферросилиция, однако позволяет экономить дорогостоящий силикомарганец, что приводит к значительному снижению затрат на производство стали.

# ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ НА УКП ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОДУВКИ АРГОНОМ

Чаленко В.В. (МЧМ-11вм), Когтев С.А. (МЧМ-10вм)\*  
Донецкий национальный технический университет

Кинетика процесса десульфурации стали шлаком преимущественно определяется интенсивностью массопереноса примеси в объёме металла. В связи с этим в металлургической практике принято считать, что скорость десульфурации тем выше, чем больше расход аргона при обработке на УКП, что объясняется ускорением массообмена в объёме расплавленного металла. Однако подобная зависимость не является прямо пропорциональной.

В данной статье представлены результаты изучения влияния интенсивности продувки аргоном на УКП на степень удаления серы из металла в шлак. В частности, рассмотрен вопрос влияния размеров продувочного пятна, возникающего на поверхности расплава, на степень десульфурации.

Для оценки достигаемой степени десульфурации стали на УКП в зависимости от длительности обработки с учётом основных технологических параметров можно воспользоваться выражением:

$$\eta_s = \frac{1 - \exp(-8.9 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{F}{A} \cdot \frac{A}{V} \cdot t \cdot (1 + \frac{1}{L_s \cdot M_l})})}{1 + \frac{1}{L_s \cdot M_l}}, \quad (1)$$

где:  $F$  - расход инертного газа, м<sup>3</sup>/с;  $A$  - площадь поверхности контакта металл-шлак, м<sup>2</sup>;  $V$  - объём стали в ковше, м<sup>3</sup>;  $t$  - длительность обработки, с;  $L_s$  - коэффициент распределения серы;  $M_l$  - относительная масса шлака.

Часто в расчётах площадь поверхности контакта металл-шлак принимают постоянной. Однако при изменении интенсивности продувки размер площади контакта между шлаком и металлом  $A$  может заметно изменяться из-за появления, так называемого, продувочного пятна:

$$A = A_{нов} - A_{пятн}, \quad (2)$$

Для расчёта величины площади продувочного пятна можно воспользоваться следующим выражением:

$$A_{пятн} = 0,414 \cdot F^{-0.22} \cdot H^{3.78} \cdot ((1 + 11.6 \cdot F^{0.74} \cdot H^{-2.46})^{1.5} - 1), \quad (3)$$

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМ Костецкий Ю.В.

где:  $F$  - интенсивность продувки,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $H$  – глубина ванны, м.

На рисунке представлены результаты расчётов по формуле (1) с учетом и без учета размеров продувочного пятна. Во всем рассмотренном диапазоне расходов наблюдаются существенные расхождения в полученных результатах. Уже при расходах превышающих  $0,08 \text{ м}^3/\text{т}$  разница в результатах расчета достигает 10%. Более того, полученные зависимости имеют разный вид. А увеличение интенсивности продувки свыше определенного значения ведет к уменьшению степени десульфурации металла за период обработки.

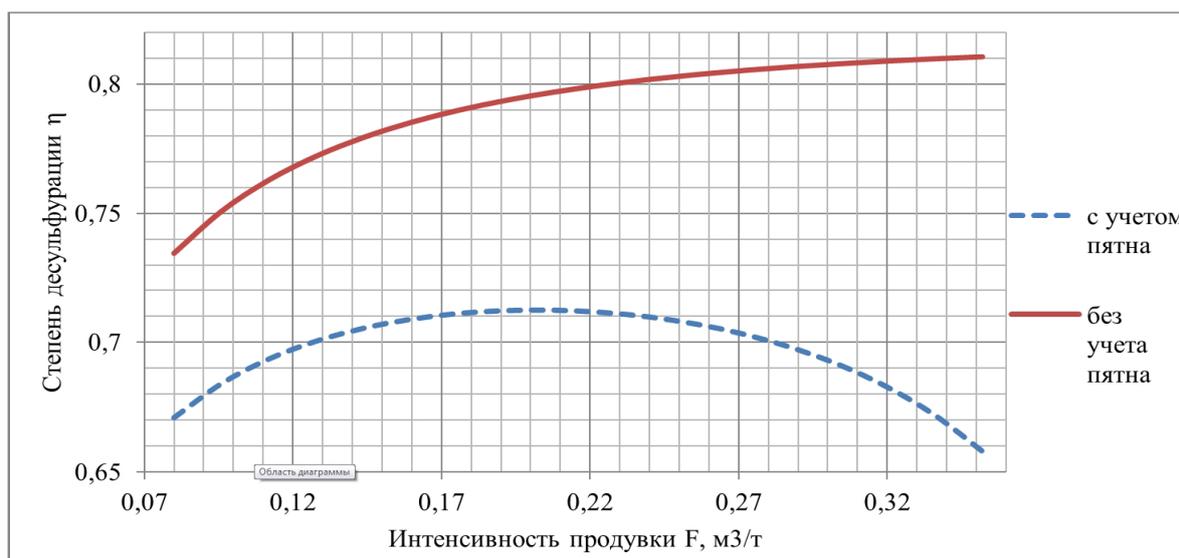


Рисунок - Сравнение результатов расчёта теоретических значений  $\eta$ .

В таблице 1 представлено сравнение фактических показателей степени десульфурации  $\eta_{\text{факт}}$ , полученных для реальных плавков на Донецком металлургическом заводе, с рассчитанными для этих же условий.

Таблица 1 - Сравнение фактических и теоретических показателей  $\eta$ .

$\eta_{\text{теор}}$	0,66	0,66	0,68	0,69	0,72	0,72	0,72	0,73
$\eta_{\text{факт}}$	0,62	0,66	0,67	0,69	0,64	0,68	0,72	0,66

В целом можно отметить достаточное хорошее совпадение результатов. В расчет не принималось изменение расхода аргона по ходу обработки.

Проведенное исследование показало, что при расчете достигаемой степени десульфурации металла в процессе обработки стали на УКП следует принимать во внимание изменение площади границы раздела шлак металл. Кроме того, увеличивать интенсивность продувки расплава инертным газом с целью интенсификации процесса десульфурации можно лишь до определенных пределов. При больших расходах может наблюдаться обратный эффект – уменьшение степени десульфурации металла, обусловленное уменьшением площади контакта между шлаком и металлом.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ШЛАКОВОЙ ВАННЕ ПЕЧИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

Уткин А.С. (МЧМ-11вм)\*

Донецкий национальный технический университет

В основу модели положена эквивалентная схема замещения шлаковой ванны (рис. 1). Значение сопротивления каждого резистора и их количество в схеме рассчитываются в зависимости от количества и геометрических размеров ячеек на которые условно разделяется шлаковая ванна. Электрический расчет схемы производится методом контурных токов.

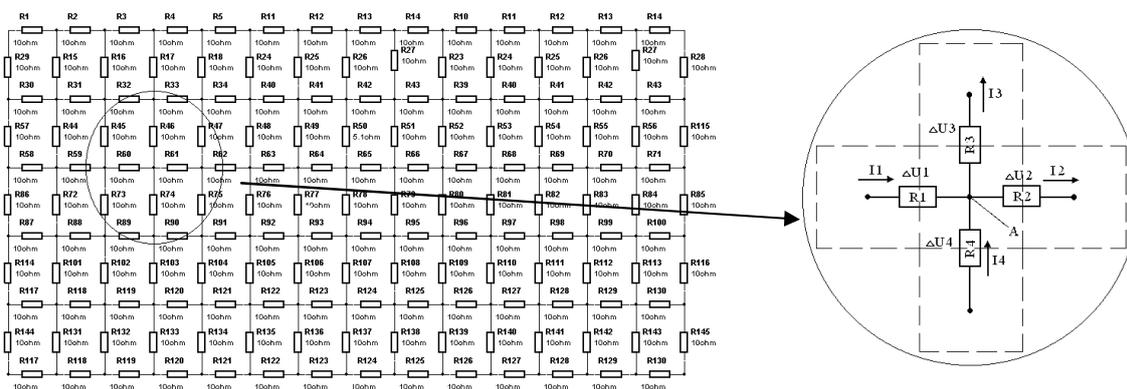


Рисунок 1 – Электрическая схема замещения шлаковой ванны

По предложенной схеме составлена компьютерная программа, которая позволяет рассчитать поля потенциалов, сопротивление и ток через шлаковую ванну, в зависимости от приложенного напряжения, заданных геометрических размеров ванны, удельного сопротивления шлака и заглубления электрода.

Для проверки программы провели физическое моделирование. Собрали две модели. На первой (рис. 2а) проводили измерение удельного сопротивления моделирующей жидкости (дистиллированная вода). Для чего в колбу с жидкостью погружались два плоских электрода через которые пропускали переменный электрический ток. Расстояние между электродами фиксировалось. Проводили замер тока протекающего между электродами  $I$  и по известному приложенному напряжению  $U$  рассчитывали сопротивление жидкости между электродами:  $R=U/I$ . По известной площади электродов  $S$ , расстоянию  $L$  и сопротивлению  $R$  между ними, рассчитывали удельное сопротивление жидкости:  $R_{уд} = (R \cdot S)/L$ , которое в дальнейшем использовали в математической модели.

На второй модели (рис. 2б) проводили моделирование электрошлакового процесса. На дно прозрачного стакана с водой клали оцинкованную пластину, которая моделировала зеркало металлической ванны и в жидкость погружали «расходуемый» электрод. На «электрод» и «металлическую ванну» подавали

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

переменное напряжения и фиксировали протекающий ток. Далее заглублиение электрода увеличивали и эксперимент повторяли. В результате получили зависимость тока через «шлаковую ванну» в зависимости от глубины погружения «электрода».

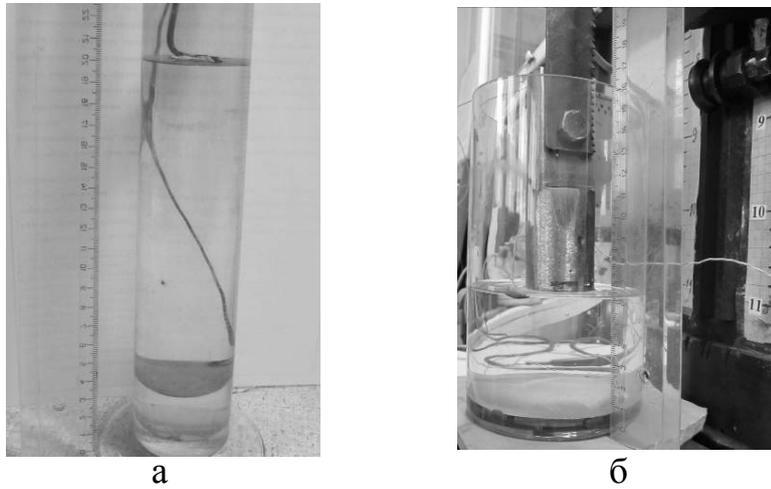


Рисунок 2 – Установки для физического моделирования

Затем, параметры физической модели (геометрические размеры «шлака» и «электрода», удельное сопротивление), заносились в математическую и проводился расчет тока в зависимости от заглублиения электрода. Результаты полученные на физической и математической моделях шлаковой ванны приведены на рис. 3.



Рисунок 3 – Результаты моделирования

Видно, что значения тока переплава, рассчитанные с помощью математической модели, хорошо согласуются с результатами физического моделирования, а большие отклонения наблюдаются лишь при большом заглублиении. Таким образом, предложенная модель может использоваться для расчета тока переплава в зависимости от параметров шлаковой ванны.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА СЕРЫ В ГАЗОВУЮ ФАЗУ ПРИ КИСЛОРОДНОЙ ПРОДУВКЕ

Резникова-Сербененко Ю. В. (МЧМ-11вм)\*  
Донецкий национальный технический университет

Одной из особенностей метода сульфидного рафинирования железуглеродистых расплавов от растворенной меди является высокое остаточное содержание серы в металле после его обработки серосодержащими материалами. При этом содержание серы в высокоуглеродистом расплаве может достигать 0,5% и более, что в несколько раз превышает значения, достигаемые при производстве чугуна и стали по традиционным технологиям.

Задача дефосфорации такого металла до содержаний серы, приемлемых для современных сталеплавильных технологий связана с необходимостью разработки эффективной технологии рафинирования. Поскольку для снижения концентрации серы в металле в десять раз и более потребуется повышенный расход материалов, энергоресурсов и времени. Так расход шлака на рафинирование одной тонны металла можно оценить из выражения:

$$m_{\text{шл}} = \frac{100 \cdot ([\%S]_{\text{нач}} - [\%S]_{\text{кон}})}{L_S \cdot [\%S]_{\text{кон}}} \quad (1)$$

где  $[\%S]_{\text{нач}}$ ,  $[\%S]_{\text{кон}}$  – начальное и конечное содержание серы в металле, %;  $L_S$  – коэффициент распределения серы между металлом и шлаком.

В связи с этим представляет интерес изучить возможность удаления серы в газовую фазу из высокосернистого высокоуглеродистого расплава в ходе его кислородной продувки. Переход серы из металла в газовую фазу с образованием  $\text{SO}_2$  наблюдается при окислительном рафинировании расплавов. Однако практического применения десульфурация с переводом серы в газовую фазу в металлургической практике не имеет.

Парциальное давление паров серы в равновесии с ее раствором в расплавленном железе можно определить из уравнения:

$$\lg K_S = \lg \left( \frac{f_S [\%S]}{\sqrt{p_{S_2}}} \right) \frac{3760}{t} + 0.535 \quad (2)$$

Расчеты по формуле (2) показывают, что для условий сталеплавильных процессов давления паров серы измеряются сотнями паскалей. Однако, образование в газовой фазе оксидов серы увеличивает равновесное содержание серы в газовой фазе.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМ Костецкий Ю.В.

Следует также принимать во внимание, сера является поверхностно активным элементом и, следовательно, ее поверхностная концентрация существенно отличается от объемной концентрации. По расчетам С. И. Попеля концентрация серы в поверхностном слое на три порядка превосходит объемную при ее содержании в металле в пределах 0,04-0,07%. Поэтому рассматривая процесс перехода серы в газовую фазу в кинетическое уравнение нужно подставлять поверхностную концентрацию, которую вычислить по формуле:

$$x'_S = x_S + A\Gamma_S \quad (3)$$

где  $x'_S$  и  $x_S$  - мольные доли серы в поверхностном слое и в объеме расплава;  $\Gamma_S$  - адсорбция;  $A$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

Для разбавленного раствора :

$$x_S = \frac{[\%S]M_{Fe}}{100M_S} \quad (4)$$

Тогда поверхностная концентрация серы равна:

$$[S]_{нов} = [S]_{об} + 100A\Gamma_S \frac{M_S}{M_{Fe}} \quad (5)$$

И, соответственно, кинетическое уравнение окисления серы кислородом газовой фазы с парциальным давлением  $p_{O_2}$  будет иметь вид:

$$-\frac{d[S]}{d\tau} = Kp_{O_2} \{ [S]_{нов} - Kp_{O_2} \left( [S]_{об} + 100A\Gamma_S \frac{M_S}{M_{Fe}} \right) \} \quad (6)$$

После интегрирования уравнения (6) можно получить формулу для расчета скорости изменения концентрации серы. Можно предположить, что при высоких концентрациях серы в расплаве она будет постоянной. Однако для строгого решения данной задачи необходимо еще учесть влияние кислорода, также являющегося поверхностно активным элементом, на концентрацию серы на границе раздела фаз.

Лабораторные эксперименты, в ходе которых изучали окисление серы, растворенной в жидком железе, с ее переходом в газовую фазу, показали, что для достижения положительного результата необходимо поддерживать высокое парциальное давление кислорода в газовой фазе. Продувка расплава воздухом в течении 15 минут не привела к изменению концентрации растворенной серы из чего следует, что для обеспечения высокого парциального давления кислорода в газовой фазе продувать нужно чистым кислородом.

# ВПЛИВ ТЕРМОЦИКЛУВАННЯ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Кролік К.С., Бабій О.І. (ПМ-41)\*

Луцький національний технічний університет

Широке застосування знайшли такі термопари, як хромель-копель, хромель-алюмель, платина-платинородій, а от використання термопари залізо-константан в країнах пострадянського простору обмежене в силу недостатньої вивченості.

Відомо, що всі термопари й у тому числі залізо-константан, у процесі експлуатації змінюють свою термоелектрорушійну силу (термо-ЕРС). Відхилення термо-ЕРС від початкової величини (термоелектрична нестабільність) є основним джерелом зниження точності і об'єктивності вимірювання температури. Для обліку і зменшення погрешностей, викликаних нестабільністю термо-ЕРС, тобто для підвищення точності вимірювання і регулювання температури за допомогою термопар, необхідне вивчення стабільності їхніх термоелектричних властивостей. Таке дослідження особливо важливе для термоелектродних матеріалів на основі недорогих металів, тому що процеси, що приводять до зміни термоелектричних характеристик, протікають інтенсивніше, ніж, наприклад, у сплавах дорогих металів.

При зростанні вимог до точності вимірювання в умовах циклічної зміни температури вивчення дестабілізації термо-ЕРС, викликані термонавантаженнями, набуває актуальності.

Ми змоделювали термоудари та проаналізували характер впливу на електрофізичні властивості термоелектродних матеріалів залізо та константан.

Для дослідження впливу термоциклування на електрофізичні властивості термоелектродних матеріалів заліза та константану зразки стандартизованого дроту з цих матеріалів діаметром 0,5 мм та довжиною 270 мм нагрівали струмом на спеціально сконструйованій установці до температури 773К протягом 30с і швидко охолоджували в 10% розчині NaCl. Температура нагріву виставлялась за електроопором R зразка з врахуванням відомої залежності R(t) з допомогою амперметра та вольтметра. Термоци-клування константану проводили в середовищі аргону, а заліза, з метою порівняння, – і на повітрі, і в захисному середовищі.

Вивчено вплив циклічної зміни температури на структуру та електрофізичні властивості термоелектродних матеріалів залізо, константан. Встановлено, що термоциклування заліза і константану призводить до збільшення термо-ЕРС., порівняно з її значенням в рекристалізованому стані. Отримано залежність між електроопором та кількістю циклів, слід відмітити, що електроопір всіх досліджуваних зразків збільшується.

Проаналізовано вплив циклічної зміни температури на стабільність

---

\* Керівник – к.т.н., доцент Мельничук М.Д.

показів термопари З-Кн. Відхилення показів термопари, циклованої на повітрі, складає близько 0,7 % або 3,0 °С, та близько 0,5 % або 2,0 °С за температури спаїв від 0°С до 500°С.

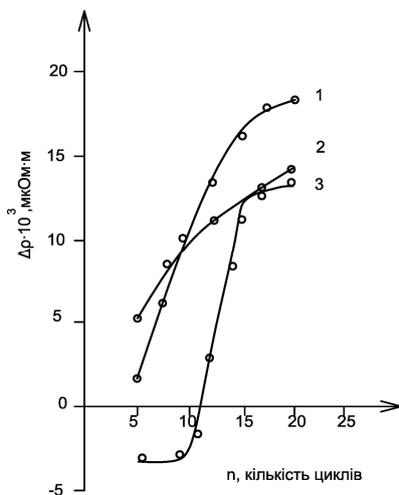


Рисунок 1. - Залежність відносної зміни електроопору термо-електродних матеріалів залізо та константан від кількості циклів: 1 – залізо (на повітрі); 2 – залізо (в аргоні); 3 – константан.

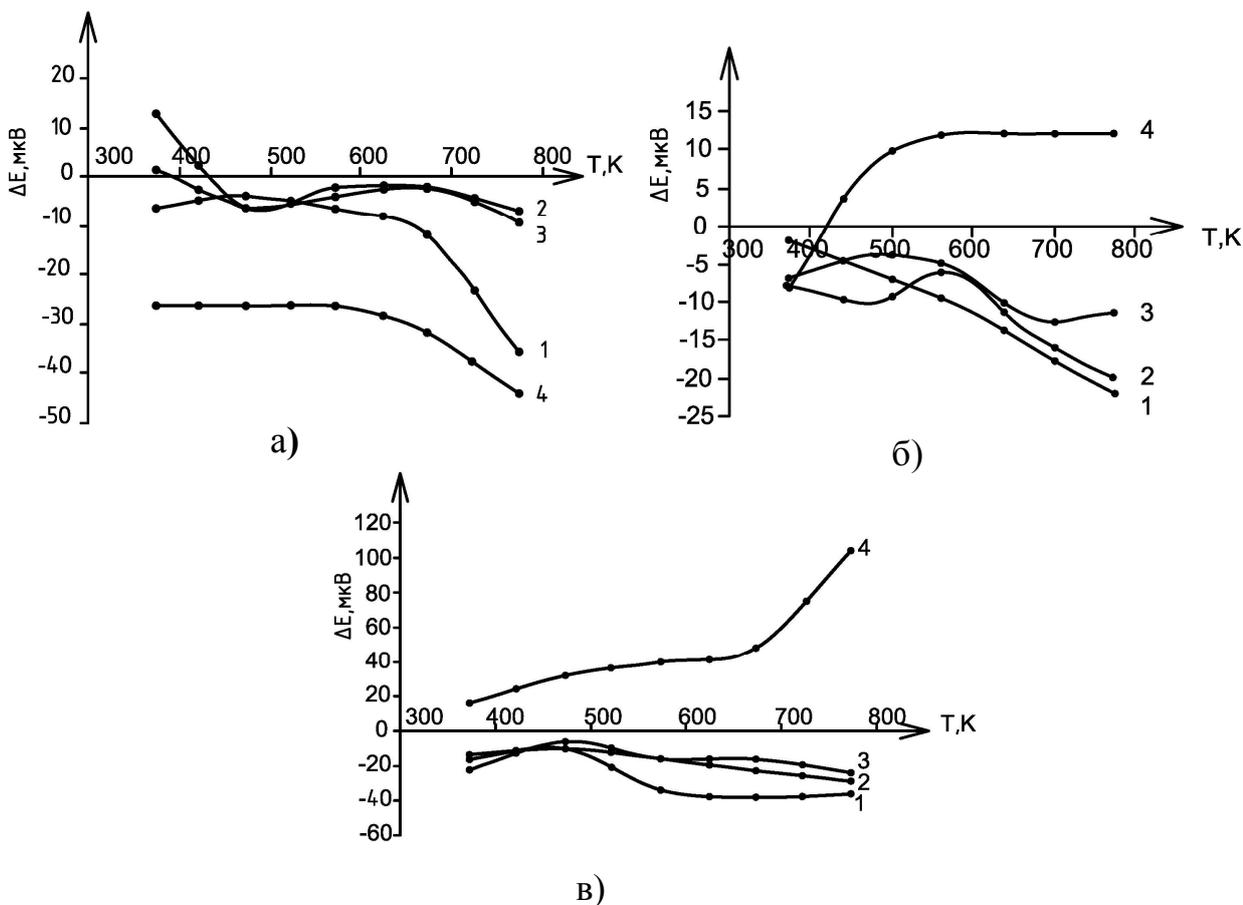


Рисунок 2. - Температурна залежність наведеної інтегральної термо-ЕРС заліза ( а - на повітрі; б – в середовищі аргону) та константану ( в – в середовищі аргону): 1 – 5 циклів; 2 – 10 циклів; 3 – 20 циклів; 4 – 40 циклів

# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



## ОСОБЕННОСТИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ МЕДИ НА РОТОРНОЙ МНЛЗ

Герасимук В.Н. (МКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Разливка меди на сортовые непрерывнолитые заготовки имеет целый ряд особенностей, что в ряде случаев и определяет их качество. Одной из таких особенностей является появления внутренних трещин при разгибе заготовки, а также образования пористости в осевой зоне заготовки в процессе затвердевания.

Образование внутренней пористости следует связывать с затрудненными условиями питания жидкой зоны заготовки на конечной стадии затвердевания, где вязкость расплава значительно увеличивается, а растущие дендриты препятствуют продвижению жидкости. Это может приводить к появлению осевой усадочной пористости, отрицательно влияющей на качество металлопродукции.

Таким образом, моделирование условий затвердевания заготовки представляется важной задачей, поскольку позволит рассчитывать положение зоны окончания жидкой фазы.

Теплофизические процессы в системе «колесо – заготовка - лента» включают перенос (перераспределение) тепловой энергии между данными элементами и окружающей средой в определенный промежуток времени, а также выделение тепла непосредственно при кристаллизации меди (рис.).

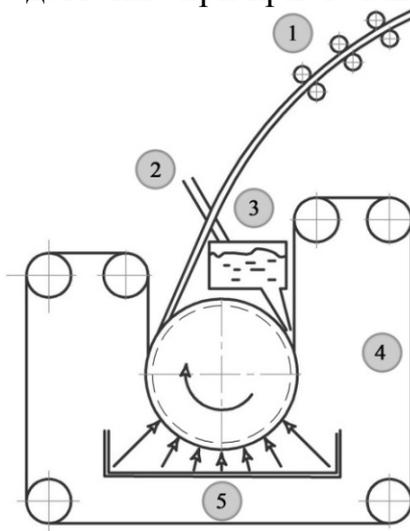


Рисунок - Принципиальная схема разливки меди на колесо:

1 – получаемый брусок; 2 – подача меди от ковша; 3 – промежуточный ковш; 4 – стальная лента; 5 – зона водяного охлаждения

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

В качестве рассматриваемой исследуемой области выбираем поперечное сечение в плоскости, перпендикулярной окружности колеса. Расчетная область включает в себя точки, принадлежащие колесу и отливаемой заготовке.

Моделирование процессов формирования заготовки выполнено на базе основных законов теплофизики многофазных сред. После расчета распределений температурного поля и доли твердой фазы в заданных сечениях заготовки (начиная от мениска) определяются геометрические размеры затвердевшей части и приходящееся на нее количество элементарных слоев по толщине и по ширине заготовки.

Теплоперенос в медной заготовке описывается следующим уравнением:

$$\rho_3 C_{3,эф} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_3 \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_3 \frac{\partial T}{\partial r} \right),$$

где  $T$  – температура в рассматриваемой точке, °С;

$x$  – координата по оси в направлении толщины колеса, м;

$r$  – координата по оси в направлении радиуса колеса, м;

$\tau$  – время от момента заливки расплава в кристаллизатор, с;

$\rho_3$  – плотность материала бруска, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_3$  – теплопроводность материала бруска, Дж/(м·К·с);

$C_{3,эф}$  – эффективный коэффициент теплоемкости

Математическая модель дополняется системой граничных условий, необходимых для решения поставленной задачи. В начальный момент времени задаются постоянные поля температуры по всему рабочему сечению.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет имитировать затвердевание медной заготовки на колесе. Важнейшим элементом моделирования является определение положения жидкой фазы на конечной стадии затвердевания. Фактически эта информация позволяет оптимизировать качество заготовки. Для обеспечения качества заготовки (в том числе внутренних объемов) в процессе разлива меди на колесо необходимо строго соблюдать совокупность таких неразрывно связанных между собой технологических параметров литья как: скорость движения заготовки, профиль кристаллизатора, температура разливаемой меди, которые учитывают особенности формирования твердой корочки в условиях используемого колеса. Целесообразно осуществлять контроль профиля рабочей полости колеса и определить допустимые отклонения в износе профиля. При этом отклонение от номинальных параметров литья может привести к неравномерному контакту затвердевающей корочки со стенкой колеса, что может стать причиной возникновения дефектов геометрической формы заготовки.

## АЛЮМИНИЙ И ЕГО РОЛЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Цепкова Л.Ю. (МЕТ 11а)\*

Донецкий национальный технический университет

До конца XIX века алюминий и его сплавы ценились на вес золота: алюминиевые сплавы использовались для производства ювелирных украшений и предметов роскоши. К началу XX века был изобретён менее затратный способ получения «металла из глины» и его сплавы стали использоваться во многих областях промышленности.

Алюминий в производстве металлов занимает второе место (после железа). Широкое применение алюминия в промышленности, прежде всего, связано с его большими природными запасами, а также совокупностью химических, физических и механических характеристик. Алюминий относительно дешев, обладает высокой пластичностью, удельной прочностью, коррозионной стойкостью, а также имеет высокую электропроводность (чистый алюминий проводит электрический ток в четыре раза лучше, чем сталь).

Алюминий и его сплавы находят все более широкое применение для изготовления деталей и узлов в автомобилестроении, сельхозмашиностроении, пищевой промышленности, химическом машиностроении и т.д. Многие детали из алюминиевых сплавов, например, поршни двигателей внутреннего сгорания, подвергаются воздействию коррозионных сред, высоких температур, абразивной или газоабразивной среды и т.д. Часто им приходится работать в условиях одновременного воздействия многих внешних факторов при статическом или циклическом нагружении. Литейные алюминиевые сплавы являются первоклассным сырьём для фасонной отливки корпусов механизмов и деталей сложных конфигураций. Поэтому для повышения работоспособности различных алюминиевых деталей используют наплавку специальными сплавами, обеспечивающими получение требуемых свойств: повышенную износостойкость, антифрикционные свойства, жаропрочность и т.п.

Главное достоинство алюминия - его легкость. Он хорошо куется, прокатывается и выдавливается как в холодном состоянии, так и при темно-красном калении. Для повышения механической прочности в алюминий вводят легирующие добавки - Mg, Mn, Cu, Si, Zn. Сплавы алюминия разделяют на деформируемые и литейные.

В первую мировую войну немецкий специалист Альфред Вильм изобрел дуралюмин (дюраль) - сплав алюминия с небольшими добавками меди, магния и марганца, по механическим свойствам близкий конструкционной стали. Дуралюмин был первым из обширной серии алюминиевых сплавов, разработка которых существенно расширила возможности использования этого металла.

Алюминий - сырьё для алюмотермии - метода получения тугоплавких металлов.

---

\* Руководитель – старший преподаватель кафедры физики Савченко Т.А.

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ РУД ТИТАНА

Гончар Д.П. (МКМ08) \*

Донецкий национальный технический университет

*Титановые руды* – это природные минеральные образования, содержащие титан в виде рутила, анатаза, брукита, ильменита, лопарита, титанита, перовскита, титаномагнетита. Основными источниками рудного вещества в месторождениях являются магма; ассимилят, возникший при захвате магмой ранее образовавшихся минеральных масс; продукты деструкции коренных пород под воздействием различных внешних факторов. Месторождения титановых руд делят на магматические, экзогенные и метаморфогенные.

Магматические месторождения формировались на базе хорошо дифференцированных интрузий габбро-пироксенит-дунитовой формации. Известны месторождения в анортозитах с ильменитовыми и рутил-ильменитовыми рудами и месторождения в габбро с ильменит-магнетитовыми рудами. Они связаны с ультраосновными, основными и щелочными породами, содержат 7...32%  $TiO_2$ . Крупные магматические месторождения известны в России, Канаде, США.

Наиболее значительные магматические месторождения титана приурочены к крупным массивам анортозитовой формации. В России к ним принадлежат месторождения Восточного Саяна. Мало-Тагульское месторождение ильменит-титаномагнетитовых руд занимает площадь более 200 км<sup>2</sup>. Содержание железа в рудах 20...33%,  $TiO_2$  в концентратах — 12...16%.

Экзогенные месторождения сформированы в результате разрушения пород, содержащих ильменит, рутил и анатаз. Они представлены прибрежно-морскими, пролювиальными и аллювиальными россыпями, среди которых известны как древние (ископаемые) палеозойского, мезозойского, палеогенового и неогенового возраста, так и современные образования. Крупные россыпи известны в России, Украине, Австралии, Индии, Бразилии. Среди россыпных месторождений титана различают прибрежно-морские и континентальные. Главными являются прибрежно-морские комплексные ильменит-рутил-цирконовые россыпи. Рудные тела континентальных россыпей ильменита имеют обычно лентовидную форму и приурочены к долинам рек. Рудные минералы сконцентрированы в нижних горизонтах и представлены крупнозернистым песком, гравием. Иршинское месторождение (Володарско-Волынский массив, Украина) образовано при перемыве каолиновых кор выветривания, залегает в подморенных песках на междуречьях и террасах р. Ирши. Мощность пласта достигает 15 м, а содержание ильменита - 200 кг/м<sup>3</sup>.

Среди метаморфогенных месторождений выделяются песчаники с лекоксомом (8...10%  $TiO_2$ ); ильменит-магнетитовые в амфиболитах (12,2%  $TiO_2$ ); рутиловые в гнейсах, хлоритовых сланцах и др.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры КМиКМ Корицкий Г.Г.

# КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Однойко Ю.С. (МКМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Известно, что атом любого вещества представляет собой сложную конструкцию, состоящую из ядерной и электронной компонент, формирующих различные силовые поля, соответствующие их природе, состоянию, конфигурации и пр. В итоге, атом каждого химического элемента обладает индивидуальным силовым полем не только сложной конструкции, но и оригинальной пространственной ориентации. Пространственная компонента этого поля, его топография, ответственна за тип кристаллической решетки, а силовая – за ее параметры. Именно этим можно объяснить все многообразие и неповторимость кристаллических форм в системе химических элементов.

Известно, что изменение энергетического состояние атома, например, его температуры, может послужить причиной спонтанного изменения силового поля, что приводит к смене кристаллической системы. Такие метаморфозы в кристаллах называют аллотропическими, а явление - полиморфизмом. О том, что на склонность к полиморфизму оказывает влияние конструкция атома, можно судить по данным, приведенным на рисунке.

H (2)							He(7)										
Li(3)	Be(2)	B(10)	C(4)	N(2)	O(3)	F(2)	Ne										
Na(2)	Mg	Al	Si(4)	P(10)	S(4)	Cl	Ar										
K	Ca(2)	Ga(4)	Ge(2)	As(2)	Se(3)	Br	Kr	Sc(2)	Ti(2)	V	Cr	Mn(4)	Fe(4)	Co(2)	Ni	Cb	Zn
Rb	Sr(3)	In	Sn(3)	Sb(3)	Te(4)	I	Xe	Y(2)	Zr(3)	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Cs(3)	Ba(2)	Tl(2)	Pb	Bi(5)	Po(2)	At	Rn	Lu	Hf(2)	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg(2)
s-группа		p-группа						d-группа									
La(3)	Ce(4)	Pr(2)	Nd(2)	Pm	Sm(2)	Eu	Gd(2)	Tb(3)	Dy(2)	Ho(2)	Er	Tm	Yb(2)				
Ac	Th(2)	Pa(2)	U(3)	Np(3)	Pu(6)	Am(2)	Cm(2)	Bk(2)	Cf(3)	Es							
f-группа																	

Рисунок - Склонность химических элементов к полиморфизму  
(в скобках указано количество полиморфных разновидностей)

Приведенные данные позволяют судить о том, что моно- и полиморфные элементы создают, за редким исключением, «семейства», занимая группы соседствующих клеток. На основании приведенных данных нами было сделано следующее заключение:

- атомы химических элементов имеют собственные оригинальные силовые поля, адекватные их внутреннему строению и, в ряде случаев, способные спонтанно изменять свои параметры (топографию, величину отдельных векторов), что приводит к полиморфизму;

- закономерное изменение конструкции атома приводит к нарушению стабильности его силового поля при различных энергетических воздействиях.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры КМиКМ Корицкий Г.Г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДОВ

Дорошок Д.В. (МКМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Системы оксидов являются основными компонентами земной коры, а следовательно, и промышленного сырья для производства металлов, сплавов и других материалов. Поэтому данные о оксидах металлов имеют большое практическое значение для многих научных дисциплин и технологий материалов, определяющих научно-технический прогресс современного общества.

Существенным моментом исследования оксидов является анализ их форм, т.е. какую валентность проявляет элемент при взаимодействии с кислородом. Для этого была собрана информация о оксидах по каждому из веществ таблицы Д.И. Менделеева. В общем, набралось более 240 оксидов.

Выяснилось, что вещества в рамках каждого периода склонны образовывать определённые оксиды в соответствии с группой (табл.1- 3.).

Таблица 1 - Обобщенные формулы оксидов в периоде по группам

группа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
обобщённая формула	R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RO <sub>4</sub>

(R – атом соответствующего элемента, O - атом кислорода)

Таблица 2 - Оксиды веществ второго периода

<b>2 - период</b>	<b>группа</b>								<b>O/R</b>
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	
	<b>Li<sub>2</sub>O</b>		<b>B<sub>2</sub>O</b>		<b>N<sub>2</sub>O</b>		<b>F<sub>2</sub>O</b>		<b>0,5</b>
	<b>Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>BeO</b>	<b>BO</b>	<b>CO</b>	<b>NO</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>		<b>1</b>
		<b>Be<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		<b>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>				<b>1,5</b>
				<b>CO<sub>2</sub></b>		<b>O<sub>3</sub></b>			<b>2</b>
				<b>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				<b>2,5</b>	

Таблица 3 - Оксиды веществ третьего периода

<b>3 - период</b>	<b>группа</b>								<b>O/R</b>
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	
	<b>Na<sub>2</sub>O</b>			<b>SiO</b>			<b>Cl<sub>2</sub>O</b>		<b>0,5</b>
	<b>Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>MgO</b>					<b>ClO</b>		<b>1</b>
			<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		<b>P<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>			<b>1,5</b>
	<b>NaO<sub>2</sub></b>			<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>ClO<sub>2</sub></b>		<b>2</b>
					<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				<b>2,5</b>
						<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>		<b>3</b>
							<b>Cl<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>		<b>3,5</b>
					<b>SO<sub>4</sub></b>			<b>4</b>	

Эти закономерности находят естественное объяснение в модели электронного строения атомов и в простых теориях химической связи.

\* Руководитель – ассистент кафедры ЦМиКМ Мартыненко А.Н.

## ПОДГОТОВКА ВТОРИЧНОГО СВИНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ К ПЛАВКЕ

Гурова В.В. (МКМ-11М)\*

Донецкий национальный технический университет

Переработка свинецсодержащих отходов, в частности лома свинцовых аккумуляторов, связана с большим пылевыделением токсичных веществ и повышенной экологической опасностью производства, сопровождается значительными потерями дорогостоящего сырья. Одним из наиболее перспективных направлений решения данных проблем является подготовка свинецсодержащего сырья к плавке.

В настоящей работе проведены исследования по подготовке и брикетированию свинцового аккумуляторного лома для дальнейшего переплава с целью улучшения экологической обстановки на производстве, снижению непроизводственных потерь сырья, улучшению технологичности процесса переработки.

Улучшение экологической обстановки в данном производстве наиболее актуально, так как воздействие свинца на здоровье человека и экологическую систему признано одним из наиболее опасных в мире, приводит к серьезным заболеваниям, многие из которых не поддаются лечению.

Основным источником пылевыделения при переработке свинцового лома является значительное содержание свинецсодержащей мелкодисперсной пылевидной фракции в шихтовых материалах, которая достигает согласно литературным данным 7-10%. Улавливание пыли в процессе производства не всегда эффективно, так как значительные количества пыли быстро забивают фильтрующие элементы, которые не всегда своевременно подвергаются очистке, собранная пыль при дальнейшем переплаве в роторных печах в основном снова уносится с продуктами горения.

Исходный шихтовый материал (отработанные аккумуляторные пластины) представляет собой свинцовый лом вперемешку с большим количеством дисперсного сульфата свинца (рис., а). Наиболее рациональным и технологичным решением подготовки данного сырья к плавке является брикетирование предварительно измельченной шихты с добавлением связующих и флюса. Предварительное измельчение шихтовых материалов производится с помощью дробилок с последующим усреднением (рис., б), в результате чего получаем однородную массу для дальнейшего приготовления брикетируемой смеси. Для улучшения технологичности производства в брикетируемую смесь дополнительно добавляли в качестве восстановителя молотый коксик в количестве 8-10%, флюсующие материалы – кальцинированную соду (до 1%), окалину или железную стружку (до 1,5%), кварцит (1-1,5%). Полученную смесь усредняли в смесителе, в качестве

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЦМиКМ Маняк Н.А.

связующего применяли раствор жидкого стекла в воде в соотношении 1:5 в пределах 2-4% от массы свинцовых отходов, а также растворы с дополнительными добавками известкового молока, крахмала и сахаросодержащих отходов при различных соотношениях связующих компонентов.

Применение связующих компонентов позволило окомковать пылевидные фракции свинецсодержащего сырья и использовать полученную пастообразную массу как заполняющий компонент между свинцовыми отходами при брикетировании, снизить пылеобразование в процессе плавки. Указанный состав смеси способствует протеканию восстановительных реакций уже при нагреве брикета до его расплавления, что способствует интенсификации процесса и повышению производительности плавильных печей.

Процесс брикетирования подготовленной смеси при небольшой производительности процесса ведут на обычных прессах, для повышения эффективности процесса применяют валковые брикетировочные пресса. В первом случае размер и масса брикетов определяется применяемой оснасткой (рис., в), во втором случае диаметр брикетов колеблется от 10 до 40 мм, форма которых определяется профилем нарезки валков. Валковое брикетирование применяется в случае необходимости повышения производительности подготовки шихты для средних и крупных плавильных агрегатов.



Рисунок - Брикетирование свинецсодержащего сырья

а – исходный аккумуляторный лом; б – измельченная шихта;  
в - готовый брикет

Готовые брикеты подвергают медленной сушке для предотвращения их растрескивания и разрушения. Проведенные испытания прочности брикетов, используемые для сырых окатышей, показали отсутствие разрушений брикетов при 15-ти кратном сбрасывании с высоты 30 см.

Технология ведения плавки в роторных печах с применением брикетов не отличается от обычной технологии ведения плавки с применением аккумуляторного лома. Использование брикетов позволяет использовать более мощные горелки для повышения производительности плавильных агрегатов, при этом установлено снижение пылевыделения с уходящими газами по ходу плавки до 10-16 г/нм<sup>3</sup>, снижение пылевыделения позволяет повысить срок эксплуатации фильтрующих элементов в 2-2,4 раза.

## ПРИМЕНЕНИЕ БОРСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Кушнир В.С. (МКМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Производство медных сплавов для ответственных изделий с высокими тепло и электропроводностью, таких как электроды и сопла плазматронов (рис., а) требует особого контроля за технологией выплавки и раскисления расплава. Окончательное раскисление медного сплава, как правило, проводят лигатурой медь-фосфор. Однако фосфор отрицательно влияет на электропроводность меди, что резко снижает эксплуатационный ресурс деталей. Одним из рациональных способов решения данной задачи является использование лигатур, которые не снижают электропроводность медного сплава..



Рисунок - Внешний вид сопла и электрода плазматрона (а) и микроструктура (б) отработанного сопла (x100)

В настоящей работе проведены исследования влияния использования лигатуры Cu-B, содержащей  $\approx 2\%$  вес. бора на формирование первичной структуры и электросопротивление опытных образцов. Удельное электросопротивление опытных образцов меди индукционной выплавки, раскисленной лигатурой медь-фосфор составило  $0,0181 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , соединений фосфора в микроструктуре отливки не обнаружено, фосфор находится в твердом растворе (рис., б). При раскислении лигатурой медь-бор удельное сопротивление опытных образцов составило  $0,0163 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Образец медного сплава, содержащего бор имеет более мелкое зерно, присутствие бора препятствует росту зерна при нагреве, положительно влияет на улучшение механических свойств сплава, снижает количество внутренних дефектов отливки. Из опытной отливки, раскисленной лигатурой медь-бор было изготовлено сопло, которое выдержало 284 включения плазматрона до его замены при прожиге отверстий в стальном листовом металлопрокате толщиной 7 мм.

\* Руководитель – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЦМиКМ Маняк Н.А.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МЕДИ ОГНЕВОГО РАФИНИРОВАНИЯ

Базюк М.А. (МКМ11М)\*

Донецкий национальный технический университет

Для реализации продукции из меди огневого рафинирования по международным стандартам необходимо наряду с механическими свойствами контролировать и электротехнические свойства. Так как основным потребительским свойством меди огневого рафинирования является электропроводность, то были проведены исследования на соответствие этого параметра требованиям нормативной документации.

Электросопротивление меди в первую очередь зависит от чистоты металла. Примеси и легирующие элементы уменьшают электропроводность меди. Присутствующие в некоторых марках меди огневого рафинирования Р, As, Sn, О (табл. 1) должны существенно снижать электропроводность (повышать электросопротивление) готовой электротехнической продукции.

Таблица 1 - Химический состав исследованных образцов меди огневого рафинирования производства ОАО «АЗОЦМ», % (мас.)

Марка	Cu	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	P
M3	99,50	≤ 0,003	≤ 0,01	≤ 0,005	≤ 0,03	≤ 0,2	≤ 0,04	≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,05	0,005-0,03
M3p	99,50	≤ 0,003	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,03	≤ 0,2	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,01	0,005-0,060
M2	99,70	≤ 0,002	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,03	≤ 0,2	≤ 0,01	≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,05	0,005-0,03
M2p	99,70	≤ 0,002	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,03	≤ 0,2	≤ 0,01	≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,01	0,005-0,060
Cu-FRTP	99,90	-	≤ 0,005	-	-	≤ 0,03	≤ 0,01	≤ 0,02	-	≤ 0,02	0,005-0,015
Cu-DLP	99,90	≤ 0,005	≤ 0,003	-	-	≤ 0,02	≤ 0,005	≤ 0,005	-	≤ 0,01	0,005-0,013
Cu-DHP	99,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015-0,040
E – Cu 57	99,90	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005-0,040	-

Степень снижения электропроводности определяется характером взаимодействия примесей с медью. Если элементы не образуют с медью твердых растворов, то их влияние определяется характером распределения частиц примесей, концентрацией и электропроводностью примеси. Если примеси растворены в твердой меди, то электропроводность определяется только концентрацией примеси в твердом растворе меди.

Влияние примесей на электропроводность кислородсодержащей меди отличается от той же закономерности бескислородной меди, так как многие элементы-примеси образуют с кислородом оксиды.

\* Руководитель – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЦМиКМ Маняк Н.А.

Оксиды оказывают меньшее влияние на электропроводность, чем соответствующие элементы, находящиеся в твердом растворе. Если в кислородсодержащей меди находится избыточное количество примеси, которая полностью не окисляется, то ее влияние следует рассматривать как влияние двух составляющих: оксида и чистого элемента.

Измерения электросопротивления медных образцов (с поперечным сечением от 0,5 до 30 мм<sup>2</sup>) на приборе RESISTOMAT<sup>®</sup>-2318 осуществляли следующим образом. Перед измерением образцы вносили в помещение с измерительной установкой не менее, чем за 1 час до проведения измерения с таким расчетом, чтобы они в момент измерения имели температуру, равную температуре помещения.

Температуру помещения и образцов при проведении измерения поддерживали в пределах 15-30°C при относительной влажности не более 80%.

Величина удельного сопротивления ( $\rho$ ) в Ом·м, приведенного к температуре 20°C, подсчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{R_{20} \cdot m}{L^2 \cdot q}, \quad (1.1)$$

где  $R_{20}$  – измеренное электросопротивление при 20 °С, Ом;  $m$  – масса образца, кг;  $L$  – длина образца, м;  $q$  – плотность меди, кг/м<sup>3</sup>.

В проведенных исследованиях плотность медных образцов брали равной 8,89·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>. С применением вышеописанной методики выполнили исследование величины удельного электросопротивления образцов из нескольких марок меди огневого рафинирования

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Как видно из результатов определения удельного электросопротивления лишь марки М3, М3р и М2р уступают стандарту IACS и не могут использоваться в электротехнической промышленности.

Таблица 2 - Результаты определения удельного электросопротивления образцов из меди огневого рафинирования производства ОАО "АЗОЦМ"

Марка меди	М3	М3р	М2	М2р	Cu-FRTP	Cu-DLP	Cu-DHP	E-Cu 57
$\rho$ , нОм·м	18,321	18,442	17,259	17,837	17,214	17,231	17,253	17,052
Относительно стандарта IACS, %	106,3	107,0	100,1	103,5	99,8	99,9	100,1	98,9

Марки М2 и Cu-DHP соответствуют этому стандарту, а потому по желанию потребителя могут быть использованы в электротехнической промышленности. Остальные марки меди огневого рафинирования (E – Cu 57, Cu-DLP, Cu-FRTP) вполне соответствуют международному стандарту IACS.

Таким образом, показано, что с помощью технологии огневого рафинирования возможно получение меди высокой степени чистоты, которая может быть использована в электротехнической промышленности как в Украине, так и за рубежом.

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА

Пугач А.А. (ОМТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в технической литературе, имеются обширные экспериментальные данные о зависимости напряжения течения металла  $\sigma$  от степени деформации  $\varepsilon$ , скорости деформации  $U$  и температуры  $T$ , представленные в виде кривых упрочнения. В ряде случаев, в том числе и при разработке компьютерных программ возникает необходимость в разработке эмпирических формул, которые необходимы для расчета напряжения течения металла  $\sigma$ .

После выбора вида эмпирической формулы требуется определить входящие в нее константы на основе имеющейся экспериментальной информации по кривым упрочнения. При этом имеются две актуальные задачи: обеспечить высокую точность определения  $\sigma$  в зависимости от  $\varepsilon, U, T$  на базе кривых упрочнения и выполнить научно обоснованный выбор наиболее рациональных точек в области изменения факторов  $\varepsilon, U, T$  для определения соответствующих значений  $\sigma$ .

Для решения первой задачи целесообразно разработать компьютерную программу определения значений  $\sigma$  путем сплайн - интерполяции экспериментальной информации.

Определение величин  $\sigma$  в зависимости от произвольных значений  $\varepsilon, U, T$  предложено выполнять следующим образом. На первом этапе в окно компьютерной программы заносятся отсканированные кривые упрочнения. В этом окне для всех узловых точек координатных осей ставятся в соответствие значения  $\sigma$  и  $\varepsilon$  в единицах, указанных на координатных осях, а также в единицах растрового изображения, которые определяются программно. Выполняется графическая визуализация построенных линий, которая необходима для обеспечения максимально точного совпадения построенной другим цветом сетки с исходной координатной сеткой.

На основе полученной информации для любой точки, лежащей на графике, можно определить абсциссу и ординату в растровых единицах, а затем рассчитать их в единицах, указанных на координатных осях. Программа вычисляет значения напряжения течения металла  $\sigma(\varepsilon, U, T)$  и заносит их таблицу. Далее выполняется сплайн-интерполяция полученной информации и построение сплайн - кривых в окне программы. Цвет кривых пользователь выбирает таким образом, чтобы их было хорошо видно на фоне исходных кривых. Если ход исходной кривой упрочнения достаточно сложный, например, имеются перегибы и сплайн - кривая недостаточно точно ложится на исходную

---

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

кривую, то можно увеличить число точек и добиться полного совпадения интерполяционной кривой и исходной.

Для решения второй задачи, предложено применить метод планируемого расчетного эксперимента. Разработано окно программы (см. рис.) где в таблицу, расположенную в его верхней части, передаются пределы изменения факторов  $\varepsilon, U, T$ . В этом же окне формируется таблица кодовых и натуральных значений факторов. В соответствии с теорией планируемого эксперимента, план-матрица для 3-х факторов  $\varepsilon, U, T$  всегда содержит 15 строк для определения величин  $\sigma$ . Планируемый эксперимент, охватывает всю область изменения факторов  $\varepsilon, U, T$  и определяет наиболее рациональные точки для определения величин  $\sigma$  на основе экспериментальной информации. Причем это научно-обоснованный теорией планируемого эксперимента минимум опытов.

На рис. для стали X18H9T представлены значения напряжения течения металла  $\sigma_{\text{экс}}$ , полученные путем сплайн-интерполяции кривых упрочнения. По предложенному в работе методу найдены константы, входящие в формулу проф. В.И. Зюзина, и на их основе выполнен расчет величин  $\sigma_p$ . Значения констант, представленных в правой части окна (см. рис.), рассчитали по методу наименьших квадратов. Найдено также среднее относительное отклонение расчетных значений  $\sigma_p$  от соответствующих экспериментальных значений  $\sigma_{\text{экс}}$ , равное 5,2%.

Аппроксимация экспериментальной информации на основе формулы проф. Зюзина В.И.

Пределы изменения факторов

$\varepsilon_{\min}$	$\varepsilon_{\max}$	U min (1/c)	U max (1/c)	T min, (град.С)	T max, (град.С)
0.05	0.35	0.05	150	900	1200

Кодовые и натуральные значения факторов

Кодовые значения факторов	-1	0	+1	+1.2154
Натуральные значения факторов				
$\varepsilon$	0.05	0.0766	0.2000	0.3234
U (1/c)	0.05	13.337	75.025	136.713
T (град.С)	900	926.584	1050.000	1173.416

План-матрица эксперимента

	X1	X2	X3	$\varepsilon$	U (1/c)	T (град.С)	$\sigma_{\text{экс}}$ (МПа)
1	-1	-1	-1	0.0766	13.337	926.584	197.506
2	+1	-1	-1	0.3234	13.337	926.584	243.080
3	-1	+1	-1	0.0766	136.713	926.584	271.428
4	+1	+1	-1	0.3234	136.713	926.584	340.403
5	-1	-1	+1	0.0766	13.337	1173.416	89.952
6	+1	-1	+1	0.3234	13.337	1173.416	119.291
7	-1	+1	+1	0.0766	136.713	1173.416	119.161
8	+1	+1	+1	0.3234	136.713	1173.416	182.760
9	-1.2154	0	0	0.05	75.025	1050.000	141.220
10	+1.2154	0	0	0.35	75.025	1050.000	219.124
11	0	-1.2154	0	0.2000	0.05	1050.000	104.206
12	0	+1.2154	0	0.2000	150	1050.000	239.187
13	0	0	-1.2154	0.2000	75.025	900	304.918
14	0	0	+1.2154	0.2000	75.025	1200	131.657
15	0	0	0	0.2000	75.025	1050.000	203.243

Результаты расчета

$\sigma_p$ (МПа)	$\Delta$ (%)
197.449	0.029
270.211	11.161
249.946	7.914
342.055	0.485
95.780	6.480
131.077	9.880
121.247	1.750
165.928	9.210
149.281	5.708
228.079	4.087
96.246	7.639
216.584	9.450
313.380	2.775
130.083	1.196
201.905	0.659

$$\sigma = \frac{A \cdot \varepsilon^{n1} \cdot U^{n2}}{e^{n3 \cdot T}}$$

А	4017.081536972604680
n1	0.217820995302114
n2	0.1013039573126606
n3	0.002930816225268

$\Delta_{\text{ср}} (\%)$  5.228  
 Макс. число итераций: 300, Выполнено: 8

Рисунок - Окно программы расчета констант, входящих в формулу проф. В.И. Зюзина

Решение указанных выше задач дает метод определения констант эмпирических формул для расчета напряжения течения металла  $\sigma$ .

## ДЕФОРМУВАННЯ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ В СУБКРИТИЧНОМУ ІНТЕРВАЛІ ТЕМПЕРАТУР

Завиднюк Д.А. (ПМ-41)\*

Луцький національний технічний університет

Присутність міді в сірих чавунах дозволяє покращити їх деякі фізико-механічні характеристики. При високих добавках міді в структурі сірих чавунів формується специфічна структура з наявністю клястих включень у вигляді суміші двох фаз графіту та високомідиної  $\epsilon$ -фази ( $\Gamma+\epsilon$ ). Така структура підвищує здатність сірих чавунів з компактним графітом до пластичної деформації.

Метою роботи було встановити характер пластичного деформування високомідицих чавунів з компактним графітом в ізотермічних умовах.

Для дослідження пластичної деформації високомідицих чавунів ( $Cu = 6...9\%$ ;  $\Sigma C, Si = 5,5\%$ , модифікування  $Mg$ ) використовувався метод деформування, що полягав в осаджуванні циліндричного зразка у високотемпературній камері при сталій температурі ( $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ). Для такого виду випробувань використовувався спеціально виготовлений дослідний штамп. Осаджування проводилось між двома жароміцними плитами (сплав ЖС6У). Дослідження проводили в інтервалі температур від  $500\text{ }^\circ\text{C}$  до  $800\text{ }^\circ\text{C}$ . Структура металічної матриці чавунів всіх плавок перед деформуванням була перлітною (фериту до  $10\%$  за об'ємом).

З проведених досліджень встановлено, що в інтервалі субкритичних температур (близько  $700\text{ }^\circ\text{C}$ ), який супроводжується  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворенням, пластичність чавунів підвищується, при незначній зміні напруження. Наступне підвищення температури мало впливає на зміну  $\sigma$ . Це викликано значним розвитком дифузійних процесів при фазовому переході, що охоплюють весь об'єм перлітної матриці, а отже, пластичне течіння проходить більш гомогенно не викликаючи значного спотворення та руйнування трибофаз:  $\Gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\Gamma+\epsilon$ . Таким чином, температуру нагріву  $700\text{ }^\circ\text{C}$  слід вважати найбільш оптимальною для реалізації ефекту субкритичної надпластичності високомідицих чавунів.

Отже, для використаних в роботі чавунів досягнуто ефекту субкритичної надпластичності, коли при деформуванні сплавів спостерігається підвищення здатності до пластичної деформації Fe-C сплавів за рахунок одночасного проходження фазового претворення  $\alpha \rightarrow \gamma$ .

---

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри МтаПФКМ Гусачук Д.А.

## ПРОИЗВОДСТВО ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТА НА ДВУХКЛЕТЬЕВОМ РЕВЕРСИВНОМ СТАНЕ

Скрыпник Р.С. (ОМТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в Украине отсутствует производство высококачественного холоднокатаного листа. Поэтому введенные в последние годы в эксплуатацию предприятия для производства холоднокатаного листа с защитными покрытиями «Юнистил» (Кривой Рог) и «Металлы и Полимеры» (Алчевск) и «Модуль» (Каменец-Подольском), вынуждены использовать импортный прокат.

Современное производство холоднокатаного листа базируется на непрерывных 5-ти клетевых станах прокатки, но стоимость таких станков без вспомогательного оборудования превышает 500 млн. долларов. Поэтому целесообразно организовать производства холоднокатаного листа на более дешевых прокатных станах, что позволит в кратчайшие сроки покрыть первостепенную потребность внутреннего рынка в данном виде продукции.

Одним из таких станков является двухклетевой реверсивный стан холодной прокатки. Похожий стан введен в эксплуатацию и успешно действует в России.

Особенностью стана является возможность годового производства до 1 млн. тонн, что удовлетворяет потребностям упомянутых выше предприятий, а также широкий марочный сортамент продукции. Последнее объясняется тем, что в отличие от непрерывных станков, стан оборудован с обеих сторон моталками, что позволяет делать не четко определенное число проходов (равное числу клетей), а любое необходимое число проходов с возможностью промежуточных отжигов.

Целью данной работы, является выбор рациональных режимов прокатки при равномерной загрузке клетей по проходам и оптимизации толщины подката с точки зрения технико-экономических показателей работы станков горячей прокатки (изготовление подката) и двухклетьевого реверсивного стана (потребитель подката). Для решения данной задачи было рассмотрено несколько методик по определению силы прокатки, и, как следствие, выбран алгоритм расчета представленный в методике А.В.Третьякова – Б.Е.Локшина. Данная методика широко применялась на производстве и хорошо себя зарекомендовала. Методика А.В.Третьякова – Б.Е. Локшина имеет ряд преимуществ, основным из которых является определение силы и работы прокатки в процессе единого энергосилового процесса, что позволяет точнее определять силу прокатки, момент прокатки и степень наклепа металла по ходу прокатки.

---

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

В качестве примера в таблице представлены результаты расчетов для толщины подката 2 мм и готового листа 0,35 мм.

Таблица - Режимы прокатки на двухклетьевом реверсивном стане

Номер проход	Толщина, мм		Относительное обжатие, %	Сила прокатки, МН
	На входе	На выходе		
1	2	1,15	42,5	26,58
2	1,15	0,85	26,1	26,95
3	0,85	0,65	23,5	25,4
4	0,65	0,5	23	27,71
5	0,5	0,4	20	25,11
6	0,4	0,35	14,2	14,84

Из полученных результатов видно, что максимальное относительное обжатие приходится на первый проход и составляет 42,5%, сила прокатки при этом составляет 26,58 МН. В дальнейшем относительные обжатия уменьшаются, но при этом происходит повышение силы прокатки вплоть до 27,7 МН при обжатии 23% в четвертой клетке. Это связано с ростом наклепа в металле и его упрочнением, что ведет к увеличению силы прокатки даже при меньших обжатиях. Не смотря на это, наименьшая сила прокатки (14,8 МН) в последней клетке, так как относительное обжатие в ней составляет всего 14,2%. Так же при расчете силы прокатки необходимо учитывать прочность валков, чтобы максимальная сила прокатки не превышала максимально допустимую нагрузку на валки. Для четырех валковой клетки мах допустимую силу прокатки рассчитывают:

1. Из условия прочности бочки опорных валков

$$P_{б.оп} = 0,8D_{оп}^3[\sigma_{и}]/(2L - L_{оп}),$$

где  $\sigma_{и}$  - допустимое напряжение материала бочки опорного валка на изгиб, МПа;

$L_1$  - расстояние между осями нажимных винтов, м;

Значение  $[\sigma_{и}]$  для стальных валков принимаем 120 МПа;

2. Из условия прочности шейки опорного валка

$$P_{ш. оп} = 0,4d_{ш.оп}^3[\sigma_{и}]/l_{оп},$$

где  $l_{оп} = (0,5-0,6)D_{оп}$  - длина шейки опорного валка м ;

$d_{ш.оп} (0,6ч0,8)D_{оп}$  - диаметр шейки опорного валка, м;

Полученные результаты расчета показывают, что максимальная сила прокатки 27,7 МН не превышает допустимое значение 46,7 МН, полученное при расчете валков на прочность.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дмитриченко А.А. (ОМТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Дальнейшее увеличение объемов мирового производства непрерывнолитой сортовой заготовки подчеркивает эффективность применения существующих технологических и конструктивных решений, в части разработки и использования сортовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Большинство металлургических предприятий, ввиду высокой конкуренции между производителями непрерывнолитой сортовой заготовки, вынуждено постоянно искать способы, обеспечивающие решение задачи увеличения конкурентоспособности продукции, что неразрывно связано с повышением уровня ее качества, имеющего особое значение для проката ответственного назначения.

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

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

В реализации метода «мягкого» механического обжатия, используемого для получения сортовых заготовок высокого качества, особое место занимают вопросы дальнейшего совершенствования оборудования и особенностей взаимодействия его элементов с непрерывнолитой заготовкой в технологической линии МНЛЗ, среди которого выделяются тянуще-правильные машины (ТПМ) – устройства, предназначенные для ввода затравки в кристаллизатор, перед началом разливки, вытягивания сцепленной со слитком затравки из кристаллизатора и секций ЗВО в начале разливки, а в дальнейшем – слитка, и для правки криволинейнолитого слитка в прямолинейный.

---

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

Проведенный анализ подходов к практической реализации метода «мягкого» механического обжатия в условиях современных зарубежных и отечественных сортовых МНЛЗ, позволил выявить недостатки в использованных способах его реализации и поставить ряд вопросов, касающихся исследования напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки, и влияние на него технологических параметров.

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

Современные методы изучения напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки базируются на использовании современных компьютерных средств моделирования. Среди программных продуктов, задействованных при исследовании особенностей процессов ОМД, интересом пользуется Abaqus - программный комплекс мирового уровня в области конечно-элементных прочностных расчетов, с помощью которого можно получать точные и достоверные решения для самых сложных линейных и нелинейных инженерных проблем (рис.).

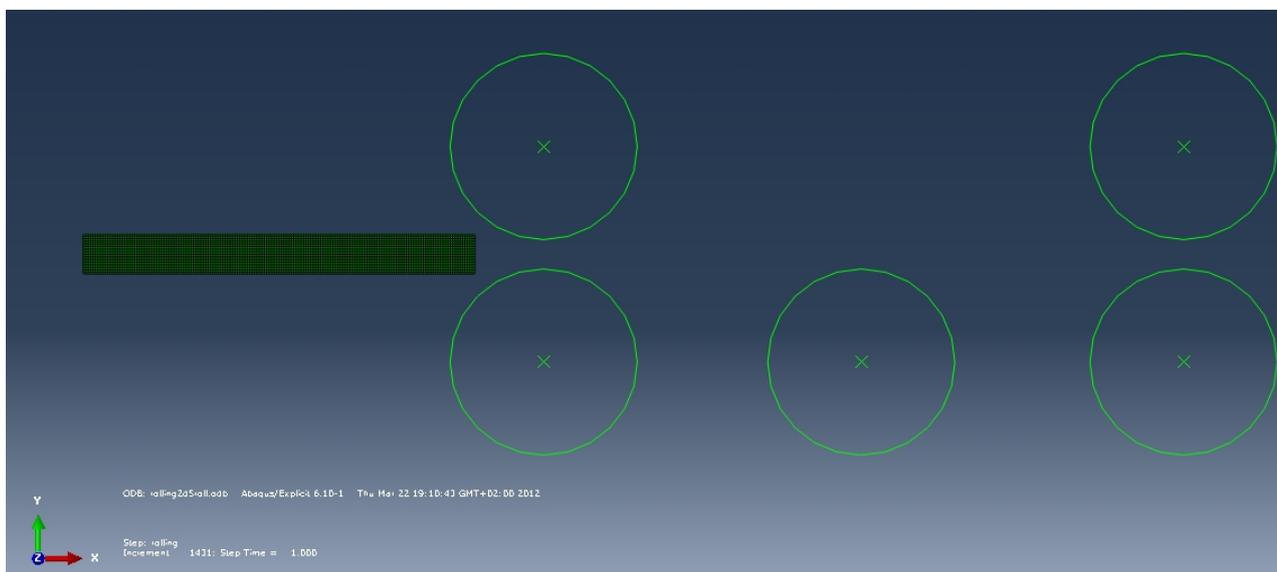


Рисунок – Начальный этап моделирования деформации непрерывнолитой заготовки в 5-ти роликовой ТПМ МНЛЗ в программе Abaqus

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

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ

Кравченко Е.А. Подобный С.О. (ОМТ-11м)\*  
Донецкий национальный технический университет

Валковая разливка-прокатка является одной из наиболее перспективных и энергосберегающих технологий производства тонких полос. Получение тонкого и особо тонкого плоского проката заключается в формировании полосы непосредственно из жидкого металла путём кристаллизации и деформации его между двумя вращающимися валками. Поэтому наиболее привлекательным является вопрос изучения гидродинамики струи расплава с целью гарантированного получения профиля полосы (особенно боковой кромки).

Для математического моделирования процессов валковой разливки-прокатки был выбран универсальный пакет прикладных программ ANSYS Int., который используется для решения задач, связанных со многими разделами науки и техники, такими, как электротехника, электромагнетизм, гидродинамика, газовая динамика и т. д.

Создание математической модели для исследования процессов перемешивания металлического расплава и затвердевания полосы при валковой разливке-прокатке осуществлялось в среде ANSYS CFX, обладающей следующими возможностями:

- моделирование невязких, ламинарных и турбулентных потоков;
- моделирование теплопереноса, включая различные виды конвекции, сопряженный теплообмен и излучение и т. д.

В основе разработанной математической модели лежит решение с помощью метода конечных элементов основного уравнения нестационарной теплопроводности и уравнений Навье–Стокса, включающие:

- уравнение неразрывности (закон сохранения массы);
- уравнение импульса (закон сохранения импульса);
- уравнение энергии (закон сохранения энергии).

Решение поставленных задач гидродинамики и затвердевания было реализовано в трехмерной интерпретации, со следующими допущениями: валки недеформируемые, течение расплава турбулентное, на контакте между валком и металлом выполняется условие постоянного прилипания.

В качестве разливаемого металла был выбран свинец. Граничные условия: теплопроводность – 23,2 Вт/(м·К), удельная теплоемкость разливаемого металла – 138,84 Дж/(кг·К), плотность разливаемого металла – 10641 кг/м<sup>3</sup>. Технологические характеристики взяты максимально приближенными к возможностям лабораторной установки: внешний диаметр вала – 76 мм, длина зоны кристаллизации-деформации – 40 мм, толщина полосы – 3,25 мм,

---

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

начальная температура жидкого металла – 327°C, температура разливаемого металла постоянна.

На первом этапе моделирования, решалась задача способа подачи расплава в кристаллизатор. Проведенные исследования показали значительное влияние распределения потоков расплава в кристаллизаторе (рисунок) на процессы затвердевания.

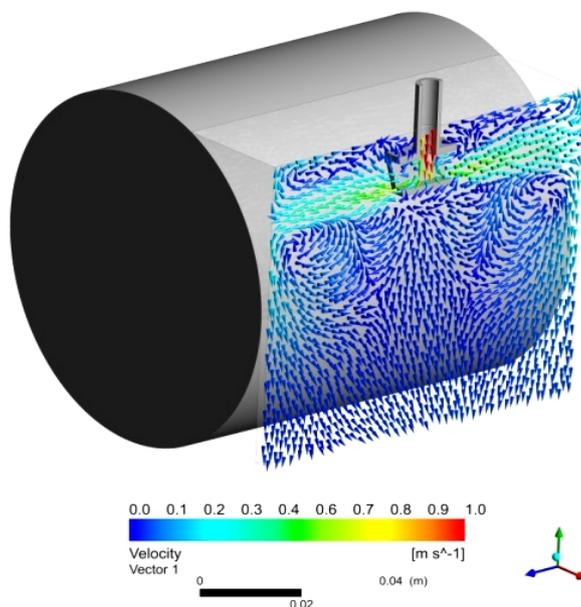


Рисунок – Результирующая скорость движения расплава (векторная картина) в продольной плоскости двухвалкового кристаллизатора

Параллельно с созданием математической модели была разработана физическая модель процесса. При проектировании экспериментальной установки использовали вертикальную схему ведения процесса, когда жидкий металл подаётся от печи к разливочной ванне, а после в межвалковое пространство в зону кристаллизации металла под действием сил тяжести. Валки-кристаллизаторы состоят из водоохлаждаемой медной гильзы и двух осевых вставок, обеспечивающих требуемые характер теплоотбора с внутренней поверхности бандажей. Каждый валок имеет индивидуальный привод постоянного тока, который обеспечивает реализацию высоких крутящих моментов и возможность ведения процесса с требуемыми пластическими деформациями. Кроме того, предусмотрена возможность регулирования расстояния между валками, что позволяет расширить диапазон исследуемых толщин конечной полосы: максимально до 4,0 мм. Данные, полученные в условиях малой лабораторной установки, могут служить критерием и источником натурных исследований.

В дальнейшем планируется выполнение следующих этапов моделирования и проведение исследований по модернизации погружного стакана.

## АНАЛИЗ РЕЖИМА ОБЖАТИЯ ЗАГОТОВКИ В КОЛЕСОПРОКАТНОМ СТАНЕ

Крючков П.Г. (ОМТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Данная статья относится к обработке металлов давлением, а именно к области деформации заготовок колес и предназначена для использования при производстве железнодорожных колес.

Широко используемым является способ прокатки заготовок железнодорожных колес, включающий осадку обода по ширине, раскатку обода по диаметру с выкаткой гребня, поверхности катания и диска, а также полировку обода. Такой способ в настоящее время используется при прокатке заготовок колес на прессопрокатных линиях ОАО «Выксунский металлургический завод» и ОАО «Интерпайп–НТЗ».

Сущность способа заключается в том, что в нем предусмотрена значительная величина суммарного осевого обжатия обода (28-30мм) наклонными валками, которое реализуется за первые 2 – 3 оборота заготовки в течение технологической стадии «осадка обода по ширине».

Недостаток данного способа состоит в том, что на стадии осадки обода наклонными валками реализацию вышеуказанного большого осевого обжатия выполняют при нарастающей силе прокатки, и, следовательно, изменяющейся величине обжатия в течение одного оборота заготовки.

Целью является выполнить анализ влияния режима обжатий заготовки в колесопрокатном стане на стабильность размеров обода по периметру заготовки.

Для изучения и математического моделирования процессов деформации железнодорожных колес по существующей технологии на ОАО «Выксунский металлургический завод» и ОАО «Интерпайп–НТЗ», был использован универсальный пакет прикладных программ «DEFORM».

С помощью данной программы были изучены: прокатка железнодорожных колес, а так же обжатие заготовки в колесопрокатном стане (рисунок 1).

Так же был изучен самый продолжительный этап – этап прокатки колесной заготовки. Данный этап начинается при  $t \geq 4,167$  с. Он связан с ростом давления нажимных валков на прокатываемое колесо (увеличение радиальных обжатий обода). На этом этапе ( $4,167 \text{ с} \leq t \leq 11,6 \text{ с}$ ) скорость роста внутреннего диаметра колеса увеличивается и в среднем составляет  $V \approx 15,6$  мм/с, величина раскатки колеса по внутреннему диаметру равна  $\sim 116$  мм. При этом сила, развиваемая гидроцилиндром прямого хода салазок, увеличивается с 560 кН до 1140 кН с последующим постепенным снижением до  $\sim 936$  кН, а силы,

---

\* Руководители – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ОМД Смирнов Е.Н., к.т.н., доцент кафедры ОМД Снитко С.А.

развиваемые гидроцилиндрами рабочего хода верхнего наклонного валка и прямого хода каретки, поддерживаются постоянными на уровне  $\sim 2073$  кН и  $\sim 275$  кН соответственно (рисунок 2).

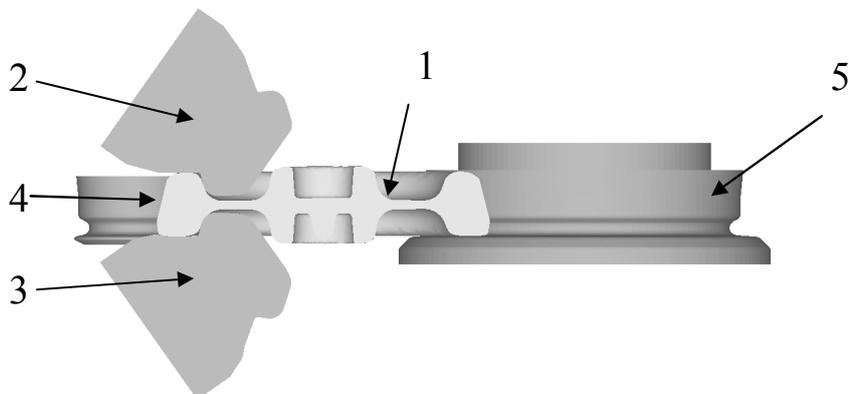


Рисунок 1 – начальный момент осадки обода по ширине наклонными валками: 1 – заготовка колеса перед прокаткой, 2 – верхний наклонный валок, 3 – нижний наклонный валок, 4 – нажимной валок, 5 – коренной валок.

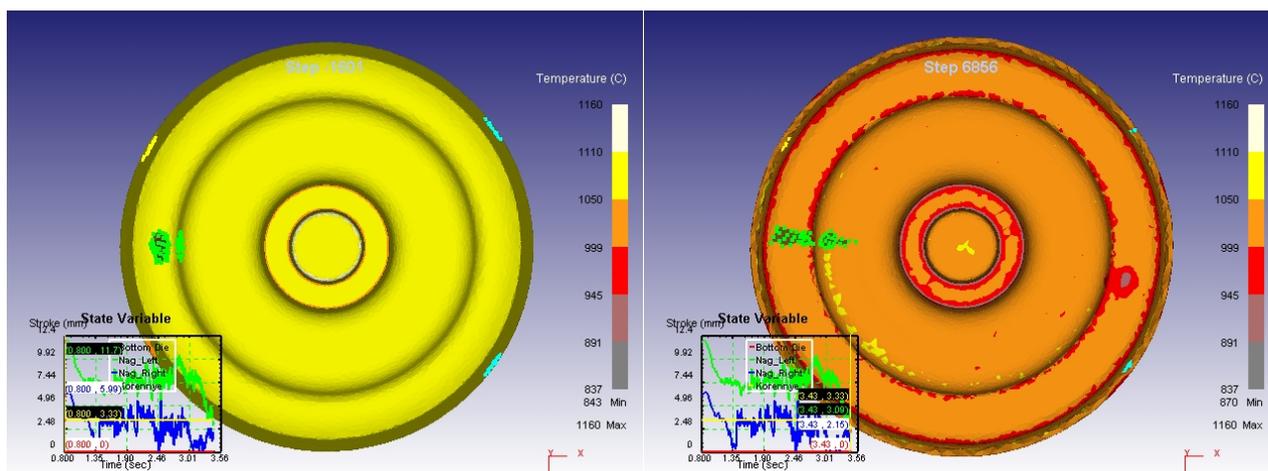


Рисунок 2 – Начальный и конечный моменты стадии обода по ширине.

На рассматриваемом этапе прокатки колесную заготовку интенсивно раскатывают по диаметру, выполняя при этом обжатия обода по ширине и внутренней поверхности и выкатку диска наклонными валками, а также формирование гребня и поверхности катания колеса нажимными валками. В процессе радиальной деформации металла обода также участвуют и коренные валки, которые не только поддерживают заготовку во время ее вращения, но и формируют поверхность катания колеса. При росте диаметра прокатываемого колеса, согласно технологии, каретка коренных валков перемещается назад.

В дальнейшем планируется разработка нового способа обжатия колесной заготовки в колесопркатном стане, обеспечивающего равномерность уширения обода на этапе его осадки наклонными валками.

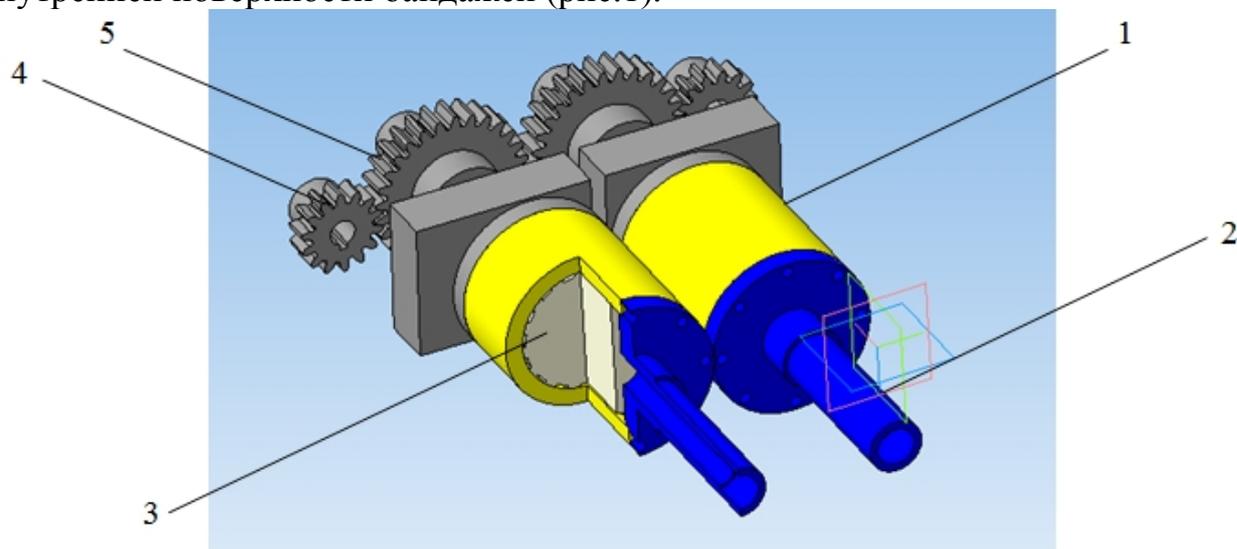
# РАЗРАБОТКА МАЛОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ

Подобный С.О., Кравченко Е.А. (ОМД 11м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В условиях мирового возрастания цен на энергоносители, приоритетным направлением развития металлургии становится всемирное внедрение инновационных энергосберегающих технологий, которые позволяют минимизировать долю энергозатрат в себестоимости проката и повысить, тем самым, его конкурентоспособность. В полной мере указанному направлению соответствует процесс валковой разливки-прокатки, идея которого была предложена Генри Бессемером в 1856 году.

Основываясь на анализе конструктивных особенностей существующих экспериментальных машин валковой разливки-прокатки можно сделать вывод о целесообразности изучения процесса на малых лабораторных установках.

При проектировании экспериментальной установки использовали вертикальную схему ведения процесса, когда жидкий металл подаётся от печи к разливочной ванне, а после в межвалковое пространство под действием сил тяжести. Валки-кристаллизаторы состоят из водоохлаждаемой медной гильзы и двух осевых вставок, обеспечивающих требуемые характер теплоотбора с внутренней поверхности бандажей (рис.1).



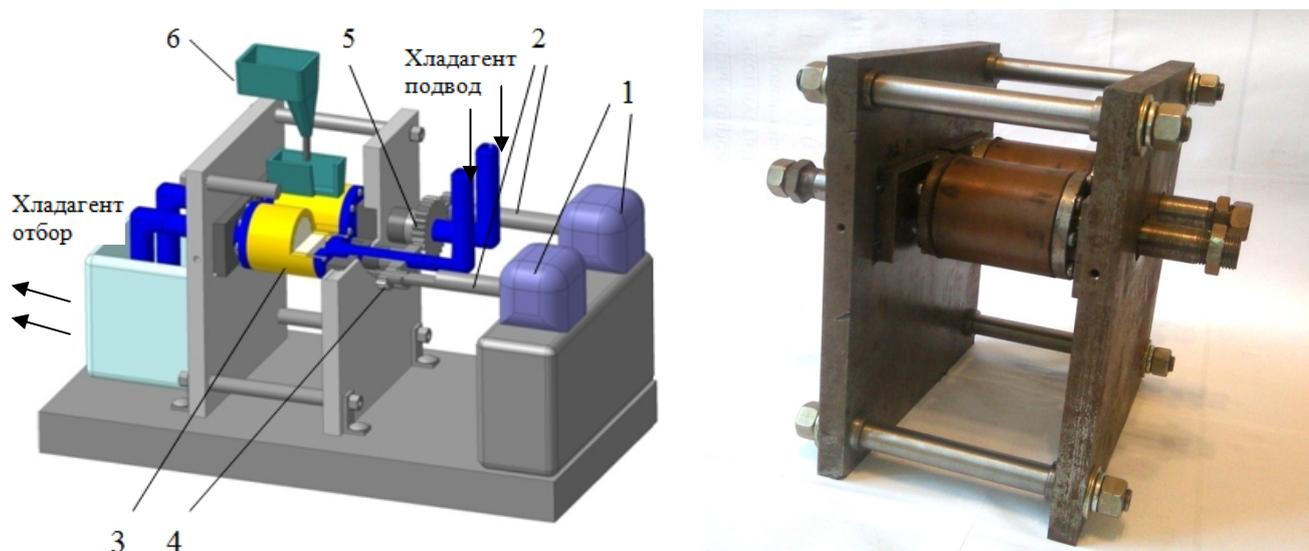
1 – водоохлаждаемая гильза, 2 – опора-подвод, 3 – внутренняя вставка, 4 – ведущая шестерня, 5 – ведомая шестерня;

Рисунок 1 - Схема узла валков-кристаллизаторов (3D модель)

Каждый валок имеет индивидуальный привод постоянного тока, который обеспечивает реализацию высоких крутящих моментов и требуемые пластические деформации.

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

Результаты выполненного проектирования в виде 3D модели и фотографии разливного блока приведены на рис.2.



а – объёмная модель лабораторной установки процесса валковой разливки-прокатки, где 1 – двигатели привода, 2 – шпиндели, 3 – валки, 4 – ведущая шестерня, 5 – ведомая шестерня, 6 – ковш разливочного материала; б - фотография лабораторной натурной установки

Рис. 2 Модель проектируемой лабораторной установки процесса валковой разливки-прокатки

Параллельно с созданием физической модели, с помощью программного комплекса ANSYS, была разработана математическая модель процесса, позволяющая исследовать процесс разливки различных материалов на вышеописанной установке. Создание математической модели для исследования процессов перемешивания металлического расплава и затвердевания полосы при валковой разливке осуществлялось в среде ANSYS CFX, обладающей следующими возможностями:

- моделирование невязких, ламинарных и турбулентных потоков;
- моделирование теплопереноса, включая различные виды конвекции, сопряженный теплообмен и излучение и т. д.

Решение поставленных задач гидродинамики и затвердевания было реализовано в трехмерной интерпретации, со следующими допущениями: валки недеформируемые, течение расплава турбулентное, на контакте между валком и металлом выполняется условие постоянного прилипания.

На первом этапе моделирования, решалась задача способа подачи расплава в кристаллизатор. Проведенные исследования показали значительное влияние распределения потоков расплава в кристаллизаторе на процессы затвердевания и необходимость разработки погружного стакана.

# РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ В ЖИДКО-ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Косилов О.В. (ОМД-11м), Митьев А.П., Мазур И.П., Черкашина Т.И.\*  
Донецкий национальный технический университет

Известные методы анализа процесса деформирования металла на стадии неполной кристаллизации, основанные на результатах математического моделирования методом конечных элементов, в большинстве случаев требуют проверки полученных результатов в условиях реального физического эксперимента.

Целью данного исследования является разработка нового способа физического моделирования для исследования особенностей формирования напряженно-деформированного состояния в закристаллизовавшейся составляющей непрерывнолитого слитка (сляба или блюма) при деформировании на стадии неполной кристаллизации.

Выдвинута гипотеза о возможности оценки напряженно-деформированного состояния по изменению конфигурации сферических зерен. Особенность метода заключается в том, что переход исходной сферической формы в деформированную эллипсоидную происходит по направлениям главных деформаций. В этом случае диаметр сферы, в силу равенства объемов зерна до и после деформирования, определяется путем непосредственного измерения главных диагоналей эллипсоида через уравнение:

$$d = \sqrt[3]{\ell_1 \ell_2 \ell_3},$$

где  $d$  – диаметр сферы;  $\ell_1, \ell_2, \ell_3$  – главные диагонали эллипсоида.

В этом случае деформации рассчитываются по следующим формулам:

– главные относительные деформации материала в окрестностях эллипсоида

$$\varepsilon_1 = \frac{\ell_1 - d}{d}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\ell_2 - d}{d}, \quad \varepsilon_3 = \frac{\ell_3 - d}{d},$$

где:  $l_1, l_2, l_3$  – длины осей эллипсоида;  $d$  – диаметр сферы;

– главные логарифмические деформации в окрестностях эллипсоида

$$e_1 = \ln\left(\frac{\ell_1}{d}\right), \quad e_2 = \ln\left(\frac{\ell_2}{d}\right), \quad e_3 = \ln\left(\frac{\ell_3}{d}\right),$$

Исследования нового способа проводятся совместно с магистрами и аспирантами кафедры обработки металлов давлением Липецкого

---

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

государственного технического университета. Для исследования были изготовлены образцы, внешний вид которых представлен на рисунке 1. Модельные образцы выполнили в виде замкнутой твердотельной оболочки прямоугольной формы двух видов: модель сляба и модель блюма.



Рисунок 1 – Модельные образцы с жидкой сердцевиной

Оболочка, имитирующая закристаллизовавшуюся часть слитка, представляет собой композит из сферической дроби (свинец) и металла наполнителя (сплав Вуда). Для имитации наличия жидкого металла внутри оболочки первого образца закачали парафин, во второй - желатин. Характеристика физических моделей приведена в таблице.

Таблица – Характеристика образцов

Образец	Блюм	Сляб
Размеры, мм	36x34x150	16x72x135
Толщина стенки, мм	11 и 17	4
Сердцевина	Парафин	Желатин
$A_F = F_0 / F_{об}$	0,5	0,55

Прокатку модельных образцов осуществили на кафедре ОМД Донецкого национального технического университета на лабораторном стане 100 и 340. Обжатие составило 2мм. После получения недоката делались темплеты, которые в дальнейшем протравливались. Внешний вид темплета после прокатки показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структура прокатанного образца

Первичные исследования показали, что при изготовлении блюмовых физических моделей наблюдаются большие проблемы с равномерностью расположения шаров. В то же время в обоих случаях наблюдается их четкая деформация.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕДИ МЗ В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ПОЛУЧЕНОМ МЕТОДОМ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ

Зинкевич П.И.(ОМД 11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Исследования последних 20 лет показали, что металлические материалы с субмикроструктурной (СМК) структурой, сформированной методами интенсивной пластической деформации (ИПД), существенно отличаются по своим свойствам от крупнокристаллических аналогов. По сути, можно говорить о появлении новых материалов, с которыми связывают большие надежды в плане практического применения.

Оценка свойств СМК металлов важна, потому что операции ИПД, как правило, сочетаются с формообразующими операциями ОМД и термообработкой. Поэтому для проектирования всей технологической цепочки обработки давлением таких материалов, необходимо иметь представление об их свойствах в разных напряженно-деформированных состояниях (НДС).

В качестве материала для исследований была выбрана медь следующего химического состава (табл.).

Таблица - Химический состав меди в %

Mg	Al	P	S	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Sb	Pb	Bi
0,04	0,11	0,03	0,02	0,03	0,01	0,06	99,5	0,02	0,04	0,08	0,03	0,03

Из каждого образца, подвергнутого ВЭ, получались два образца для испытаний: один на кручение и один на растяжение.

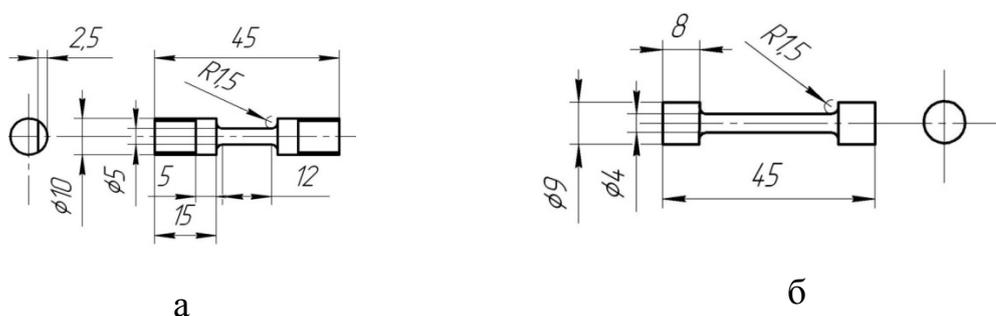


Рисунок 1 — Эскизы образцов для испытания кручением (а) и растяжением (б).

Испытания на кручение и разрыв, проводились согласно ГОСТ 3565-80 «Металлы. Метод испытания на кручение» и ГОСТ 1497-84 «Методы испытаний на растяжение».

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ОМД Бейгельзимер Я.Е.

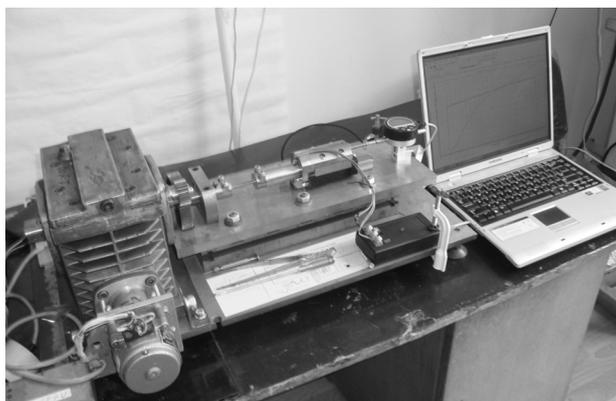


Рисунок 2 Общий вид стенда для испытаний

На рис. 3 приведено сопоставление результатов испытаний на разрыв и на кручение в истинных координатах. Хорошо видно, что для крупнокристаллической меди, до деформации порядка 1, зависимости напряжение-деформация при растяжении и кручении довольно близки, что соответствует гипотезе «единой кривой течения». Для меди обработанной винтовой экструзией ход указанных кривых отличается кардинально, что свидетельствует о чувствительности материала к виду нагружения.

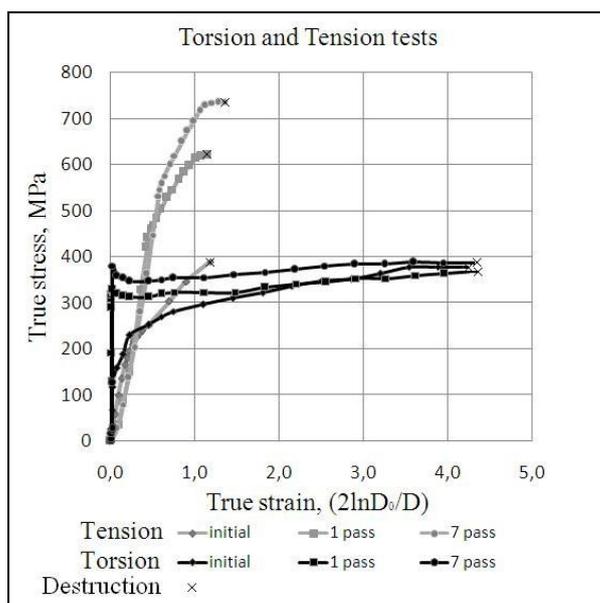
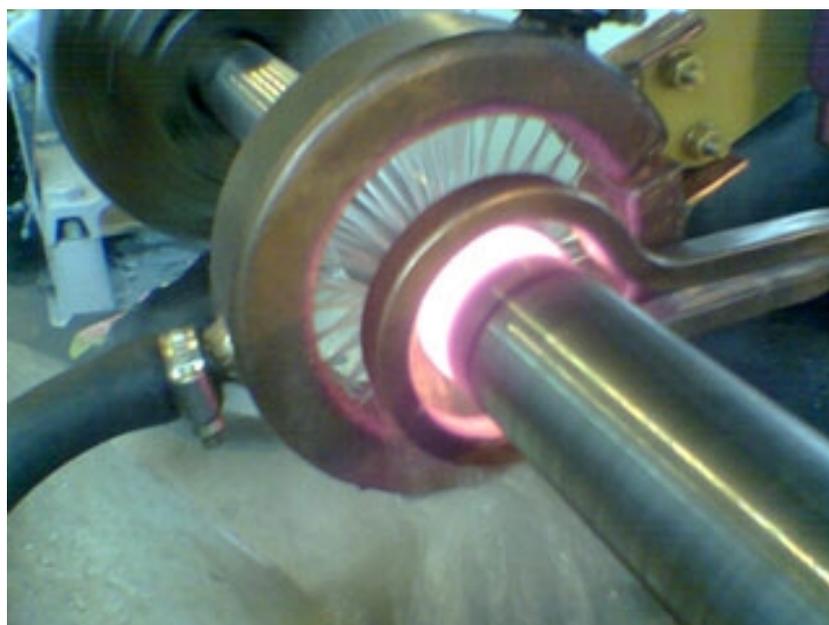


Рисунок 3 – Сопоставление результатов испытаний на разрыв и кручение в истинных координатах.

Анализ результатов, говорит о том, что параметры НДС необходимо учитывать при характеристике механических свойств СМК материалов и отображать это на материаловедческих картах. В дальнейшем планируются испытания на осадку, для получения полной диаграммы НДС меди МЗ в субмикроскопическом состоянии.

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



# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНОДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Плешицер Ю.А. (МТ-11сн)\*

Донецкий национальный технический университет

Для создания пористых материалов, структурированных на микро- или наноуровнях, применяют как современные нанотехнологии, так и традиционные методы, такие как электрохимическое анодирование. Одним из наиболее изученных материалов, полученным электрохимическим анодированием, в настоящее время является пористый оксид алюминия. В процессе электрохимического анодирования, при определённых технологических условиях, возможно получение слоя  $Al_2O_3$  с упорядоченной структурой пор. Эта структура, параметры которой можно варьировать в процессе синтеза, позволяет использовать высокоупорядоченные пленки пористого  $Al_2O_3$  в качестве неорганических мембран для синтеза наночастиц с контролируемым диаметром.

Целью данной работы являлось получение слоя  $Al_2O_3$  с упорядоченной структурой пор и исследование влияния параметров анодирования на свойства пористого оксида алюминия.

В ходе работы методом двухстадийного анодирования в растворе фосфорной кислоты при высоком напряжении (195 В) были синтезированы пленки пористого  $Al_2O_3$ . В качестве подложки для выращивания пленки использовали алюминиевую пластину толщиной 0,5 мм и размерами 40×40 мм. С целью устранения текстуры прокатки, снятия микронапряжений и, в последующем, достижения лучшей упорядоченности пор, алюминиевые пластины подвергали рекристаллизационному отжигу. Анодирование проводили при плотностях тока (0,4, 0,5 и 0,6 А/дм<sup>2</sup>). Для охлаждения образца в процессе анодирования, использовался полупроводниковый элемент Пельтье. Микроструктура полученных пленок исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM 6490LV. Химический состав оксидных пленок определялся методом рентгеноспектрального микроанализа на том же микроскопе.

В результате исследований было установлено, что все оксидные пленки, полученные методом анодирования, обладают высокоупорядоченной пористой структурой с весьма однородным распределением пор по размерам. Отчетливо видно гексагональную симметрию в расположении пор по площади образца. На микрофотографиях поперечного скола пористого оксида алюминия видно, что поры располагаются перпендикулярно плоскости образца и имеют практически одинаковый диаметр по всей протяженности пор.

В работе было установлено, что при подборе определенных технологических режимов анодирования, можно получать нужный размер оксидной ячейки с максимальным диаметром пор до 400 нм.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Власенко Н.Н.

# СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ТЕНДЕНЦИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Чуйкина С. А. (ТО-07)\*

Донецкий национальный технический университет

Потребность в листовых сталях, применяемых для изготовления строительных металлоконструкций в машиностроении и судостроении, которые бы совмещали высокий уровень свойств и не снижали коррозионную стойкость при их эксплуатации в различных средах, растет все больше.

В данной работе изучали анизотропию структуры и свойств листовых сталей, обеспечивающих различные классы прочности. Для проведения исследований отобрали образцы горячекатаных листовых сталей Ст3сп, 09Г2С, 17Г1С: их механические свойства приведены в табл. 1.

Для изучаемых марок стали расчет длительности десорбции водорода по толщине листа при температуре 600<sup>0</sup>С показал, что после противодиффузионной обработки диффузия водорода из стали приводит к безопасной концентрации ( $\leq 2 \text{ см}^3/100\text{г}$ ), которая сосредоточена в осевой зоне.

Таблица 1 – Механические свойства образцов изучаемых листовых сталей

Марка стали	Класс прочности	Толщина листа, мм	$\sigma_{в,}$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{т,}$ Н/мм <sup>2</sup>	$\delta, \%$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость, НВ	
							I	II
Ст3сп	265	16	440	265	29	70	210	210
09Г2С	295	16	520	335	29	69	222	228
09Г2С	325	12	520	345	29	64	228	228
09Г2С	345	10	530	360	28	62	234	234
17Г1С	355	10	545	370	25	40	234	234

Примечание: I – продольное сечение; II – поперечное сечение

При глубоком травлении отобранных в 50%-ном растворе HCl установлено, что однородные объемы с меньшим содержанием С и вредных примесей (Р и S) травятся в меньшей мере, сульфиды и фосфиды сосредоточены в осевой зоне; волокнистость структуры свидетельствует о направленности пластической обработки металла при прокатке листа.

Зерно феррита по ГОСТ 5639 составляет № 7÷9; соотношение перлита к ферриту по ГОСТ 8233 изменяется от 15/85 % до 25/75 % (табл.2).

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

Таблица 2 – Микротвердость феррита и перлита отобранных классов прочности листовых сталей

Класс прочности	Микротвердость феррита, Н/мм <sup>2</sup>			Микротвердость перлита, Н/мм <sup>2</sup>		
	среднее значение					
	продольное сечение	поперечное сечение	%, Ф	продольное сечение	поперечное сечение	%, П
265	1083	1086	85	1975	1972	15
295	1237	1241	80	1998	1998	20
325	1250	1225	80	2044	2063	20
345	1262	1265	75	2158	2038	25
355	1308	1329	75	2261	2374	25

Исследования анизотропии коррозионной стойкости листовых сталей проводили в 20%-ом растворе серной кислоты в течение часа; в морской воде и в 2%-х растворе серной кислоты на протяжении семи недель. На рис. 1 представлена кинетика выделения водорода в 20%-ом растворе серной кислоты.

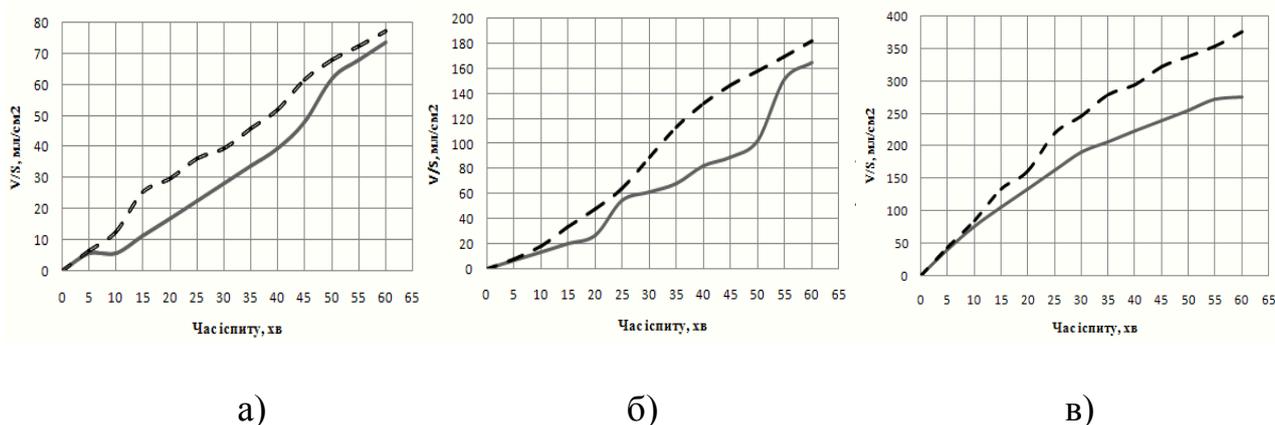


Рисунок - Кинетика выделения водорода в 20%-ом растворе серной кислоты

Класс прочности стали: а) 265; б) 295; в) 345.

Из кинетики выделения водорода видно, что листовая сталь изученных классов прочности имеет пониженную стойкость (6 балл, ГОСТ 5572) к коррозионному воздействию в условиях ускоренных коррозионных испытаний. Сопротивление электрохимической коррозии каждой из исследуемых плоскостей отличалось мало, но с течением времени количество водорода, выделяющееся в плоскости вдоль прокатки, в некоторых сталях больше по отношению к плоскости поперек прокатки. Это обусловлено тем, что зерна вытягиваются в направлении прокатки, одновременно уменьшаясь в поперечном направлении, при этом суммарная протяженность границ становится меньше.

## ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ И ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ НЕЕ

Максакова А.А. (МТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Одной из основных стадий технологического процесса подготовки проволоки или проволочной заготовки к дальнейшей обработке является ее очистка от окалина и загрязнений. К одному из перспективных способов очистки следует отнести плазменно-дуговой способ с использованием вращающейся низкотемпературной плазмы как термического источника воздействия на поверхность проволоки.

В данной работе изучали влияние высокоэнергетического потока плазмы на структуру поверхностных слоев проволочной заготовки в зависимости от длительности воздействия электрической дуги плазмотрона. В качестве исходного материала брали катанку диаметром 6.5 мм из стали Св08Г2С со средним содержанием углерода 0.082% (масс). Обработку осуществляли на установке для обработки длинномерных изделий низкотемпературной плазмой Запорожского отделения НПО «Доникс» (Патент РФ № 91246, 2010). Скорость движения катанки через плазмотрон снижали от 2 м/с до полной остановки, что увеличивало время воздействия теплового потока на единицу поверхности проволоки. В итоге получили отрезок катанки длиной 2430 мм с градиентным воздействием потока плазмы по длине. Для дальнейших исследований катанку разрезали на образцы длиной порядка 270 мм. На обработанных отрезках катанки изучали микроструктуру, измеряли глубину обезуглероженного слоя по ГОСТ 1763-68; поперечник зерна феррита определяли по ГОСТ 5639-82.

Микроструктура катанки из стали Св08Г2С представлена ферритом и перлитом. На отрезке катанки с наибольшим временем воздействия плазменного потока, т.е. в месте полной остановки, наблюдается частичная сфероидизация цементита (рис. 1а). По мере уменьшения времени плазменного воздействия количество сфероидизированного цементита уменьшается. В поверхностном слое катанки структура несколько отличается от сердцевины, слабо просматриваются границы зерен феррита, что может быть вызвано особенностями обезуглероживания и фазово-структурных превращений при плазменном воздействии. Микроструктуры образцов с максимальным и минимальным временем воздействия плазменной дуги приведены на рисунке 1.

Зависимость глубины обезуглероженного слоя от расстояния от точки начала плазменного воздействия до точки полной остановки катанки показаны на рисунке 2. Видно, что по мере увеличения времени плазменного воздействия увеличивается толщина обезуглероженного слоя на поверхности катанки. Размер зерна на поверхности катанки практически не изменяется, но в точке с наибольшим временем воздействия зерно измельчается со  $137 \text{ мкм}^2$  до  $58 \text{ мкм}^2$ .

---

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

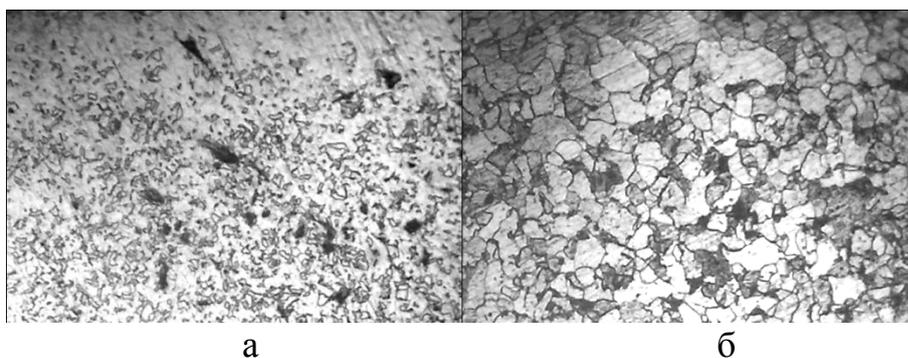


Рисунок 1 – Микроструктура поверхности катанки из стали Sv08Г2С: а – с наибольшим временем плазменного воздействия; б – с наименьшим временем плазменного воздействия, х340

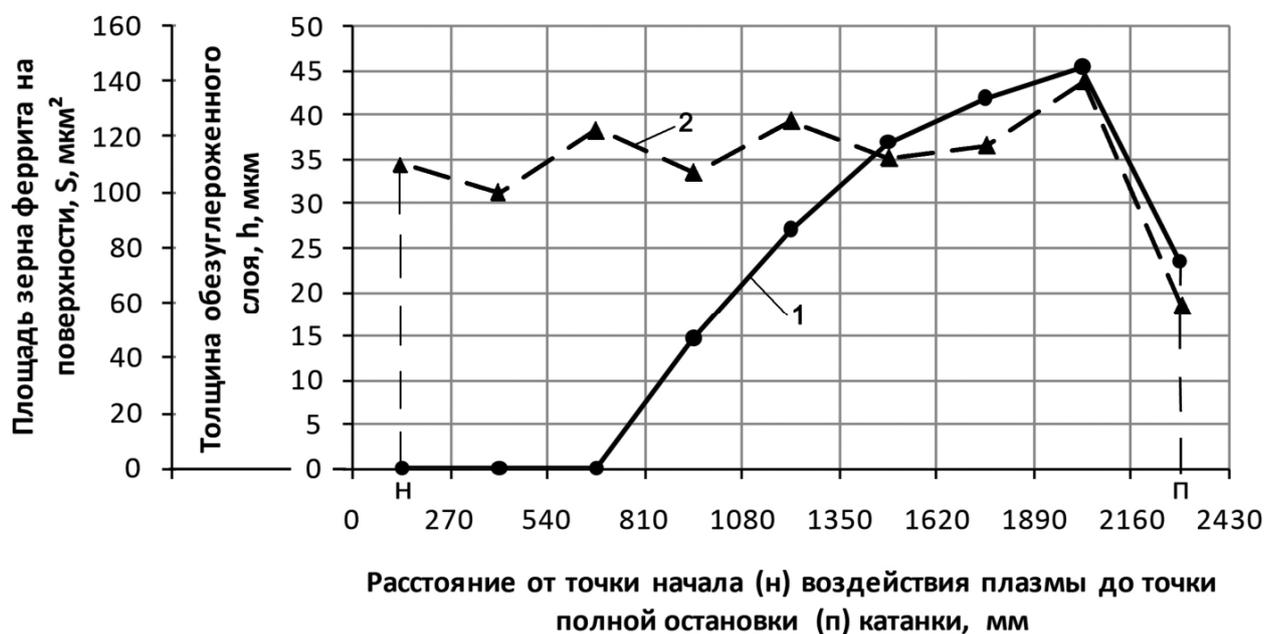


Рисунок 2 – Толщина обезуглероженного слоя и площадь зерна феррита (1-h, 2-S)

Полученные результаты показывают, что при кратковременном воздействии существенных изменений поверхности катанки не происходит, что весьма важно при очистке её от окалины и других загрязнений; по мере снижения скорости движения катанки время воздействия плазменной дуги на поверхность увеличивается и катанка прогревается на все большую глубину. Ближе к точке порыва поверхность катанки может достигать температур рекристаллизации и перекристаллизации, что объясняет получение более мелкого зерна по сравнению с исходной катанкой.

Таким образом, при плазменной очистке катанки и проволоочной продукции из нее может происходить модификация поверхности катанки на глубину до 45 мкм; уменьшение диаметра проволоки может привести к общему изменению количества углерода в металле, что может быть концепцией «холодной металлургии», и существенному изменению химического состава без переплава металла.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ДЕФЕКТОВ ВОЗНИКШИХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ ИЗ СТАЛИ 40X «СЕЛЕКТ»

Безкровная А.И. (ПМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Использование в машиностроении и других отраслях промышленности высокопрочного крепежа класса прочности 8.8 и выше вместо классов прочности 5.6-6.8 позволит повысить надежность машин и конструкций.

В зависимости от класса прочности используют различные технологии изготовления изделий, в ходе которых могут появляться различные дефекты.

В условиях ПАО «ДрМЗ» в процессе производства высокопрочных болтов, класса прочности 10.9 методом свободной высадки был выявлен брак на заготовках в виде трещин на головке болта.

Целью исследования является выявления причины появления дефекта и предложения способа его предотвращения.

В процессе исследования были изготовлены шлифы изделия в дефектных местах. Шлиф был протравлен в 4-х процентном спиртовом растворе  $\text{HNO}_3$ , после чего микроструктура исследована на микроскопе «NEOPHOT 21», при увеличениях  $\times 100$  -  $\times 500$ . Типичная структура приведена на рис.



Рисунок – Микроструктура заготовки в области дефекта при увеличении  $\times 200$

На микрошлифе дефекты выглядят как система трещин, начинаются у одного источника. Установлено, что разветвленный характер трещины является признаком сталеплавильного дефекта, однако отсутствие обезуглероженного слоя в районе трещины и равномерность структуры зернистого перлита по всему образцу не подтверждает это предположение.

При осмотре заготовки были выявлены поверхностные дефекты, которые могли послужить причиной развития трещины. Следовательно, наиболее вероятной причиной возникновения дефекта является развитие поверхностной деформации.

---

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

# ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАЛЛАДИЯ

Бондарчук В.В. (ПМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Проблема взаимодействия водорода с металлическими материалами сохраняет свою актуальность для современных отраслей техники – черная и цветная металлургия, химическая, нефтехимическая и газовая индустрия, электронная промышленность и другие. Во-первых, водород, растворенный вызывает деградацию сталей и сплавов (водородная хрупкость, флокены, стресс-коррозия), следовательно, необходимо совершенствование технологий по предупреждению вредных воздействий водорода на металлические материалы. Во-вторых, при определенных условиях, используя водородное воздействие на металлы, можно улучшать их структуру и свойства (водородная обработка материалов).

Известны 4 класса закономерностей индуцированных водородом фазовых превращений: диффузионно-кооперативные (фазовые переходы этого класса лежат в основе технологий получения сплавов с гидридной памятью формы), диффузионные (фазовые переходы этого класса лежат в основе процесса, позволяющего улучшать свойства постоянных магнитов для определенных материалов), индуцированные водородом промежуточные переходы (для разработки технологий получения аморфных материалов) и фазовые превращения, управляемые водородным воздействием (имеют место в Ti и Zr – металлах, обладающих полиморфизмом и образующих гидриды, а также в сплавах на основе этих металлов).

Применение систем водород-металл возможно при изучении ряда физических свойств. Водород особенно хорошо растворяется в Pd (в одном объеме Pd растворяется 850 объемов H), что позволяет рассматривать систему металл-водород в области техники хранения и транспортировки водорода.

В результате были проведены испытания на модернизированной специальной водородо-вакуумной установке ВВУ-3 с изучением влияния водородо-фазового наклепа на внутреннюю структуру палладия. Проводили водородную обработку и осуществляли различную величину водородо-фазового наклепа (при гидридных фазовых превращениях) проволоочных палладиевых образцов при повышенных температурах (до 1100°C) и давлениях газообразного водорода (до 4 МПа) с одновременной фиксацией изменения удельного электрического сопротивления образца-свидетеля.

---

\* Руководитель – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой физики Гольцов В.А.

# АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЛИВАРНИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ВТОРИННОГО АЛЮМІНІЮ

Мельник О.С. (ПМ-11с)\*

Донецький національний технічний університет

Чавунні форми працюють у високотемпературних умовах. Розлив вторинного алюмінію відбувається при температурах 690-720<sup>0</sup>С. Найчастіше вихід з ладу ливарних форм спостерігається після приблизно 2000 плавок в результаті утворення повздовжніх і поперечних тріщин, розгару на внутрішній поверхні, механічних пошкоджень. На стійкість ливарної форми має вплив велика кількість факторів, таких як: фізичні і механічні властивості чавуну, хімічний склад, макро- і мікроструктура чавуну, технологія виготовлення виливниці, умови експлуатації, конструкція форм.

В роботі вивчили характер зміни структури в приповерхневому шарі після 2000 циклів. Проаналізували зміну графітової фази по перетину зразка за допомогою програми «ImageTool» (таблиця).

Таблиця – Результати підрахунку графіту в чавуні

Розміщення по перетину зразка	Кількість графіту, мас. %	Кількість ферито-перлітної фази, мас. %
Робоча поверхня (x200)	12,91	87,09
Перехідна зона (x200)	11,48	88,52
Центральна зона (x200)	10,26	89,74

Досліджуючи характер зміни форми графітової фази по перетину зразка, встановили, що в приповерхневому шарі частинки графітової фази мають більш округлу форму в порівнянні із центром, де вони більш видовженої форми.

При мікроструктурному аналізі виявили окиснення приповерхневого графіту (рисунок). Окисна фаза може бути причиною розтріскування вздовж графітової частинки.



Рисунок – Структура окисленої приповерхневої графітової фази

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри ФМ Онопрієнко В.Г.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ МЕДНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Оголь А.Л. (ПМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

В различных областях современной техники широкое применение находят медь и сплавы на ее основе — бронзы, латуни, медноникелевые сплавы, обладающие рядом особых физико-химических свойств. За последние годы в сварке тяжелых цветных металлов достигнуты значительные успехи, но несмотря на это острым остается вопрос повышения срока службы медных изделий и в частности сварных швов.

Исследования проводятся на базе сварных швов, вырезанных из медных фурм доменных печей производства ООО «Константиновский завод металлургического оборудования». Были получены образцы сварных швов листа и отливки после разрушения. Исследования проводятся на микроскопе «НЕОРНОТ 21», при увеличениях  $\times 50$  –  $\times 500$ . Было выявлено, микроструктура листа удовлетворительная без микропор, с равноосным зерном. Отливка и сварной шов имеет удовлетворительную микроструктуру с небольшой долей пористости.

Трещина, появление которой привело к потере герметичности фурмы, проходит по телу шва и расположена в месте минимального сечения сварного шва. Наиболее вероятной причиной образования этой трещины является растягивающие напряжения, возникшие при эксплуатации фурмы. Такие нагрузки могут возникнуть либо при нарушении «хода» печи - резкий восход шихты, или под действием термических нагрузок. Такие напряжения в сочетании с тепловым режимом работы (если температура сварного шва находится в интервале, при котором он имеет минимальную пластичность) могут привести к разрушению шва.

Кроме того, в предельных участках сварного шва прилегающих к отливки проходят более мелкие микротрещины длиной 0,5–1,5мм, распространяющихся как по телу зерна, так и непосредственно по границе: отливка - шов. Эти трещины могли образоваться как в процессе изготовления фурмы, так и при ее эксплуатации под действием растягивающих механических напряжений.

Для предотвращения разрушения сварных швов фурмы необходимо соблюдать геометрию сварного шва - не допускать отклонений в его геометрии более разрешенных ГОСТом; выдерживать режим эксплуатации фурм - не допускать нарушений температурного режима работы фурм, не допускать нарушений «хода» печи; повышение прочности сварного шва можно достичь увеличением его геометрических размеров, но такое увеличение требует изменения конструктивных размеров фурмы и изменения ее стоимости.

---

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

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫПУЧИХ СРЕД

Пономарева И.В. (МТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Высокопрочная проволока широко применяется для изготовления различных длинномерных и мелкогабаритных изделий, от которых требуется наличие сорбитной структуры в заготовке, так как сорбит имеет очень хорошую деформируемость при высокой однородности структуры и свойств металла.

Поэтому целью данного исследования является изучение возможности получения сорбитной структуры путём аустенитизации и последующего охлаждения в сыпучем графите, что улучшает экологические условия и является менее дорогостоящим процессом, по сравнению с патентированием в солях.

Эксперименты включали в себя нагревы образцов из эвтектоидной стали с разными степенями деформации (0 – 75 %) в нагревательной электрической печи до заданной температуры аустенитизации, выдержку их при этой температуре и дальнейшее охлаждение в порошке графита.

По окончании эксперимента производили изготовление шлифов исследуемых образцов, измерение их микротвёрдости (рис.1), а также микроструктурный анализ (рис.2).

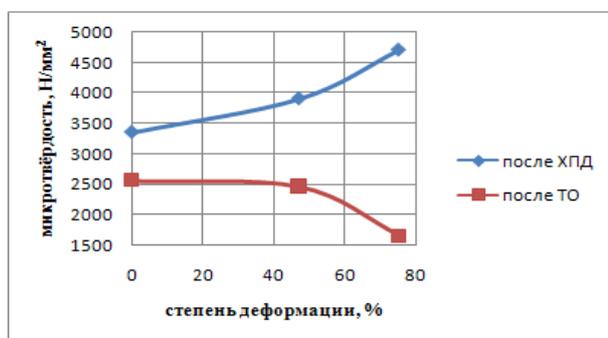


Рисунок 1 - Микротвёрдость образцов после холодной пластической деформации (ХПД) и термической обработки.

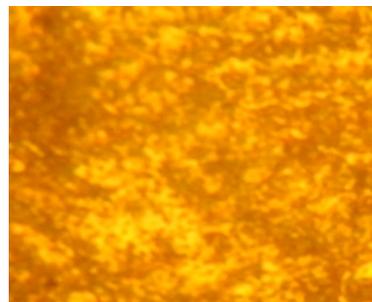


Рисунок 2 – Микроструктура образца со степенью деформации 47% после сорбитизации (продольное сечение, ×2000 ).

Видно, что микротвердость и микроструктура образцов соответствует структуре сорбитного типа с особенностями, обусловленными предварительной холодной деформацией.

Таким образом, формирование структуры сорбита в высокопрочной проволоке путём охлаждения в среде сыпучего графита принципиально возможно и подлежит детальному изучению.

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

# К ВОПРОСУ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛКОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВО-КРАМАТОРСКОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Грачев А.И. (ПМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Валки являются ответственными крупными деталями и поэтому, несмотря на наработанные годами технологии производства, включающими термическую обработку, все еще остаются неясными вопросы, касающиеся усовершенствовании этих технологий с целью уменьшения затрат энергии, цикла изготовления и повышения качества. Типичная технология термической обработки валков горячей прокатки в большинстве случаев включает отжиг поковки, черновую механическую обработку, нормализацию или улучшение заготовки, механическую обработку под закалку, закалку с отпуском, механическую обработку под второй отпуск, второй отпуск. После такой термической обработки важно, чтобы по всему сечению валка свойства были одинаковы. Учитывая, что сечение прокатного валка может достигать величины более 1000 мм, становится понятной сложность достижения этого из-за наследственного проявления ликвации углерода, серы, фосфора, газов и других дефектов крупных слитков. Одной из причин проявления ликвации легирующих элементов и примесей может быть неоднородность температуры в рабочем пространстве печи во время ковочного нагрева.

С целью определения качества и однородности структуры в данной работе были проведены исследования микроструктуры откованной заготовки валка из стали 70ХЗГНМФ (%масс: 0,67-0,86 С, 0,67-0,76 Si, 0,90-1,02 Mn, 2,75-2,93 Cr, 0,34-0,35 Ni, 0,51-0,57 Mo, 0,10-0,11 V, 0,015-0,023 P, 0,002-0,003 S) массой 72 тонны.

Для проведения исследований отобрали образцы из слитка отлитого сифонным способом. Слиток ковали по принятой на НКМЗ технологии и отрезали подприбыльную часть. Образцы вырезали из деформированной части поковки у поверхности слитка,  $\frac{1}{2}$  радиуса (на расстоянии 250 мм от поверхности) и осевой зоны на расстоянии 500 мм от поверхности. Микроструктуры отобранных образцов приведены на рисунке.

Размер зерна в поверхностном слое соответствует 4-5 номеру шкалы 1 ГОСТ 5639-81, в сердцевине – 5-6 номеру, также в сердцевине присутствуют некоторые микронесплошности металла. Как видно из рисунков, микроструктура образца из поверхностной зоны - зернистый перлит и равномерно распределенные карбиды. Микроструктура металла на расстоянии  $\frac{1}{2}$  радиуса и в центральной зоне – частично сфероидизировавшийся перлит и карбиды.

---

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

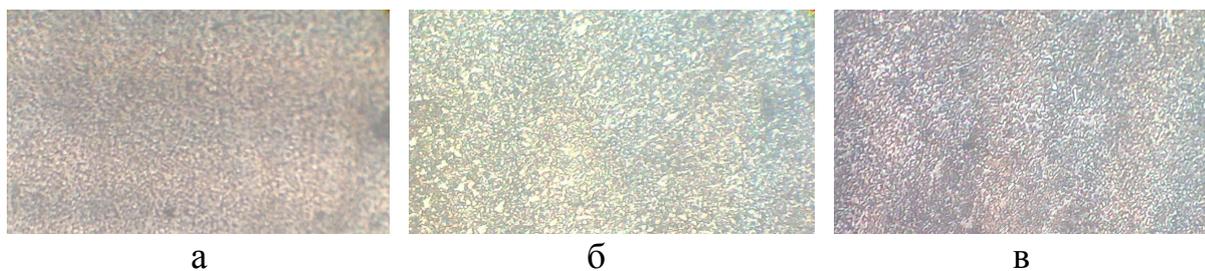


Рисунок - Микроструктура поковки из стали 70X3ГНМФ: а – поверхностный слой; б –  $\frac{1}{2}$  радиуса; в – сердцевина.

После подготовки поверхности на образцах измеряли также твердость и микротвердость. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ – 3, а твердость (HRB) – на приборе ТК-2М. На каждом образце произвели по 13 измерений микротвердости и по 9 измерений твердости. Результаты измерений твердости и микротвердости после их обработки приведены в табл.

Таблица – Распределение твердости и микротвердости по сечению поковки

Место отбора проб	Колебания твердости, HRC/НВ		Средняя твердость, HRC/НВ
	Min	Max	
поверхность	15/209	19/223	17/217
$\frac{1}{2}$ радиуса	12/197	18/217	15/207
Осевая зона	14/201	16/212	15/207
	Колебания микротвердости Нц, Н/мм <sup>2</sup>		
Поверхность	2720	4330	3231
$\frac{1}{2}$ радиуса	2550	3140	2832
Осевая зона	2430	3220	2717

### Выводы:

1. Микроструктура образцов практически однородна и состоит из смеси пластинчатого и зернистого перлита и избыточных карбидов.

2. Неравномерное распределение твердости и микротвердости по сечению крупной поковки, связанное с равной долей пластинчатого и зернистого перлита.

3. Как твердость, так и микротвердость снижаются от поверхности к осевой зоне поковки, что может быть связано с ликвацией примесей и легирующих элементов в слитке, а также с усадочными явлениями, по объему слитка.

## **ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ РСД-32**

Зюзина О.А. (МТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Сталь РСД-32 относится к группе листовых низколегированных сталей с пониженным содержанием углерода, что обеспечивает хорошую свариваемость в сочетании с повышенной прочностью и удовлетворительными показателями вязкости. Листы из данной марки стали применяют в судостроении в качестве элементов корпусов и надстроек, обшивки судов, а также для изготовления причалов и других сопутствующих конструкций.

При производстве стали РСД-32 в условиях ПрАО «Донецксталь металлургический завод» фиксируется периодическое снижение уровня работы удара на листовом прокате. Согласно предварительным металлографическим исследованиям, основной причиной получения неудовлетворительных испытаний является развитая ликвация, приводящая к образованию в микроструктуре исследованных образцов бейнитно-мартенситных участков, обладающих повышенной прочностью и пониженной пластичностью и вязкостью.

Целью данной работы является анализ влияния химического состава на показатели механических свойств стали РСД-32.

Для установления возможных причин снижения показателей работы удара был проведен статистический анализ результатов сдаточных испытаний механических свойств и химического анализа при производстве толстых листов из стали РСД-32 за 2011 г.

Установлено, что химический состав, а также показатели прочности и вязкости соответствуют требованиям, предъявляемым к данной марке стали. Однако, в некоторых случаях, значения работы удара на образцах с острым надрезом при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  определяются при повторных испытаниях, что допускается нормативной документацией в случае, если одно из полученных значений в ходе первичных испытаний не соответствует требованиям. Методом дисперсионного анализа было выявлено, что партии листов, на которых проводились повторные испытания, имеют в своем составе повышенное в пределах марочного содержание алюминия, молибдена, фосфора, а также в меньшей степени углерода и никеля.

Методом корреляционного анализа показано, что увеличение содержания молибдена, углерода, никеля и алюминия приводит к понижению значений работы удара  $KV^{20}$ , при этом лишь углерод одновременно повышает показатели прочности, также как и увеличение содержания кремния, марганца и меди.

---

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН Т5К10 ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

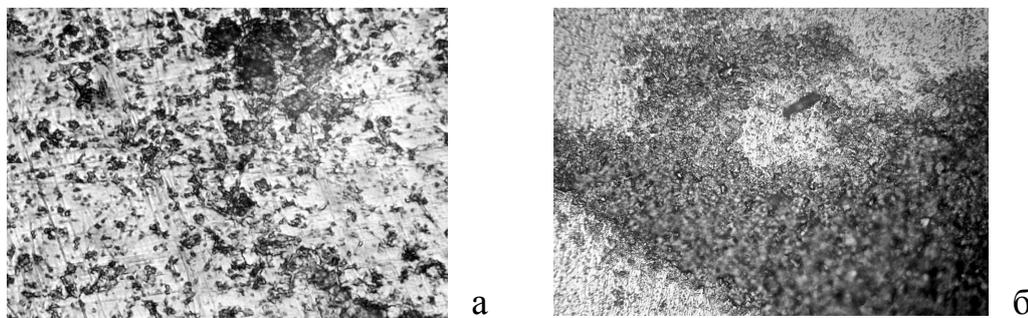
Стукало О.Р. (ПМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Твёрдые сплавы — твёрдые и износостойкие металлические материалы, способные сохранять эти свойства при 900—1150 °С. В основном изготавливаются из высокотвердых и тугоплавких материалов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, хрома, связанные кобальтовой металлической связкой, при различном содержании кобальта или никеля.

Твердосплавные пластины в основном разрушаются из-за выкрашивания в процессе эксплуатации. Причиной этого является неоднородность структуры, (неравномерность распределения дефектов, вариации химического и фазового состава) и следовательно, физико-механических свойств материала твердосплавных пластин, возрастающая в результате теплового, физико-механического и химического воздействий, в ходе изготовления пластин и их эксплуатации.

Для данного исследования были выбраны пластины твердого сплава Т5К10, размерами – 10x16 мм., 4x6 мм. Пластины подвергались шлифованию алмазной пастой – 2/1, 5/3 класса зернистости. Далее исследовались структуры под микроскопом для выявления пористости. Для более детальной оценки структуры образцы были протравлены в хлорном железе ( $\text{FeCl}_3$ ). Конечные структуры представлены на рисунке.



а – структура образца размером 10x16 мм; б – структура образца 4x6 мм

Рисунок – Структуры твердосплавных пластин Т5К10 после травления

В результате исследования, пластины оказались низкокачественными, т.к. при разных размерах сплав обладает высокой пористостью. После травления, пластина большего размера имеет высокую пористость, а у образца 4x6 мм обнаружили выкрашенные участки хлорным железом.

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ ПО ТОЛЩИНЕ ЛИСТОВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ С ПОСЛЕДЕФОРМАЦИОННЫМ УСКОРЕННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Колодяжная М.Г. (МТ-11м)\*

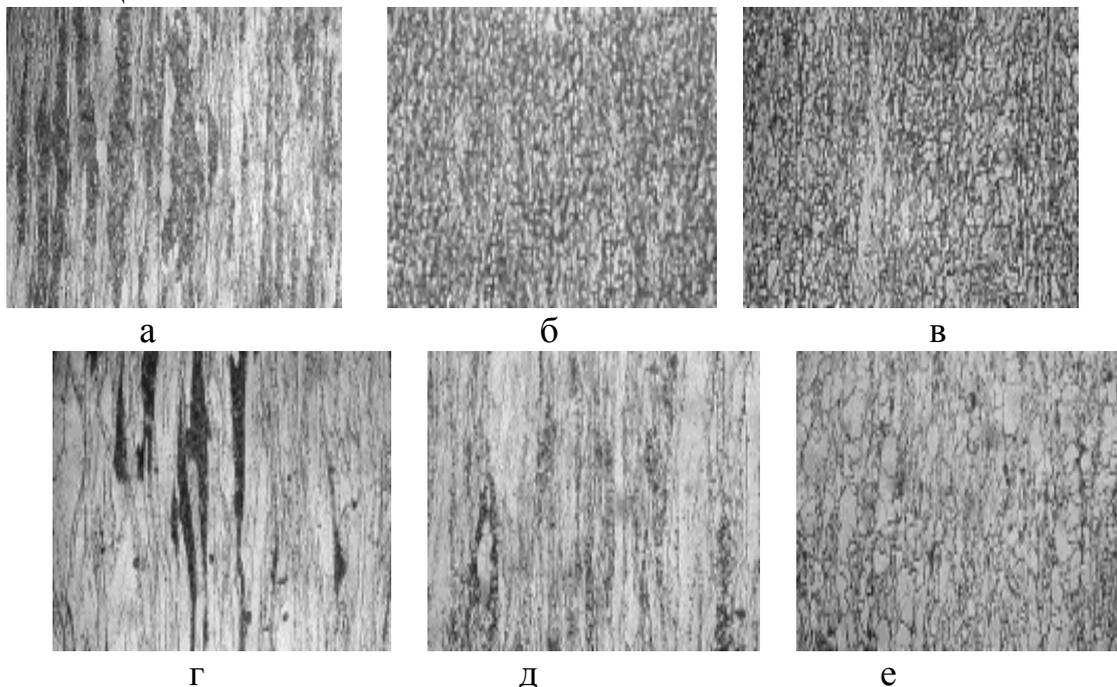
Донецкий национальный технический университет

Контролируемая прокатка является наиболее распространенным способом производства листов из трубных сталей. Цель прокатки – формирование мелкозернистой структуры, обеспечивающей получение в стали высокого уровня показателей прочности, пластичности, вязкости и сопротивления хрупкому разрушению.

Целью данной работы является изучение структуры сталей классов прочности Х70 и Х65 после контролируемой прокатки с последеформационным ускоренным охлаждением.

Материалом для исследования служили образцы Х70 и Х65, отобранные от листа, полученного по технологии контролируемой прокатки. Образцы нагревали до температур 1210-1220 °С, прокатывали и проводили ускоренное последеформационное охлаждение. На полученных образцах изучали структуру, а также измеряли микротвердость.

На рисунке 1 приведены микроструктуры стали Х70 и Х65 в различных зонах по толщине листов.



а, г- микроструктура стали в приповерхностной зоне листа, б, д- на расстоянии 5...7 мм от поверхности, в, е - в центре сечения по толщине листа: х 500

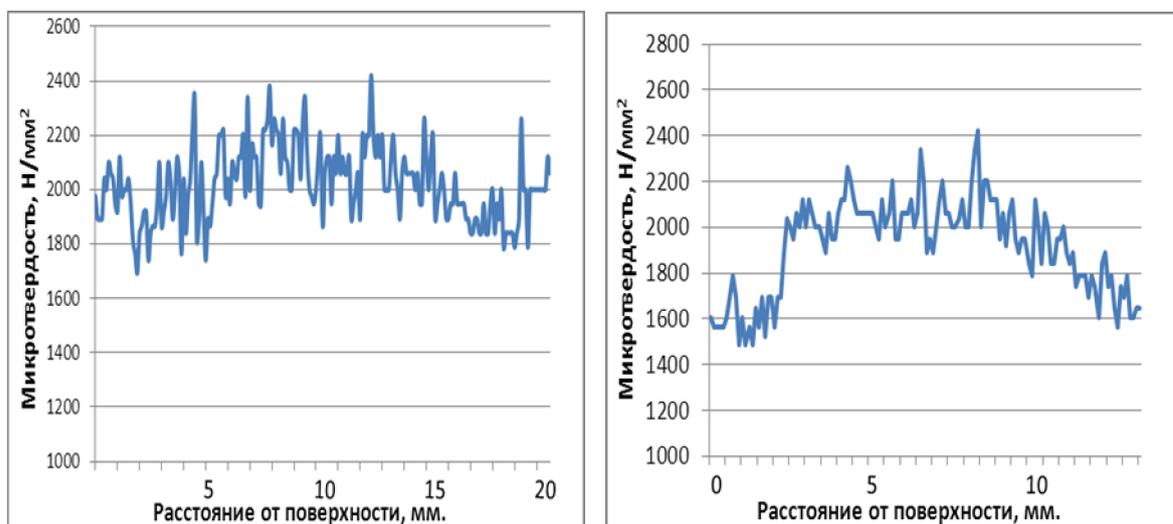
Рисунок 1 – Микроструктура стали Х70 (а, б, в) и Х65(г, д, е)

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

Структура сталей является преимущественно феррито-бейнитной, что обусловлено реализацией ускоренного охлаждения. Бейнит образуется вместо перлита, который образовался бы в структуре в случае последеформационного охлаждения на воздухе. Характерно наличие структурной неоднородности в виде структурной полосчатости, когда чередуются полосы феррита и бейнита. Степень структурной неоднородности снижается по мере удаления от поверхности листа. Вследствие возникновения структурной неоднородности по сечению листов может прослеживаться анизотропия показателей механических свойств.

В приповерхностной зоне листов на глубину до 2-3 мм. наблюдается структура, характеризующаяся наличием деформированных зерен феррита, чередующихся с полосами бейнита (темные полосы). По границам зерен феррита и в относительно небольшом количестве – внутри зерен, наблюдаются выделения карбидов.

На рисунке 2 приведены графики изменения микротвердости образцов исследуемых сталей по сечению в поперечном направлении.



а

б

а – сталь X70, б- сталь X65

Рисунок 2 – Изменение микротвердости по сечению образцов

Изменение микротвердости по сечению образцов связано со структурной неоднородностью, что ранее было показано на изображениях микроструктур. Наблюдается тенденция к повышению твердости стали по мере удаления от поверхности листа.

Листы из стали X70 ускоренно охлаждали до более низких температур, поэтому в приповерхностных зонах листов образуется больше бейнита и меньше феррита в сравнении со сталью X65, ускоренное охлаждение листов из которой заканчивали при более высокой температуре. По этой же причине и уровень микротвердости в различных зонах по толщине листов из стали X70 оказывается выше с таковым у стали X65.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ КОНТАКТА ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ПАЙКИ

Молчанова Ю.В. (МП-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Вопрос закрепления твердосплавных пластин методом пайки освещён достаточно широко. Целью работы являются исследования, связанные с возможностью повышения эксплуатационных свойств инструментов с паяными твердосплавными пластинами. Известно, что паяное соединение неоднородно по строению и составу. В зоне контакта имеются дефекты (возможны остаточные деформации, которые вызовут остаточные напряжения, различные включения, трещины и микротрещины).

В качестве образца была взята буровая коронка, изготовлены микрошлифы зоны контакта пластины с основным металлом, получены микроструктуры.

Обнаружено, что паяное соединение имеет сложную конструкцию. Твердосплавная пластина крепится к нескольким слоям подложки, а только потом к основному металлу инструмента. Полученный результат представлен ниже на рисунке.



Рисунок – нетравлёная микроструктура зоны контакта твердосплавной пластины с подложками и основным металлом.

Данная многослойная структура при пайке пластины применяется для более совершенного крепления твердосплава к основному металлу. Так как рассматриваемая буровая коронка применяется при геологических исследованиях, быстро изнашивается рабочая часть, требуется частая замена твердосплавных пластин. Для усовершенствования процесса крепления твердосплавов при так называемом «стихийном» производстве требуется проведение исследования зоны контакта. Таким образом, сосредоточим внимание на дефектах, образующихся в зоне крепления твердосплавных пластин методом пайки.

---

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

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ СТАЛИ 70ХЗГНМФ

Вислогузова Е.А. (МТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Современные системы автоматического управления охлаждением валков создаются на основе математических моделей, так как использование прямого метода измерения среднемассовой температуры валков не представляется возможным. Температуру поверхности валков в процессе прокатки весьма сложно измерять из-за брызг воды почти по всей поверхности бочки валков.

В ходе данной работы была разработана теоретическая модель процесса охлаждения валка из стали 70ХЗГНМФ с габаритными размерами 1866Ч981 мм.

С помощью программы ANSYSED был построен график, показывающий изменение скорости охлаждения валка по его сечению после нагрева до температуры закалки, соответствующей 850°C. При наложении на полученный график линий термокинетической диаграммы для данной стали, было установлено, что после спрерной закалки валок охладиться до температур 300-350°C с образованием в структуре бейнита и мартенсита. Полученные результаты представлены на рисунке.

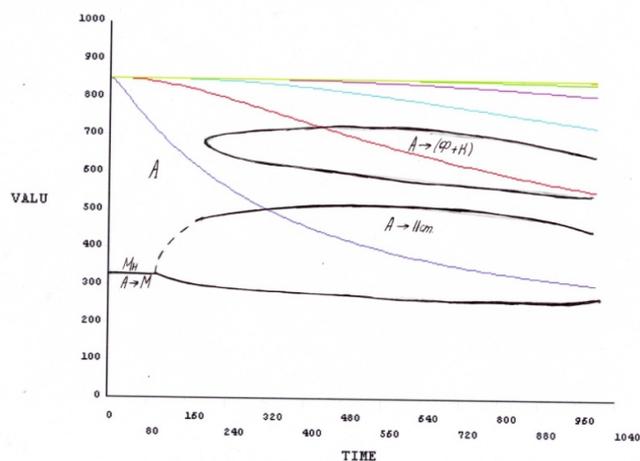


Рисунок - Охлаждение валка из стали 70ХЗГНМФ с наложенными линиями термокинетической диаграммы

Полученный график будет использоваться для дальнейшей разработки модели охлаждения образца небольшого сечения из указанной стали.

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Сидоренко Е.С.(ПМ-11с), Бугаёва Т.А.(ПМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время широко признаны преимущества непрерывного литья стали. Данным способом разливается около 85 % производимой в мире стали. Технологические системы непрерывной разливки стали представляются хорошо продуманными и обоснованными, поскольку охватывают весь технологический процесс, начиная с подготовки сырья и получения энергии и заканчивая чистой сталью и ее эксплуатационными свойствами, что обеспечивает оптимальное качество металлопродукции при минимальных затратах. Технология производства стали, и уровень содержания кислорода до раскисления оказывают определяющее влияние на уровень загрязненности непрерывнолитых заготовок включениями.

Эксплуатационные свойства стали определяются прежде всего формой, размером и распределением неметаллических включений, которые зависят от способа раскисления, условий затвердевания и деформации. В литературе имеются сведения о том, что на тип неметаллических включений, их состав и форму, оказывает большое влияние продолжительность реакции сталь/шлак. Однако многие исследователи считают, что тип включений не влияет на механические свойства стали. Определяющим фактором считают критический размер включений, который установлен для многих материалов. По-видимому, для каждой стали, существует критический размер включений, зависящий от типа включений, марки стали и предъявляемых к ней свойств.

Целью данной работы является исследование структуры непрерывнолитых заготовок конструкционных углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода 0,35 - 0,60 % после горячей пластической деформации. Для исследования были использованы образцы вырезанные из сортового проката ( $\varnothing 20 \div \varnothing 56$  мм). В ходе исследования производили измерение твердости на приборе ТК-2М. Установили, что в поперечном сечении прокат имеет более высокую твердость (23 - 25 HRC), чем в продольном сечении (19 - 21 HRC). Исследование неметаллических включений в поперечном и продольном сечении проката производилось в соответствии с ГОСТ 1778-70: выявлены неметаллические включения, принадлежащие к классу 1 – 2 по шкале «б» независимо, причем в поперечном сечении они имеют равноосную форму, а в продольном - неметаллические включения раздроблены и вытянуты в строчку.

---

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

## ВПЛИВ РЕЖИМА НАГРІВУ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ НА СТРУКТУРУ ЗВАРНИХ ЛАНКІВ ЛАНЦЮГІВ ІЗ СТАЛІ 23Г2А

Пильова І.В. (МТ-08)\*

Донецький національний технічний університет

Ефективність експлуатації устаткування сучасного підприємства, призначеного для транспортування і переробки насипних вантажів багато в чому визначається надійністю, працездатністю і економічними показниками транспортних систем, основу яких складають конвеєрні лінії. Скребокві конвеєри є найбільш поширеними лініями безперервного транспорту вугілля. Залежно від умов експлуатації термін служби круглозвінних ланцюгів на конвеєрах СП складають 5 — 8 міс. Завдання поліпшення експлуатаційних параметрів тягових ланцюгів має важливе значення і є однією з найбільш актуальних для експлуатації комплексу ГШО.

Метою роботи є вивчення впливу режиму термічної обробки на структуру та властивості зварних з'єднань сталі 23Г2А для ланцюгів шахтних конвеєрів з метою підвищення їх працездатності.

Дослідження проводили на зразках ланцюгів, виготовлених з конструкційної сталі 23Г2А 18×64 мм класу пружності «С», відібраних в умовах ВПТ «КОНЦЕПТ» після гнбки, контактної-стикової зварки і після термічної обробки з різними режимами нагріву, а саме об'ємного нагріву в шахтних печах під гартування та нагріву СПЧ. Перш за все, були вивчені умови експлуатації ланцюгів та вимоги, які до них пред'являються: пробна навантаження, 330 кН, відносно подовження при пробному навантаженні не більше 1,6 %, руйнівне навантаження не менше 410 кН, відносно подовження при руйнівному навантаженні не більше 14 %.

В результаті досліджень встановили, що круглозвінні ланцюги працюють в умовах граничного тертя, середовищем є волога вугільноабразивна суміш, що виконує роль і агресивним середовищем. Знос ланцюга, пов'язаний з потоншенням небезпечних перетинів, до зменшення міцності і робить великий вплив на експлуатаційні показники ланцюга.

Встановили, що після об'ємного нагріву в шахтних печах під гартування на поверхні є зневуглецьований шар товщиною до 1 мм, який може викликати розтріскування по поверхні виробів, таким чином знизити їх працездатність за рахунок розвитку втомних тріщин, що зароджуються у концентраторів напруги. Після нагріву СПЧ цей шар не перевищує глибини 0,25 мм. За результатами механічних випробувань було встановлено, що при нагріві СПЧ під гартування якість виробів підвищується за рахунок зменшення відносного подовження і збереження міцності. Параметри отримання механічних випробувань задовольняють вимогам НТД.

---

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри ФМ Штихно А.П.

# ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ

Щеникова Е. А. (ПМ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Холодная пластическая деформация (ХПД) является одним из основных методов формоизменения стальных заготовок. В связи с этим, интерес представляет изучение влияния ХПД на такие процессы, как обезуглероживание и науглероживание стали при последующей термической обработке.

В работе обезуглероживание проволочных образцов из стали 80 со степенью деформации 0; 27; 47; 61; 69 и 75% во время отжига при температурах 900, 950, 1000°C с выдержкой 1 час. Зависимость глубины обезуглероживания от степени предварительной ХПД представлена на рисунке.

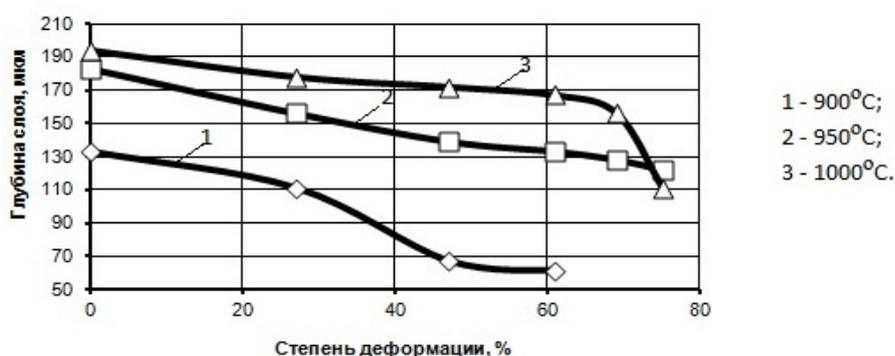


Рисунок - Зависимость глубины обезуглероживания от степени предварительной холодной пластической деформации

Рассчитанные коэффициенты диффузии представлены в таблице.

Таблица – Влияние ХПД на коэффициент диффузии углерода в стали

Температура, °C	Коэффициент диффузии в зависимости от E, см <sup>2</sup> /с 10 <sup>-8</sup>					
	0	27	47	61	69	75
900	0,42	0,29	0,11	0,09	-	-
950	0,56	0,41	0,32	0,29	0,27	0,25
1000	0,16	0,13	0,125	0,12	0,1	0,05

Как видно, с увеличением степени деформации глубина обезуглероживаемого слоя уменьшается. Для каждой из температур отжига, повышение степени предварительной деформации, также приводит к снижению коэффициента диффузии. При этом зависимость коэффициента диффузии от температуры более сложная, что связано, видимо, с различной степенью предельной растворимости углерода в аустените при конкретной температуре.

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

# ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ

Данилова Ж.Ю. (ПМ-11 м)\*

Донецкий национальный технический университет

Характерной особенностью листов, изготовленных из трубных сталей путем контролируемой прокатки, является формирование полосчатой структуры и анизотропия свойств, которые снижают качество металла и уменьшают срок службы трубопроводов. Поэтому изучение возможностей устранения полосчатой структуры является важной и актуальной задачей.

Исследование выполнялось на стали трубного сортамента марки X70, прокатанной в листы по технологии контролируемой прокатки из непрерывнолитых слябов. Затем 3 образца из различных частей листа были подвержены закалке и высокому отпуску при температуре 630-650 °С, 3 образца – подвержены отжигу при температуре 630-650 °С, и 3 образца – подвержены нормализации. После термической обработки изучалась микроструктура образцов и измерялась их твердость. Значения твердости образцов приведены в таблице.

Таблица – Твердость образцов из стали X70

Место вырезки образца	Термообработка	Твердость HRB
Прикромочный	Закалка и высокий отпуск	95
½ ширины листа	Закалка и высокий отпуск	90
1/3 ширины листа	Закалка и высокий отпуск	90
Прикромочный	Отжиг	91
½ ширины листа	Отжиг	92
1/3 ширины листа	Отжиг	97
Прикромочный	Нормализация	88
½ ширины листа	Нормализация	85
1/3 ширины листа	Нормализация	82

После контролируемой прокатки сталь X70 имеет феррито-перлитную структуру с мелкими и вытянутыми зернами. Возможно формирование сплошных полос феррита и перлита (феррито-перлитная полосчатость).

Установлено, что после отжига сохраняется вытянутая форма зерен и полосчатость (рисунок 1). Так как в отожженном состоянии частично сохраняется структура, характерная для контролируемой прокатки, твердость стали выше, чем после нормализации и улучшения.

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

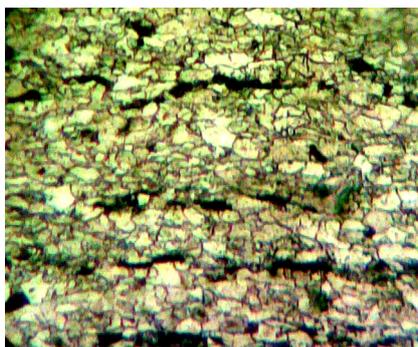


Рисунок 1 – Микроструктура стали X70 после отжига,  $\times 500$

Из рисунка 2 видно, что после нормализации зерна теряют вытянутую форму, становятся равноосными. Полосчатость сохраняется в некоторых участках, однако ее степень меньше, чем после отжига.

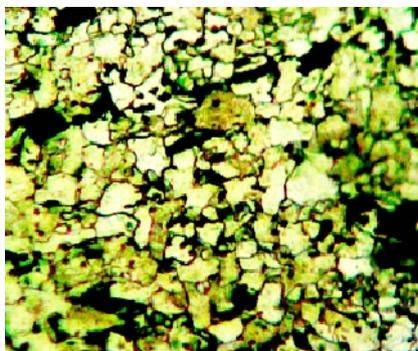


Рисунок 2 – Микроструктура стали X70 после нормализации,  $\times 500$

После закалки и высокого отпуска строчечность полностью исчезает, сталь приобретает структуру сорбита отпуска (рисунок 3).

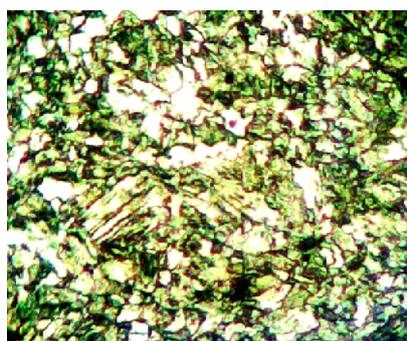


Рисунок 3 – Микроструктура стали X70 после закалки и высокого отпуска,  $\times 500$

Структура характеризуется мелкозернистостью и равномерностью.

## ВПЛИВ ЦЕМЕНТАЦІЇ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ 20Х3МВФ-Ш

Федчук І.В. (ПМ-41)\*

Луцький національний технічний університет

Актуальним в наш час є питання про довговічність і надійність деталей машин, авіалітаків, різних приборів, підвищення їх якості і ефективності роботи, відповідно, питання про економію матеріалів, боротьбу з корозією і зношення деталей. Важлива роль цих проблем пов'язана з підвищенням навантажень, температур, агресивності середовищ, в яких деталі працюють.

Для вирішення даних проблем потрібно, перш за все, забезпечити необхідне зміцнення поверхневих шарів. Зміну властивостей поверхні можливе при нанесенні на неї нового матеріалу з потрібними властивостями, а також зміни складу поверхневого шару металу.

Поверхневі шари піддають дифузійній хіміко-термічній обробці (ХТО), в результаті якої на поверхні виробу утворюється новий сплав, який відрізняється від серцевини. ХТО дозволяє отримати сплав практичного будь-якого складу, забезпечуючи при цьому комплекс необхідних фізичних, хімічних, механічних та інших властивостей.

Одним з видів хіміко-термічної обробки є цементация. Цементация називається процес дифузійного насичення деталей вуглецем. Цементация призначається деталям, які працюють «на удар і на знос»: деталі повинні мати в'язку серцевину і твердий зносостійкий поверхневий шар. Цементация з наступною термічною обробкою одночасно підвищують і границю витривалості.

В роботі для дослідження було обрано деталь кріплення авіаційного двигуна, а саме шпилька, яка виготовлена з конструкційної теплостійкої сталі марки 20Х3МВФ-Ш перлітного класу. Сталь є високоякісна, призначена для робіт з високими температурами 550...650°C довготривалий час. З неї виготовляють ротори, поковки, прутки, деталі для кріплень, труби високого тиску для хімічної апаратури. Сталь 20Х3МВФ застосовується в енергетичному машинобудуванні для виготовлення котлів, паронагрівачів, паропроводів і ін.

Для даної сталі провели попередню термічну обробку, а саме нормалізацію при температурі 920°C ( $\pm 20^\circ\text{C}$ ), час витримки складав 15...20 хв. Після чого провели високий відпуск при температурі 660°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ), витримуючи при 20 хв. Наноситься мідне покриття, товщиною 30 мкм, з метою захисту окремих ділянок від науглецьовування.

Далі теплостійку сталь марки 20Х3МВФ-Ш піддали хіміко-термічній обробці, цементации, яка проводилася у газовому карбюризаторі.

Цементация здійснюється при 910...930°C, тривалість, з розрахунку, 3...5 годин витримки. Технологія газової цементации полягає у тому, що виробу

---

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри М та ПФКМ Зайчук Н.П.

після механічної обробки укладають на піддони і поміщають в цементацийні печі – шахтні, муфельні або безмуфельні печі безперервної дії. Процес здійснюють в середовищі газів, що містять вуглець. При газовій цементації можна керувати отриманням заданої концентрації вуглецю в шарі; скорочується тривалість процесу, так як відпадає необхідність прогріву ящиків, наповнених карбюризатором; забезпечується можливість повної механізації і автоматизації процесів і значно спрощується подальша термічна обробка деталей, так як загартування можна проводити безпосередньо з цементацийної печі.

Цей процес хіміко-термічної обробки деталей здійснюється в герметичній реторті з жароміцної сталі, розміщеної в робочій камері печі. Навуглецьовувальна атмосфера створюється випаровуванням та розкладанням рідкого карбюризатора (гасу, синтину, триетаноламіну), що подається в реторту через крапельницю в кришці печі. Відпрацьований газ відводиться через трубку і спалюється. Для створення вихрових потоків газу та вирівнювання складу газової суміші в реторті встановлено вентилятор.

Структура серцевини залежить від марки сталі та її прогартовуваності: у вуглецевих сталей – ферит плюс перліт; у низько- та середньолегованих – ферит в кількості меншій, ніж у вихідній структурі, і сорбіт або троостит в кількості більшій, порівняно з кількістю перліту у вихідній структурі; структура серцевини високолегованих цементованих сталей з наскрізною прогартовуваністю – ферит плюс маловуглецевої мартенсит відпуску – міцний, але не крихкий.

Властивості деталей після цементації і термообробки: висока поверхнева твердість, отже, висока зносостійкість і контактна міцність деталей; в поверхневому шарі створюються напруги стиску, тому що питомий обсяг мартенситу більше питомого обсягу ферито-цементитної суміші, тому підвищується втомна міцність (межа витривалості) деталей.

Отже, необхідно загартувати сталь до температури 920°C ( $\pm 20^\circ\text{C}$ ) з витримкою 25...30хв і наступним низьким відпуском при 200...250°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ), витримка складає 180 хв.

У поверхневому шарі легованих сталей після термічної обробки може бути присутній залишковий аустеніт, який знижує твердість. Щоб усунути аустеніт, іноді застосовують обробку холодом, що призводить до зменшення ударної в'язкості.

Після проведення усього комплексу термічної обробки було отримано твердість: поверхневого шару – 60 HRC, твердість серцевини – 43 HRC. Отже, можна зробити висновок, що цементація та кінцева термічна обробка проведені за вірними режимами та відповідають поставленим вимогам до даної сталі.

# ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ СТАЛІ 45

Артюхова Т.Ф. (ПМ – 41)\*

Луцький національний технічний університет

Для дослідження у даній роботі було взято сталь 45, яка є широко використовуваною в промисловості так як має високі механічні властивості. На прикладі об'єкту дослідження, а саме губок для розвальцювання мідних трубок підберемо оптимальний режим термічної обробки, дослідимо структуру та зміну властивостей сталі.

Метою даної роботи було вивчення структури і властивостей зразка зі сталі 45, яка піддається загартуванню і наступного відпуску.

Основними етапами розробки технології виробництва є: вибір режимів термічної обробки, вибір обладнання для термічної обробки, визначення форм і розмірів заготовки для розрахунку норм часу, термічна обробка, виготовлення макрошліфів, дослідження макро- і мікроструктур, визначення твердості.

До основного обладнання для термічної обробки є печі, нагрівальні установки та охолоджувальні пристрої. Ми обрали електричну піч на піддон якої укладається заготовка.

Важливим етапом є визначення норм часу на термічну обробку. Основними складовими якого є визначення основного та допоміжного часу.

Для дослідження у даній роботі було обрано губки для розвальцювання мідних трубок зі сталі 45. На початку процесу деталь зазнала механічну обробку, за якої зразок було розділено на дві частини, для піддання його різним видам відпуску. За допомогою таблиці в якій приведено температури за яких буде проведений термічний режим та механічні властивості сталі згідно цих температур.

Таблиця – Механічні властивості в залежності від температур відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ
<i>Загартування 850 °С, вода.</i>						
450	830	980	10	40	59	288
600	590	730	25	55	118	219

Отримання макрошліфів проводиться, таким чином, щоб на зразку було чітко видно повздовжній переріз. Після шліфування необхідно знежирити поверхню, для наступного травлення. В результаті травлення на поверхні утворюються зони вивчення структури.

Макро і мікроскопічний аналіз проводили згідно загальновідомих методик. Мікроскопічний аналіз проводився на металографічному мікроскопі МИМ-10.

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри М та ПФКМ Зайчук Н.П.

В результаті проведеного дослідження за допомогою мікроскопічного аналізу було отримано мікроструктури сталі до та після технологічних операцій.

Під час гартування зразок було нагріто до температури утворення аустеніту, після цього швидко охолоджують зі швидкістю, більшою за критичну швидкість гартування. При цьому аустеніт швидко переохолоджується до таких низьких температур. За яких сповільнюється дифузійний рух атомів Карбону. Тому вони не мають змоги покинути кристалічну ґратку аустеніту до алотропного перетворення  $Fe_\gamma$  у  $Fe_\alpha$  і утворити цементит. Алотропне перетворення, що відбувається без дифузійного переміщення атомів, фіксує весь надлишковий вміст Карбону в кристалічній ґратці  $Fe_\alpha$ , спотворюючи її від кубічної до тетрагональної. Так утворюється мартенсит. Низька пластичність та значні внутрішні напруження не допускають застосування сталі лише в загартованому стані.

Під час відпуску сталь нагріваємо до температури, яка не перевищує температури  $A_{c1}$ , витримуємо при цій температурі для перетворення мартенситу гартування у рівноважні структури та охолодження.

Підаючи високотемпературному відпуску першу частину деталі за якої відбувається повний розпад структур гартування і подальша коагуляція продуктів розпаду отримуємо зернисту структуру - сорбіт відпуску, який збільшує ударну в'язкість, пластичність та повністю усуває гартівні внутрішні напруження. Для другої частини деталі технологічною операцією є середньотемпературний відпуск. Під час нагрівання мартенсит та залишковий аустеніт розпадаються на дисперсну ферито-цементитну структуру – тростит відпуску, який має високу пружність, витривалість та релаксаційну стійкість.

Після проведення дослідження було встановлено, що чим вищою є температура гартування тим менша присутність карбідних фаз, так як розчинення карбідних фаз призводить до росту аустенітного зерна. Температура загартування неоднозначно впливає на абразивну зносостійкість сталі, таким чином чим вища температура нагрівання сталі тим вищим буде значення зносостійкості, це пов'язано зі збільшенням кількості вуглецю в мартенситі і підвищенням його твердості, так із підвищенням кількості остаточного аустеніту під час мартенситного перетворення при деформації.

Основним завданням дослідження губок для розвальцювання мідних трубок, було забезпечення умов довговічності матеріалу, зносостійкості, корозостійкості, високі експлуатаційні умови і разом з тим порівняно не висока вартість, було підібрано таку термічну обробку як гартування у воді та високотемпературний відпуск, оскільки деталь повинна мати високу міцність, зносостійкість, ударну в'язкість, довговічність, корозостійкість, високі експлуатаційні умови. Такі вимоги надає нам термічна обробка, яка складається саме з загартування та високотемпературного відпуску, або її ще називають поліпшенням. Завдяки поліпшенню ми змогли значно підвищити конструктивну міцність сталі, зменшити чутливість до концентраторів напружень, розвитку тріщин, знизити верхній і нижній поріг холодноламкості.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛАСТИН ПРЕССФОРМ ИЗ СТАЛИ X12

Рыбка Е.Н. (МТ - 08)\*

Донецкий национальный технический университет

Перспективным материалом для изготовления пластин пресс-форм следует считать сплавы с максимально возможным содержанием углерода, но допускающими еще выполнение операции объемнойковки в промышленных условиях и формирование в структуре при термической обработке необходимого количества остаточного аустенита. Из стандартных материалов более всего этим требованиям соответствует сталь X12, содержащая 2,0- 2,2 % углерода.

Металлофизические свойства и структура стали X12 в значительной степени зависят от режима ее термообработки. В связи с этим было принято решение провести нагрев образцов сечением 1 см до температур под закалку 1050 °С и 1100 °С. Образцы грели в электрической печи типа Т- 40/600. Охлаждение производили в машинном масле. Твердость закаленного образца, нагретого до температуры 1050 °С, составила 52- 54 HRC, до температуры 1100 °С- 43-45 HRC. Полученные структуры состоят из аустенита, мартенсита и остаточных карбидов. Образец, после закалки с 1100 °С, в своей структуре содержит значительно большее количество остаточного аустенита, чем образец после закалки с 1050 °С. Понижение твердости и увеличение в структуре остаточного аустенита связано с тем, что при повышении температуры закалки, увеличивается насыщение твердого раствора хромом и углеродом вследствие растворения карбидов. Причины высокой износостойкости изделий из стали со структурой остаточного аустенита заключаются в упрочнении рабочей поверхности металла в процессе изнашивания, обусловленном фазовыми превращениями, созданием дислокаций высокой плотности и равномерным их распределением. Образец, после закалки с 1100 °С обладает меньшей износостойкостью, чем образец после закалки от 1050 °С. Это связано с тем, что одновременно с повышением содержания в структуре аустенита снижается его чувствительность к фазовым  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращениям в условиях эксплуатации пластин пресс-форм.

Таким образом, лабораторные испытания показали, что нагрев пластин пресс-форм до температуры под закалку 1050 °С обеспечит оптимальный уровень механических свойств в производственных условиях.

В дальнейшем планируется проведение исследований, направленных на совершенствование режима термической обработки изделий из стали X12 в производственных условиях, в том числе, моделирование идеальной кривой нагрева для садок разной массы.

---

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

# ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

Минько О.А. (ТО-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

На предприятиях горной, обогатительной, металлургической отраслей многие детали машин и оборудования непосредственно контактируют с рудой, углем, концентратом. Эти среды вызывают особый вид износа – гидроабразивный. Традиционно для изготовления таких деталей используют высокохромистые чугуны. В литературе приводится противоречивая информация по стойкости чугунов. Это объясняется, прежде всего, различием методик испытаний. В связи с этим, целесообразно изучить чугуны, используемые разными производителями подобного оборудования.

Образцы для исследования вырезали из отработавших деталей (табл. 1). На образцах измеряли твердость, изучали микроструктуру. На приборе ПМТ-3 измеряли микротвердость карбидов и металлической матрицы. Призматические образцы размером 60x10x4 мм разрушали по схеме трехточечного изгиба для определения прочности.

Таблица 1 – Показатели прочности и твердости высокохромистых чугунов

Деталь	Производитель	Марка чугуна	Механические свойства	
			твердость, HRC	$\sigma_{и}$ , Н/мм <sup>2</sup>
Колесо шламового насоса типа АН	Warman	ИЧХ28	52	954
Шнек обезвоживающей центрифуги	TEMA System inc.	ИЧХ28	43	700
Колесо багерного насоса	ОАО «Днепротяжмаш»	ИЧХ28Н2	44	591

Структура чугунов содержит большое количество карбидов. Однако, чугун отечественного производителя содержит 3,8% углерода. Это делает его заэвтектическим, что заметно снижает прочность. Чугуны зарубежных производителей являются доэвтектическим (Warman) и эвтектическим (Tema). Наиболее существенно то, что чугун Warman характеризуется наименьшим размером структурных составляющих и, прежде всего, аустенито-карбидной эвтектики.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Крымов В.Н.

# ОЦІНКА ЯКОСТІ СТРУКТУРНОГО СТАНУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСКОВОЇ БОРОНИ ІЗ СТАЛІ 65Г

Плескот Н.Л. (ПМ – 41)\*

Луцький національний технічний університет

В умовах неминучого скорочення природних ресурсів зростає значущість рішення проблем, пов'язаних як з ресурсозберіганням, так і з істотним збільшенням терміну служби деталей машин.

На сьогоднішній день в сільському господарстві через високу вартість паливно-мастильних матеріалів і обмеженості їх постачань товаровиробникам все більша увага приділяється дрібній обробці ґрунту (глибина обробки – 14...16 см) машинами як з лемішно-лаповими, так і з дисковими робочими органами. Останні менш схильні до забивання бур'янами і стерньовими залишками, що визначило їх широке застосування на плугах, боронах, луцильниках, сівалках і інших машинах.

Дискові робочі органи експлуатуються в абразивному середовищі – ґрунті і у міру напрацювання внаслідок інтенсивного зношування, змінюють свої форми і розміри, що негативно впливає на агротехнічні і енергетичні показники тієї або іншої операції обробки. Її якість, енергетичні витрати і загальні витрати на обробку значною мірою визначаються конструкційними параметрами і станом робочих органів.

При виконанні даної роботи об'єктом дослідження стала дискова борона БН – 2,4 зі сталі 65Г (0,65%С, 1%Mn, 0,3%Si), завдяки низького співвідношення відносної ціни і відносної зносостійкості (0,75 в порівнянні з 1,2 для сталі Л53) при більш високих значеннях ударної в'язкості і тимчасового опору при розтягуванні (вигині). Вибрана сталь відноситься до широко використовуваних сталей, є стійкою до зростання зерна, має високі механічні показники (отримання малої шорсткої поверхні при гарячій обробці, велика прогартованість і мала схильність до

---

\* Керівник – к.т.н., доцент кафедри М та ПФКМ Зайчук Н.П.

зневуглецювання). Недоліками є підвищена чутливість до перегрівання, утворення гартівних тріщин, схильність до відпускнуї крихкості.

Термічна обробка виробу проводилась на місцевому підприємстві. Виготовлену дискову борону із сталі 65Г піддали нормалізації для покращення властивостей (твердість за Брінелем склала 1,95 ГПа в порівнянні з початковою – 285 МПа). В результаті утворився перліт з надлишковим феритом.

Подальша термічна обробка складалася з загартування при температурі 800 °С у маслі, при цьому скоріш за все був пропущений відпал. Про що свідчать подальші дослідження та руйнування сталі. Для усунення схильності до зневуглецювання нагрів під загартування проводили в контрольованій атмосфері.

Наступне охолодження в маслі із швидкістю більшою, ніж найменша швидкість охолодження, при якій аустеніт перетворюється на мартенсит, забезпечує отримання дрібнозернистого мартенситу, твердість якого складає 61HRC.

Утворений в результаті загартування мартенсит призвів до великої залишкової напруги у, підвищення твердості, міцності деталі, проте при цьому зросла схильність до крихкого руйнування.

При руйнівному методі контролю відшарувався фрагмент товщиною 15...25 мм. Внутрішня поверхня, по якій сталося відшаровування, має характерний для втомного руйнування вигляд. На ній присутні чотири осередки втомного руйнування у вигляді майданчиків, розташованих перпендикулярно до поверхні катання і орієнтованих паралельно площини диска. Осередками руйнування є флокени. На поверхні руйнування видно так звані борозенки втомного руйнування у вигляді концентричних ліній, що поширюються в різні боки від осередків руйнування.

Можна зробити висновок, що виявлені у фрагменті дискової борони структурні зміни пов'язані з деформацією і нагрівом металу в процесі втомного руйнування.

## О ВЛИЯНИИ АРМИРОВАННОГО СЛОЯ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Рыбакова Д.С. (ИМ-08), Приймачук Ю.В. (ИМ-11с)\*  
Донецкий национальный технический университет

В последнее время возникает заинтересованность в использовании металлопластиковых трубопроводов вместо традиционных стальных или чугунных. Это связано с рядом их особенностей, а именно: простота монтажа, долговечность и коррозионная стойкость.

При соединении металлопластиковых труб имеется вероятность оголения армирующей прослойки алюминия, которая взаимодействует с агрессивной жидкой средой, особенно при использовании современных моющих средств. Поэтому целью исследования является изучение влияния расположения армированного слоя на качество сварного соединения.

Исследования проводились на образцах металлопластиковых труб марки stabi PN-20 с приповерхностным армирующим слоем и ТМ «Blue Ocean» PP-R с внутренним армирующим слоем. Перед испытанием образцов на разрыв выполнили терморезисторное сплавление труб с фитингом при температурах 220, 240 и 260°C в течение 10с. Испытания на растяжение проводили по ГОСТ 6996-66 на образцах типа II на разрывной машине FR-100.

Исходя из результатов механических испытаний, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что металлопластиковые трубы с алюминиевым армирующим слоем, сваренные встык, обеспечивают более высокое сопротивление давлению и натяжению, которое возникает в местах изгибов трубы. В случае, когда алюминиевый слой не образует однородного материала, сварное соединение является наиболее слабым звеном всей конструкции, что становится причиной более низких прочностных показателей, сопротивления давлению и силам натяжения, что в результате может привести к деформации слоёв сшитого полиэтилена.

Таблица - Результаты механических испытаний металлопластиковых труб марки stabi PN-20 при температуре испытаний 20 и 80°C

Тсварки, °С	σв, Н/мм <sup>2</sup>		δ,%	
	При 20°C	При 80 °С	При 20°C	При 80 °С
220	18	17	1	3
240	24	17	1,8	7
260	27,5	19,5	1,8	12

Кроме того, оголённый алюминиевый слой в местах соединения труб будет контактировать с агрессивной средой, что может привести к разрушению армированного слоя и конструкцию трубы в целом. Предполагается провести исследования микроструктуры и свойств самого армированного слоя, а также изучить его коррозионную стойкость.

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

# ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-28Cr-6Mo, ПОЛУЧЕННОГО ТЕХНОЛОГИЕЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

Зализная Ю.Н. (ПМ-11М)\*

Донецкий национальный технический университет

Сплавы системы Co—28Cr—6Mo, также известные в медицине под названием Vitallium, относятся к жаропрочным сплавам на основе кобальта. Они превосходны по своим антикоррозионным свойствам и износостойкости, что дает возможность использовать их для протезирования частей тела в качестве имплантов, тазобедренных суставов и хирургических инструментов.

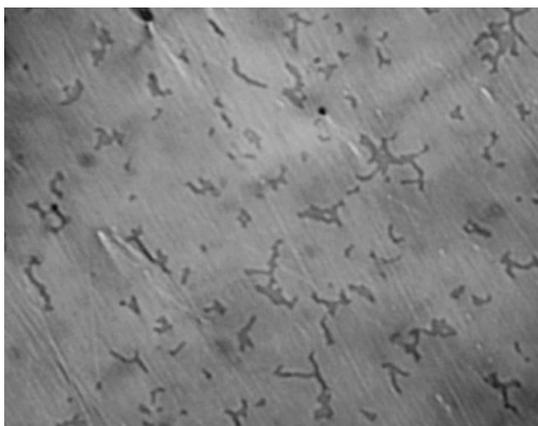
В данной работе было изучено влияние термической обработки на структуру и свойства сплава. В качестве исходного материала для исследования брали цилиндрические образцы, которые представляют собой верхнюю и нижнюю часть прутковых заготовок из сплава системы Co—28Cr—6Mo. Порошок сплава системы Co-Cr-Mo с заданным химическим составом может быть получен по технологии в два этапа: получения матричного сплава системы Co-Mo-Ni путем восстановления этих элементов в определенной пропорции из их оксидов в водороде с последующим диффузионным насыщением полученного порошка хромом в хромосодержащей среде методом газотранспортных реакций. Исследования выявили, что сплав содержит около 0,3% углерода и именно карбидная фаза является причиной абразивной изнашиваемости. Для повышения коррозионной стойкости и износостойкости данных сплавов, используемых в протезировании, предлагаются обработка, которая уменьшит размер зерен в сплаве и увеличит дисперсность частиц.

В качестве такой обработки, целью которой является растворение карбидной фазы, вследствие которой происходит абразивное изнашивание, для образца №1 и образца №2 была проведена термообработка, которая заключалась в закалке с последующим охлаждением на воздухе. После этого образец №2 дополнительно был закален и охлажден в воде, затем вновь закален с охлаждением на воздухе. Заключительной термообработкой образцов №1 и №2 является отпуск в печи.

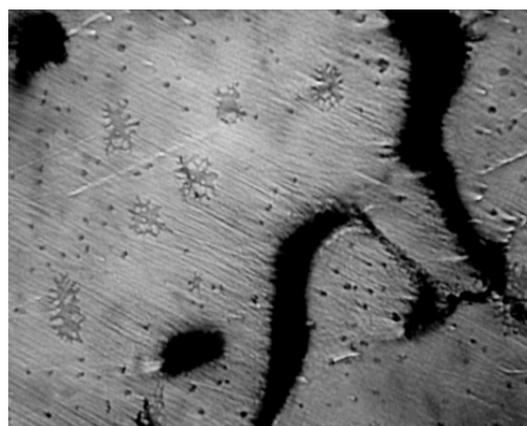
Для исследования структурных составляющих было выполнено термическое травление образца №1 и образца №2, их верхней и нижней части. В результате травления поверхность образцов окрасилась в цвета побежалости. После остывания образцов были сделаны фотографии микроструктур. В структуре образцов выявлены включения различной формы - пятен, медуз. Микроструктура образцов приведена на рисунке. Затем была измерена микротвердость различных структурных составляющих образцов на микротвердомере ПМТ-3.

---

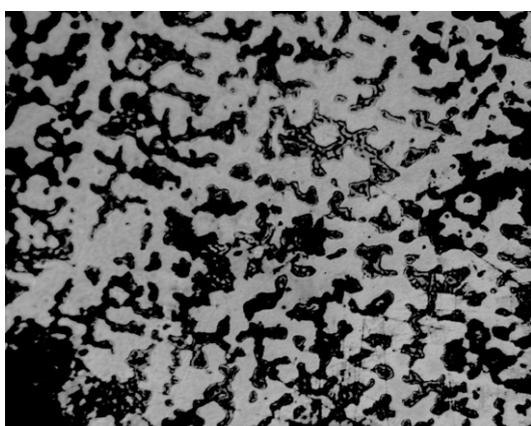
\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры ФМ Пашинский В.В.



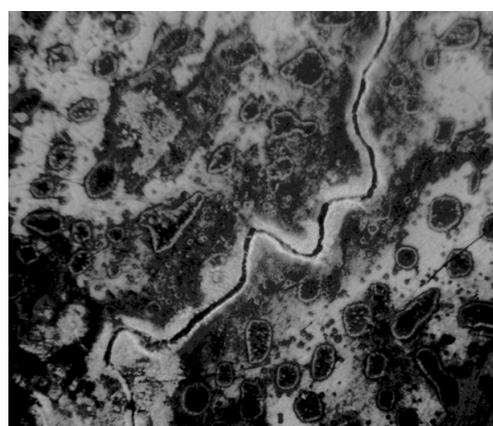
а



б



в



г

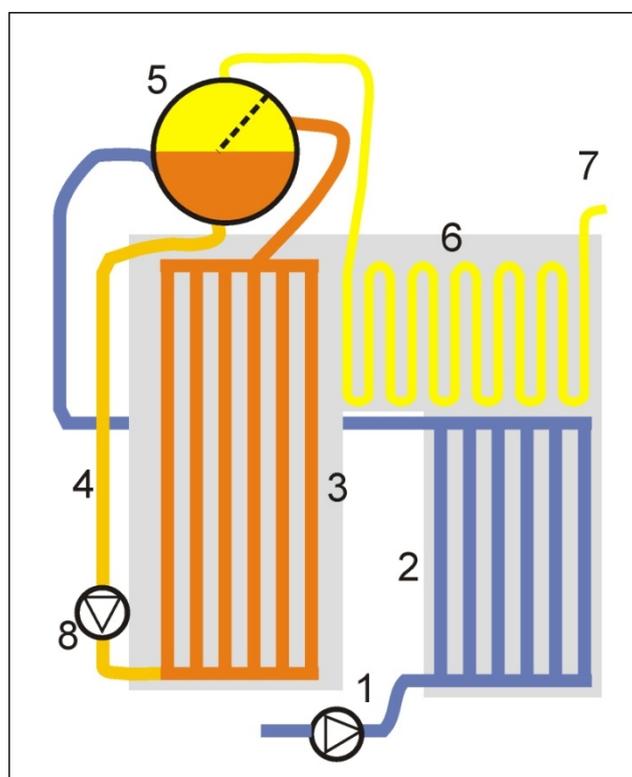
Рисунок 1 – Микроструктура поверхности образца сплава системы Co—28Cr—6Mo а – нижней части образца до термической обработки, б – верхней части образца до термической обработки, в - нижней части образца после термической обработки, г - верхней части образца после термической обработки

Полученные результаты показывают, что максимальной микротвердостью обладают включения сплава, которые представляют собой карбидную фазу, которая должна была быть устранена в результате термической обработки. Включения нижней части образца имеют оплавленные границы в связи с перегревом.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенная для повышения износостойкости термическая обработка не устранила карбидную фазу в сплаве системы Co—28Cr—6Mo. Следствием этого является необходимость проведения дальнейших исследований, целью которых разработка такой термической обработки, которая сможет устранить неблагоприятные включения сплава.

# ПРОМЫШЛЕННАЯ

# ТЕПЛОТЕХНИКА



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДОГРЕВА ДОМЕННОГО ГАЗА НА ПРОЦЕССЫ ЕГО СЖИГАНИЯ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

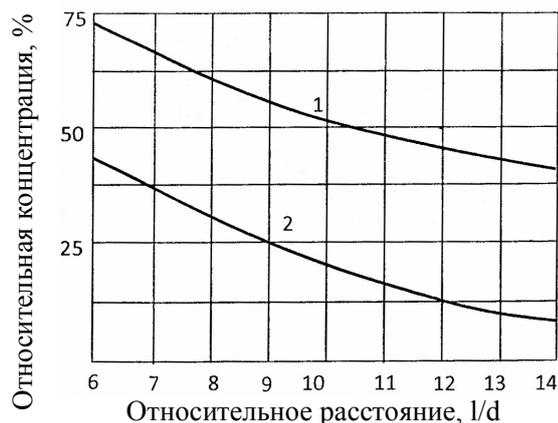
Волкова Т.Г. (ИТТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

В работе исследовалась возможность использования доменного газа как основного вида топлива вместо природного и коксового газов для нагрева стальных заготовок прямоугольного и квадратного сечения в методических нагревательных печах.

Одна из проблем применения низкокалорийного топлива в печах – это обеспечение интенсивного перемешивания газа и воздуха в начальной части факела, что позволяет исключить недожог, а так же сократить длину факела до размера отдельных зон многозонной печи.

Влияние температуры подогрева газообразного топлива на полноту сгорания определялось по интенсивности перемешивания газа с воздухом. При этом использовались экспериментальные данные, полученные на «холодной» модели горелочного устройства, в котором в качестве газовых сред применялся азот и воздух. При обработке экспериментальных данных изменение соотношения скоростей газовых сред пересчитывалось на изменение температуры на основе термодинамического закона увеличения объема газа при увеличении температуры. Изменение концентрации азота по анализу содержания кислорода вдоль оси струи газа при различной скорости истечения представлено на рисунке, где кривая 1 характеризует качество перемешивания газовых сред при скорости, соответствующей температуре 300К, а кривая 2 – при температуре 600К. Видно, что при увеличении температуры подогрева газа от 300К до 600К концентрация азота в объеме факела по всей длине



1 - холодный газ, 2 - подогретый газ

Рисунок - Изменение концентрации газа по длине факела

$d$  - диаметра газового сопла, мм.

уменьшается более чем в 2 раза, что свидетельствует о существенном увеличении интенсивности перемешивания топлива и воздуха. На основе проведенных исследований получена эмпирическая формула, по которой можно рассчитывать длину видимой части факела при различном калибре горелки и температуре подогрева топлива до 600К:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{0,95l^{0,95}}{l/d}, \quad (1)$$

где  $C_0$  - начальная концентрация газа на выходе из сопла, %;  $C$  - концентрация газа на оси газовой струи на расстоянии  $l$ , %;

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

Расчеты, выполненные по формуле (1) применительно к действующей трехзонной печи показали, что при расходе на одну горелку, диаметром газового сопла 60 мм, нагретого до 600К доменного газа концентрация горючих компонентов на расстоянии 1,7 м от горелки практически равна нулю. Таким образом, при использовании нагретого доменного газа размеры факела не выходят за пределы короткой томильной зоны длиной 3,5-4,0м.

При сжигании низкокалорийного топлива в нагревательных печах с максимальной температурой в отдельных зонах, достигающих 1400-1450 °С, необходимо знать действительную температуру горения, которая зависит как от калориметрической температуры горения (жаропроизводительности), так и от температуры и степени черноты окружающих факел поверхностей стен и нагреваемого металла. Действительная температура определялась по формуле:

$$t_{\partial} = \eta \cdot t_{\kappa}, \quad (2)$$

где  $\eta$  - пирометрический коэффициент;  $t_{\kappa}$  - калориметрическая температура горения топлива, °С.

При нагреве доменного газа и воздуха в параллельно работающих рекуператорах калориметрическая температура определялась с учетом физического тепла газа и воздуха по формуле:

$$t_{\kappa} = \frac{Q_n^p + Q_{\phi.z} + Q_{\phi.в}}{V_{\partial} \cdot C_{\partial}}, \quad (3)$$

где  $Q_n^p$  - теплота сжигания доменного газа, кДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{\phi.z}$ ,  $Q_{\phi.в}$  - физическое тепло нагреваемых газа и воздуха, кДж/м<sup>3</sup>;  $V_{\partial}$  - удельный расход продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $C_{\partial}$  - теплоемкость продуктов сгорания, кДж/м<sup>3</sup>К.

Пирометрический коэффициент для методических нагревательных печей по данным ряда исследований находится в пределах 0,73-0,76. Расчеты, проведенные для реальных значений  $\eta$ , показали, что действительная температура составит 1385-1410 °С, т.е. на нижнем температурном уровне в сварочной зоне и может не обеспечить качественный нагрев металла. Для повышения действительной температуры сгорания доменного газа предлагается повысить теплоту сгорания топлива за счет добавления небольшого объема коксового газа, доля которого определялась по формуле, полученной на основе формул (2) и (3) с учетом теплофизических характеристик газовых сред:

$$\Delta V_{\kappa.z} = \frac{Q_{\text{н.д.з}}^p - \frac{t_{\partial}}{\eta} V_{\partial}^{\text{д.з.}} + V_{\text{в}}^{\text{д.з.}} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} - V_{\partial} \cdot C_{\partial} \cdot t_{\partial}}{\frac{t_{\partial}}{\eta} V_{\partial}^{\kappa.z} - \frac{t_{\partial}}{\eta} V_{\partial}^{\text{д.з.}} C_{\partial} + Q_{\text{н.д.з}}^p - Q_{\text{н.к.з}}^p - V_{\text{в}}^{\kappa.z} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} + V_{\text{в}}^{\text{д.з.}} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} + V_{\partial} \cdot C_{\partial} \cdot t_{\partial}}. \quad (4)$$

Объем коксового газа  $\Delta V_{\kappa.z}$ , который необходимо добавлять к доменному газу, рассчитанный по формуле (4), составил 10% по теплу или 4% по объему.

Проведенный анализ теплового состояния нагревательной печи показал возможность использования доменного газа вместо природного для качественного нагрева заготовок. Для этого необходимо нагревать газ и воздух до температуры 300 °С и использовать дополнительно до 4% по объему коксовый газ.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОКСОВОЙ ВАГРАНКИ

Гак А.В. (ТФ-06м)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Вагранка - печь шахтного типа для плавки чугуна в литейных цехах. Вагранка состоит из копильника, шахты, дымовой трубы и искрогасителя.

Недостатками вагранки является большое количество выбросов вредных веществ, большой удельный расход топлива за счет химического недожога в виде СО при выходе из печи, а также низкая утилизация теплоты ваграночных газов и высокая аккумуляция теплоты кладкой печи за счет посменной работы вагранки.

По выполненным расчетам теплового и материального балансов вагранки литейно-механического цеха ПАО "Днепротяжмаш" сделаны выводы о большом расходе топлива, порядка 180 кг у.т./т мет., в то время как он должен составлять порядка 80-100 кг у.т./т мет.

В качестве одного из мероприятий по уменьшению расхода топлива предлагается применять в качестве дополнительной футеровки теплоизоляционные краски. Применение этой краски позволяет снизить тепловые потери теплопроводностью через футеровку в окружающую среду и, соответственно, снизить расход топлива. Для этой краски характерно, что слой покрытия толщиной в 1 мм обеспечивает те же изоляционные свойства, что и шамотный кирпич толщиной 150 мм. Краска является изоляционным материалом, который не поддерживает горение, при температуре 260 °С обугливается, при 800 °С разлагается с выделением окиси углерода и окиси азота, что способствует замедлению распространения пламени. Теплоизоляционная краска наносится на внутреннюю часть металлического каркаса, она экологически безопасна, нетоксична, не содержит вредных летучих органических соединений.

Так же в качестве мероприятия по снижению расхода топлива, предлагается разместить в шахте вагранки трубчатый рекуператор для подогрева дутьевого воздуха на фурменную зону вагранки. Результатом является снижение расхода кокса на 15-20%. Одновременно это мероприятие позволит повысить температуру чугуна перед копильником.

Выводы: 1) выполнен анализ тепловой работы коксовой вагранки ПАО "Днепротяжмаш" и определены основные недостатки в ее работе, связанные с большим удельным расходом топлива; 2) предложены мероприятия по уменьшению расхода топлива, требующие проведения дополнительных теоретических исследований.

---

\* Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ТЭМП НМетАУ Бровкин В.Л.

# ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА

Манойлов Д.В. (ИТТ-11М) \*

Донецкий национальный технический университет

Среди продуктов, получаемых при помощи химического синтеза, значительная доля приходится на метанол.

Классическая технология синтеза метанола предполагает использование в качестве реакторов колонн синтеза. Водоохлаждаемый реактор синтеза метанола представляет собой вертикальную шахту с трубчатым теплообменником и фиксированными трубными решетками. Катализатор расположен в трубках и лежит на подстилке из инертного материала. Кипящая вода заполняет межтрубное пространство. Паро-водяная смесь, полученная благодаря теплу реакций, отводится из-под верхней трубной решетки. Контроль давления пара позволяет управлять температурой реакции. Этот изотермический реактор позволяет достичь высокой производительности при низкой доле возврата и минимизирует производство попутных продуктов. Освоение водоохлаждаемых реакторов и двойных систем реакторов является актуальной задачей для отечественной химической промышленности, так как при этом производственный комплекс становится более компактным, уменьшаются капитальные затраты на его сооружение и расход энергии на производство единицы продукции.

Постоянная температура в полости реактора поддерживается за счет установки давления пара при помощи соответствующих регулирующих органов. Пароводяная смесь, образующаяся при кипении воды в межтрубном пространстве, поднимается в сепаратор, в котором отделяется и выводится сухой насыщенный пар. Восполнение массы охладителя реализуется за счет подвода свежей питательной воды. Расход подпиточной воды определяется из условия поддержания заданного уровня охладителя в межтрубном пространстве реактора или заданной массы охладителя в реакторе. В первом случае необходимо использование датчика уровня, во втором взвешивание реактора при помощи тензодатчиков. Из-за малой доли испаряемой жидкости по сравнению с ее общей массой в реакторе, верхний уровень жидкости в реакторе будет иметь хотя несколько колеблющуюся однако достаточно четкую границу, что позволяет использовать, например, емкостные датчики уровня. На стадии проектирования сепаратора необходимо знать номинальный и максимальный расходы пара, которые будут образовываться в реакторе.

Эти величины могут быть определены при помощи следующего комплекса зависимостей:

$$Q_p = \xi \cdot \frac{CO}{100} \cdot \frac{V}{3600} \cdot \frac{1}{22.4} \cdot Q_m, \quad (1)$$

---

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

где  $Q_p$  – тепловыделение в реакторе синтеза метанола. Вт;  $\xi$  – доля расходования монооксида углерода в реакциях синтеза;  $CO$  – процентное содержание монооксида углерода в синтез-газе, %;  $V$  – объемный расход синтез-газа, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_m$  – тепловой эффект образования метанола, Дж/кмоль;

$$G_{\text{пар}} = \frac{Q_p}{i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{пар}}$  – расход пара из сепаратора, кг/с;  $i_{\text{нп}}$ ,  $i_{\text{пв}}$  – энтальпия насыщенного пара на выходе из реактора и питательной воды, Дж/кг.

Энтальпия питательной воды выбирается в зависимости от ее давления и температуры, а насыщенного пара – в зависимости от заданного уровня давления в водо-паровом пространстве из термодинамических таблиц, описывающих свойства воды и водяного пара, или соответствующих интерполяционных зависимостей.

Давление в водо-паровом пространстве выбирается исходя из условия обеспечения заданной температуры кипения воды, что и определяет стабилизированное значение температуры в реакционном пространстве. Для определения максимально возможного выхода пара в качестве аргументов для зависимостей (1) и (2) используются максимально возможные по технологии расход синтез-газа и произведение содержания синтез газа на долю его усвоения в реакции..

Диагностику протекания реакций и анализ истощения реакционной способности катализатора предложено вести на основании анализа величины расходования монооксида углерода в реакциях синтеза, рассчитанной в зависимости от текущего расхода питательной воды:

$$\xi = \frac{G_v \cdot (i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}}) \cdot 100 \cdot 3600 \cdot 22,4}{CO \cdot V \cdot Q_m}. \quad (3)$$

Для заданных параметров работы реактора в зависимости от расхода питательной воды может быть однозначно определена величина расходования монооксида углерода в реакциях синтеза, что позволяет в реальном времени получать информацию об интенсивности протекания реакций и выносить суждение об истощении реакционной способности катализатора.

Наличие такой информации необходимо для принятия решения о приостановке процесса для замены или регенерации катализатора. Накопление этой информации и ее анализ совместно со статистикой изменения других важных производственных факторов позволяют углубить представления о процессе и подобрать условия, позволяющие расширить временные рамки использования катализаторов.

Предложена конкретная схема диагностики тепловой работы водоохлаждаемых реакторов синтеза метанола и алгоритм ее использования в рамках систем АСУ ТП участка синтеза метанола.

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Усов А.С. (ПТТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Развитие промышленности, разработка новых технологий и отраслей техники сопровождаются увеличением масштабов добычи, производства и использования горючих газов. Газом, уже используемым сегодня и перспективным с точки зрения будущего применения, является водород. Это газ, продукты горения которого не загрязняют окружающую среду, он слабо взаимодействует с металлами и имеет высокую теплопроводность, что позволяет применять его в металлургии уже сегодня.

Добыча водорода с каждым годом растет и подвергается усовершенствованию. В промышленности водород получают электролизом водных растворов солей (например,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_4$ ), а также при конверсии твердого и газообразного топлива – угля и природного газа. Процессы конверсии протекают при температуре порядка  $1000^\circ\text{C}$  в присутствии катализаторов. Перспективным является термохимический метод получения водорода с использованием атомной энергии. Так же, водород выделяют из газов, используя металлические мембраны на основе сплавов палладия. Процесс осуществляется при температурах от  $400$  до  $630^\circ\text{C}$  в одну или две ступени. Эти технологии позволяют получить водород с малым содержанием примесей.

Высокая теплопроводность водорода позволяет использовать его при охлаждении обмоток крупных электрогенераторов, что дает возможность существенно повысить их мощность. В связи с тем, что обработку многих металлов (молибден, вольфрам, малоуглеродистые стали, медно-никелевые сплавы и т.д.) необходимо проводить в условиях, исключающих их окисление, водород (либо смесь 75% водорода и 25% азота) применяют как защитную атмосферу. Водород можно использовать как топливо, для нагрева металла в нагревательных печах. При его сжигании практически не выделяются углекислый и угарный газы, что уменьшает загрязнение окружающей среды. Водород может смешиваться с природным или доменным газами, для улучшения качества сжигания топлива и уменьшения потерь металла с окалиной.

В дальнейшем планируется проведение расчетов по модернизации методической печи, с целью использования водорода, совместно с другими газами, что позволит стабилизировать процесс горения в топке печи, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу и значительно уменьшить окисление металла в газовой среде нагревательной печи.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ

Ткаченко М.И. (ПТТ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Процесс образования окалины при нагреве металла зависит от многих факторов: времени нагрева, температуры поверхности, состава печных газов, марки стали и так далее. Образование окалины при нагреве приводит к потере пригодного металла.

Закон образования окалины в дифференциальной форме можно записать в виде:

$$\frac{ds^2}{dt} = k^2,$$

где  $S$  – толщина слоя окисления, мм;  $k$  – постоянная окалинообразования, мм/ч<sup>1/2</sup>.

Доминирующим фактором, который оказывает влияние на величину  $k$ , является температура поверхности.

Связь температуры металла с температурой печи устанавливаем с помощью коэффициентов влияния или весовых коэффициентов:

$$t_i^j = \sum_{s=1}^j a_{Si}^j U_s$$

где  $t_i^j$  – температура в  $i$  пересечении тела в  $j$  момент времени;  $a_{Si}^j$  – коэффициент влияния;  $U_s$  – температура среды на  $S$  интервале времени.

Систему неравенств линейного программирования решим с помощью симплекс-метода:  $t_{\text{пов}} \leq t_{\text{печ}(1)}^2$ ;  $t_{\text{пов}} \leq t_{\text{печ}(2)}^2$ ; ...  $t_{\text{пов}} \leq t_{\text{печ}(n)}^2$

На примере практически рассчитанного режима нагрева металла и с помощью математической модели сравним толщину образования окалины. Все параметры в обоих случаях аналогичны  $S=0,15\text{м}$ , время нагрева  $\tau=1,28\text{ч}$ , теплопроводность  $\lambda=30\text{Вт/м}\cdot\text{К}$  и температура  $t_{\text{ц}}=1200^\circ\text{C}$ . Представим расчеты в виде графиков 1 и 2. При практическом расчете окалина получилась большей  $S_{\text{ок}}=1,52\text{мм}$ , чем при расчете с помощью математической модели  $S_{\text{ок}}=1,090\text{мм}$ .

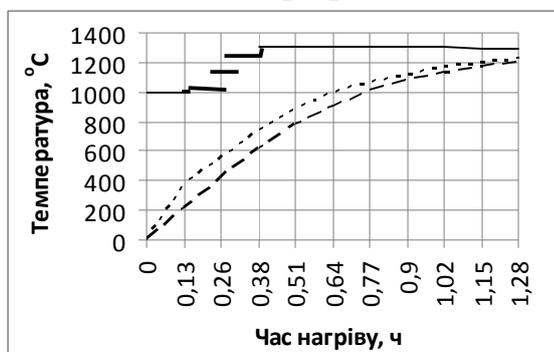


Рис. 1-Расчет с помощью мат. модели

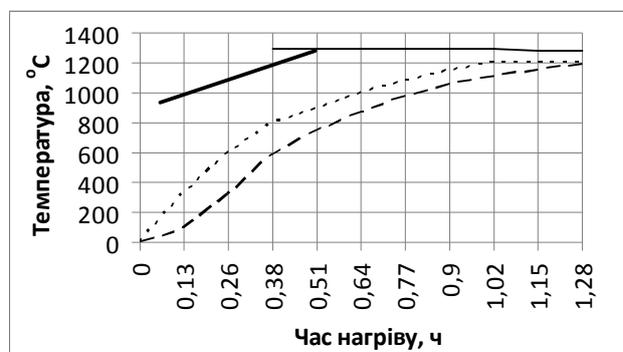


Рис. 2- Практический расчет

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Гинкул С.И.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ ОТ ВОДОРОДА В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Комиссарова Е.В. (ПТТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время алюминий и его сплавы используют практически во всех областях современной техники. Важнейшие потребители алюминия и его сплавов – авиационная и автомобильная отрасли промышленности, железнодорожный и водный транспорт, машиностроение, электротехническая промышленность и приборостроение, промышленное и гражданское строительство, химическая промышленность, производство предметов народного потребления. По масштабам производства и значению в народном хозяйстве алюминий прочно занял первое место среди других цветных металлов.

Рафинированию алюминиевых расплавов от водорода большое внимание уделяет в нашей стране научная группа академика В. Л. Найдека. Исследуются различные способы воздействия на жидкий металл в сочетании с вакуумированием.

В моей работе таким дополнительным внешним воздействием является электростатическое поле, поскольку, как показали исследования различных авторов, водород в расплавах алюминия находится преимущественно в виде ионов (протонов).

Внепечная дегазация неподвижного алюминиевого расплава проводится по схеме вакуумирования в ковше с источником электростатического поля, локализованного в вакуум-камере и заземлением ковша. Рассматриваемая камера соединена с системой вакуумных насосов. На крышке вакуум-камеры плотно установлен электрод в форме диска (ось которого совпадает с осью камеры) для подачи отрицательного электрического потенциала. После установки ковша с жидким алюминием камера опускается в металл и включаются вакуум-насосы. По достижении требуемого разряжения ( $\leq 200$  Па), включается постоянное электрическое напряжение. При компьютерном моделировании процессов массо- и теплопереноса учтено, что сильное электростатическое поле ( $E > E_{кр}$ ) срывает ионы удаляемого водорода (протоны) с поверхности расплава в вакуум-камеру, а поле умеренных напряженностей известным образом распределяет их по этой поверхности.

В дальнейшем планируется провести компьютерное моделирование и исследование процессов массо- и теплопереноса при дегазации алюминиевых расплавов от водорода в электростатическом поле.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.И.

# ТЕПЛОМАССОБМЕН И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Сапронова Ю.М. (ИТТ-11м) \*

Донецкий национальный технический университет

Одним из наиболее эффективных способов раскисления жидкой стали является её внепечная обработка порошковой алюмокальциевой проволокой.

Как показывает обзор современного состояния вопроса, эффективность этого способа значительно превосходит SCAT-процесс и вдувание силикокальциевого порошка в потоке аргона через фурму. Этот способ имеет преимущество даже в сравнении с обработкой стали порошковой силикокальциевой проволокой и характеризуется степенью усвоения кальция из наполнителя ПП (порошковой проволоки) на уровне 29%.

Механизм раскисления, согласно современным представлениям, состоит из следующей последовательности стадий: растворение в жидкой ванне наполнителя ПП, образование и рост оксидных включений. Их удаление из расплава стали продувкой аргоном, которая, перемешивая жидкую ванну, способствует коагуляции оксидных включений и их выносу в шлак, который их ассимилирует. При последующем скачивании шлака сталь очищается от кислорода.

Перед растворением наполнителя ПП, стальная её оболочка должна расплавиться.

Математическая постановка тепловой задачи имеет вид:

1. Начальные условия:

$$\text{а) } T_1 \equiv T_3 \equiv T_0, \quad \text{б) } R_1(0)=R_2(0)=R, \quad \text{в) } R_3(0)=R+\sigma, \quad (1)$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды, °C;  $R$  – начальный радиус границы, отделяющий элемент, который вводится, от стальной оболочки проволоки, м;  $\sigma$  – её толщина при  $\tau=0$ , м.

Рассмотрим диапазон изменения радиальной координаты  $r$  в каждой из областей ( $i=1,2,3$ ).

$$i=1: 0 \leq r \leq R_1(\tau) = R + \Delta R_1(\tau), \Delta R_1 < 0;$$

$$i=2: R_1(\tau) \leq r \leq R_2(\tau) \equiv R;$$

$$i=3: R \leq r \leq R_3(\tau) = R + \Delta R_3(\tau), \Delta R_3(0) = \sigma,$$

где  $R_1$  – граница твердой фазы порошкового элемента, который вводится, м;  $R_2$  – граница его жидкой фазы, м;  $R_3$  – внешняя граница стальной оболочки, м.

Последняя включает как первичную оболочку, так и замороженную на неё твердую стальную корку. Очевидно, что  $R_3 > R_2 > R_1$ . При этом  $\Delta R_1 < 0$ ,  $\Delta R_2 = 0$ . Зависимость  $\Delta R_3(\tau)$  более сложная:

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.И.

$$\Delta R_3(\tau): \begin{cases} > 0 \text{ при намораживании корки,} \\ < 0 \text{ при плавлении оболочки.} \end{cases}$$

2. Граничные условия:

а) ось симметрии ( $r=0$ ):

$$\frac{\partial T_1}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

$$\text{б) } r=R_1: T_1=T_3 < T_{\text{пл}}^{\circ}, \quad (3)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} + \rho_1 L_1 \dot{R}_1, \quad T_2=T_{\text{пл}}^{\circ} \quad (4)$$

$$\text{в) } r=R: T_2=T_3, \quad (5)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} + \rho_1 \cdot L_1 \cdot R_1 \quad (6)$$

$$\text{г) } r=R_3: T_3=T_M < T_{\text{пл}}^M, \quad (7)$$

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} + \rho_3 L_3 \dot{R}_3 = \alpha (T_{M,0} - T_M), \quad T_3 = T_{\text{пл}}^M,$$

где  $T_{\text{пл}}^{\circ}$ ,  $T_{\text{пл}}^M$  – температуры плавления порошкового элемента и стали, °C;  $T_M$ ,  $T_{M,0}$  – температура жидкой стали при  $r=R_3$  в ковше и его объеме, °C;  $\rho_1$ ,  $\rho_3$  – плотности элемента, который вводится, и стали соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $L_1$ ,  $L_3$  – их удельные теплоты фазовых переходов, Дж/кг;  $\dot{R}_1$ ,  $\dot{R}_3$  – скорости перемещения границ  $r=R_1$  и  $r=R_3$ , м<sup>3</sup>/с.

При компьютерном моделировании тепломассообмена ПП с жидкой ванной была выявлена монотонно убывающая зависимость скорости ввода ПП в расплав стали  $U_{\text{опт}}$ , при которой эффект её раскисления максимален, от диаметра ПП. Это позволило обобщить эмпирическую формулу:

$$U_{\text{опт}} = k \cdot H \cdot e^{\gamma \Theta (\delta/d)}, \quad (8)$$

где  $k$  – размерный коэффициент, характеризующий разброс экспериментальных данных, 1/с;  $H$  – глубина жидкой ванны, м;  $\gamma$  – коэффициент настройки полуэмпирической формулы (8) на реальную технологию;  $\Theta$  – температура стали;  $\delta$ ,  $d$  – толщина оболочки и диаметр ПП, м;

$$\Theta = (T - T_{\text{п}}) / T_{\text{п}} \quad (9),$$

где  $T$ ,  $T_{\text{п}}$  – температура стали в ковше и ликвидуса соответственно, °C.

Известно, что концепция использования математических моделей смешанного типа (в частности, полуэмпирических формул типа (8)) для разработки ресурсосберегающих режимов современных металлургических технологий наиболее перспективна. Снижение  $k$  до уровня  $U_{\text{опт}}$  экономит материал ПП.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ РЕЧИ С ЦЕЛЬЮ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ (РЕКУПЕРАТОР)

Моторина Г.А. (ПТТ-08)\*

Донецкий Национальный Технический Университет

Методические печи являются одними из основных потребителей топлива в стране. В подавляющем большинстве случаев промышленные печи работают с весьма низким термическим к. п. д., который обуславливается в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами(50-65%).

Методом повышения термического к. п. д. методической печи, является возврат в печь части тепла, содержащегося в отходящих дымовых газах, подогревом в рекуператорах воздуха, используемого для горения топлива, а также подогревом горючего газа.

Для выбора оптимального рекуператора приведем некоторые наглядные характеристики типов металлических (из стальных труб) и керамических (из керамических блоков) рекуператоров.

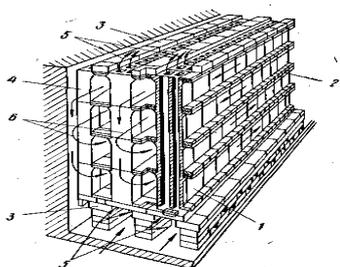


Рис. 1 Керамический блочный рекуператор:  
1- камень с четырьмя каналами;  
2 - промежуточные перегородки; 3 - нижние и верхние фасонные камни; 4 - половина камня с 4 каналами; 5 -воздух; 6 - дымовые газы

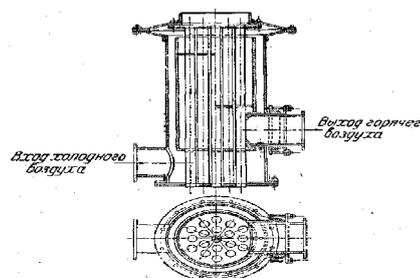


Рис. 2 Рекуператор из гладких стальных труб, расположенных вертикально

На рис. 1 показан керамический блочный рекуператор из камней с четырьмя каналами. Камни установлены один на другой таким образом, что внутренние каналы каждого камня являются продолжением каналов нижележащего камня. Плоскости примыкания камней шлифуются. Эти рекуператоры прочны, но не достаточно компактны. На рис. 2 трубчатый рекуператор с вертикальным расположением труб. Направление движения воздуха и продуктов горения в начале пути печных газов по прямотоку, комбинированному с перекрестным током, во всей же остальной части рекуператора применяется противоток, комбинированный с перекрестным током. Это обеспечивает хорошую стойкость рекуператора, с одной стороны, а с другой - наилучшее использование тепла, уносимого с отходящими продуктами горения.

Подтверждением окончательного выбора будет приведенный сравнительный расчет рекуператоров.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Парахин Н.Ф.

## РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА КОТЕЛЬНОЙ МР 18 ГОРОДА ДОНЕЦКА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТЭР

Наконечная М.С. (ЭНМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

На котельной МР 18 города Донецка были проведены документальные обследования с целью определения оптимальных режимов работы котлов с учетом минимально возможных удельных расходов топлива и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Котельная оборудована пятью котлами ТВГ-8м (для обеспечения ГВС) и двумя ПТВМ-30м (для отопления). В ходе обследования были определены режимы работы котлов, при которых достигается оптимальное сочетание всех показателей. При этом их КПД стремится к максимальному значению, а удельный расход топлива и выбросы в атмосферу – к минимальному.

Для котлов ПТВМ-30м испытания были проведены при давлении газа перед горелками 500, 750, 1000 кгс/м<sup>2</sup> на 2 горелках, 500, 750, 850 кгс/м<sup>2</sup> – на 4 горелках, 500, 750 кгс/м<sup>2</sup> – на 6 горелках. В зависимости от нагрузки количество работающих горелок меняется. Анализ показал, что теплопроизводительность растет при увеличении давления перед горелками во всем диапазоне изменения их количества, как и температура уходящих газов, массовая концентрация выбросов и расход газа. Уровень КПД не имеет такой зависимости. Давление перед горелками, при котором достигаются оптимальные эколого-теплотехнические показатели работы котлов ПТВМ-30м соответственно равно 750, 500, 500 кгс/м<sup>2</sup> для 2, 4 и 6 работающих горелок.

Также были проведены испытания котлов типа ТВГ-8м при различной нагрузке, но количество работающих горелок оставалось неизменным (4 штуки). Исследования были проведены при давлении перед горелками 350, 500, 750, 1000, 1500, 2000 кгс/м<sup>2</sup>. При этом теплопроизводительность растет, но КПД снижается с увеличением давления. Температура уходящих газов возрастает, а массовая концентрация выбросов не имеет определенной зависимости, как и удельный расход газа. Рекомендуется эксплуатация котлов при давлении газа перед горелками в диапазоне 500-1000 кгс/м<sup>2</sup>. В данном режиме, как и при рекомендуемом режиме работы для ПТВМ-30м, максимальное содержание оксидов азота и оксидов углерода в уходящих газах не превышает ПДК, равное 220 и 130 мг/м<sup>3</sup> соответственно.

Основные рекомендации – 1) эксплуатация котлов в предложенных режимах; 2) анализ состава дымовых газов каждые 2-3 часа с помощью портативного газоанализатора; 3) использование высокой температуры дымовых газов для подогрева питательной воды, что уменьшит ее вредность для атмосферы, а также снизит затраты тепла на котельной.

---

\* Руководитель – к.н.т., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

## РАЗРАБОТКА ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

Колесникова И.В. (ПТТ-08) \*

Донецкий национальный технический университет

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

Основой технологического процесса в методической печи является нагрев металла перед дальнейшей обработкой давлением. Конечной целью процесса является равномерное прогревание металла по сечению и предоставления необходимых свойств.

Ранее печь была оснащена горелками типа «труба в трубе» средней мощности, однако в томительной зоне они создают большую инжекцию воздуха из окружающей среды в печь, в результате чего возрастает коэффициент расхода воздуха, степень и количество окалины также возрастают.

С целью усовершенствования процессов в методической печи применяют плоскопламенные горелки. Это горелки турбулентного смешения, обеспечивающие радиационный режим теплообмена за счет нагрева свода при поверхностном сжигании газа в разомкнутом факеле.

Создание факела, равномерно распределяется по поверхности свода, нагревая его до высоких температур и служит источником тепловой обработки заготовок.

Устойчивость горения обеспечивается сжиганием у основания пламени предварительно подготовленной смеси с местной скоростью, равной скорости распространения пламени, а также возникновением в осевой части горелки зон рециркуляции продуктов сгорания, которые движутся внутрь туннеля и поджигают газоздушную смесь.

В дальнейшем, в процессе эксплуатации горелок будут проведены исследования и обработаны результаты тепловой работы методической печи с применением плоскопламенных горелок.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Парахин Н.Ф.

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ СОВМЕСТНОМ УДАЛЕНИИ ИЗ ЖИДКОЙ СТАЛИ РАСТВОРЕННЫХ В НЕЙ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА**

Орехова С.В. (ПТТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Проблема удаления из жидкой стали растворённых в ней водорода и кислорода остаётся актуальной, способствующей повышению качества металлопродукции.

Присутствие водорода в стальных изделиях повышает склонность металла к флокено- и трещинообразованию, а кислород ухудшает характеристики пластичности и прочности стали.

Наиболее эффективными остаются методы внепечной дегазации металлургических расплавов. Если в Украине доминирует способ вакуумирования с интенсификацией процессов массопереноса в жидкой ванне сосредоточенной продувкой аргоном (через фурму или пористую пробку, установленную в днище ковша), то в экономически развитых странах с развитой огнеупорной промышленностью большое внимание уделяют рассредоточению дутья аргоном по днищу ковша с направленной пористостью. Для ответственных марок стали её продувка аргоном дополняется одновременным вакуумированием.

Для рядовых марок стали её внепечная дегазация может проводиться без вакуумирования продувкой аргоном на оптимальной интенсивности под слоем синтетического шлака в период выпуска металла из плавильной печи в ковш. Последнее связано с высокой площадью межфазной поверхности «аргон – металл», обеспечивающей большие скорости конвективного массопереноса растворенных в жидкой ванне водорода и кислорода, существенно превосходящие аналогичные характеристики при вакуумировании.

И хотя этот способ внепечной дегазации стали уступает по эффективности комплексному, однако он прост в эксплуатации, не требует больших материальных и эксплуатационных затрат, и может быть использован на отечественных заводах.

Одним из наиболее эффективных способов разработки энергосберегающих режимов интенсификации металлургических технологий является компьютерное моделирование. При этом существенное значение имеет адекватность реальной технологии математических моделей, на основе которых создается компьютерные модели. Из трёх видов математических моделей (детерминированные, стохастические, смешанного типа), как известно, предпочтение отдается смешанному типу.

Известно, что на удаление водорода из расплава стали положительное влияние оказывает совместное с ним удаление кислорода. Это связано со

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.Н.

снижением парциального давления водорода в пузырях аргона из – за присутствия в них окиси углерода ( продукта реакции:  $[C]+[O] = \{CO\}$ , протекающей на поверхности этих пузырей ). Последнее приводит по закону Сиверта к понижению концентрации водорода на этой межфазной поверхности и, соответственно, к возрастанию перепада этой концентрации в объёме жидкой ванны и рассматриваемой поверхности как движущей силы диффузионного процесса. По–видимому, некоторое значение имеет увеличение площади пузырей аргона вследствие наличия в них кроме молекул аргона и водорода, дополнительно окиси углерода.

Расчет уравнения конвективной диффузии проведён численным методом с реализацией на ПЭВМ. Критерием эффективности процессов конвективного массопереноса является степень дегазации расплава стали от водорода.

Как показывает рисунок при внепечной дегазации недораскисленных марок стали эффективность технологии существенно возрастает по водороду с одновременным снижением концентрации кислорода растворённого в металле.

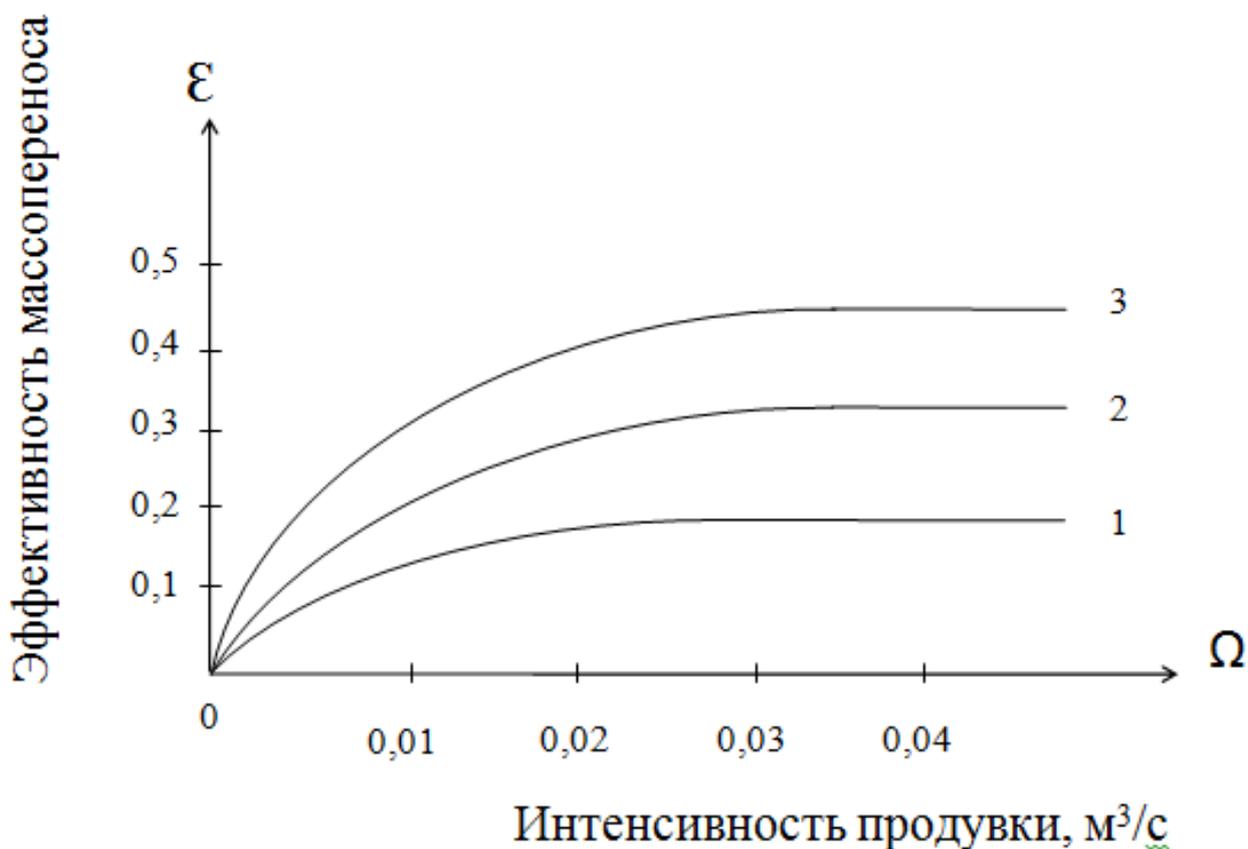


Рисунок – Зависимость эффективности процессов массопереноса от интенсивности продувки аргоном и содержания кислорода в расплаве. 1 –  $[O] = 0,0035\%$ ; 2 -  $[O] = 0,0045\%$ ; 3 -  $[O] = 0,0055\%$ .

# РАЗРАБОТКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА РАЗЛИЧНОГО СОРТАМЕНТА

Сибирцева Ю.С. (ИТТ 08)\*

Донецкий национальный технический университет

Методические печи толкательного типа работают непрерывно только при полном заполнении рабочего пространства нагреваемыми заготовками. На некоторых заводах при выполнении заказа на небольшие партии возникает необходимость нагревать металл различного сортамента без остановки печи.

Технология нагрева такой комбинации сортамента приводит к тому, что заготовки, следующие за предыдущей партией должны греться тоже самое время, что и предыдущая партия. Температурный режим в методических печах со струйными горелками менять тяжело. Практически следующая партия заготовок должна греться по температурному режиму предыдущей партии до тех пор, пока заготовки другого сортамента полностью не заполнят все рабочее пространство печи. После этого необходимо определить время нагрева новой партии заготовок по формуле

$$\tau = \frac{G}{P}$$

где  $\tau$  - время нагрева, с;  $G$  - емкость печи, кг;  $P$  – производительность, кг/с.

Температурный режим определяется в зависимости от времени нагрева и геометрических размеров.

На рисунке приведены результаты нагрева заготовок различной толщины. Температурный режим приведен для нагрева заготовок толщиной  $S=0,21$  м. Заготовки меньшей толщины ( $S=0,18$  и  $S=0,15$  м) в процессе нагрева перегреваются, а заготовка большей толщины  $S=0,24$  м не догревается. Это связано с тем, что температура газов и время пребывания металла в зонах остались теми же. Постепенно регулируя температуру в сварочной зоне, можно изменить и температуру в методической зоне. Это позволит каким-то образом изменять режим нагрева.

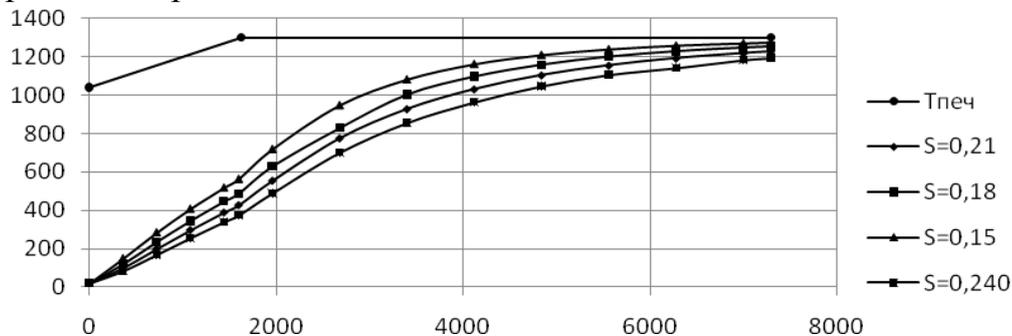


Рисунок - Изменение температуры поверхности заготовки в процессе нагрева

\* Руководитель - к.т.н., профессор кафедры ТТ Гинкул С.И.

# ПОСТРОЕНИЕ МОМЕНТАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ РЕАКТОРОВ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Дробот С.Г. (ПТТ-11М)\*

Донецкий национальный технический университет

В наше время одной из наиболее бурно развивающихся областей науки и техники являются нанотехнологии. Известно множество методов производства углеродных наноматериалов (электродуговое осаждение, CVD-синтез, каталитический пиролиз на поверхности подложек с катализатором и т.д.), однако для выбора наиболее оптимальных условий работы каждого реактора, необходимо проводить исследования влияния различных технологических параметров на интенсивность протекания базовых реакций.

В работе предложена экспертная система для углубленного исследования тепловой работы реакторов пиролитического синтеза углеродных наноматериалов на подложках с катализатором. Применение данной системы дает возможность «доисследования» процесса в плане определения важных параметров процесса на основании сигналов от стандартного набора датчиков без газоанализаторов, что важно для оптимизации работы реакторов.

Моментальный тепловой баланс работы реактора составляется на основании сигналов датчиков при помощи следующего набора зависимостей.

Приходная часть

1. Теплота с исходным углеводородом  $Q_{\text{пр}}^{\text{исх угл}}$ , Вт.

2. Теплота от нагревателя:

$Q_{\text{пр}}^{\text{эл нагр}}$  – моментальная мощность источника тепла, Вт.

Расходная часть

1. Теплота с уходящими газообразными продуктами, Вт.

2. Тепловые потери реактора:

$Q_{\text{расх}}^{\text{пот реак}}$  – моментальные тепловые потери реактора, Вт.

3. Покрытие эндотермического эффекта реакций:

$Q_{\text{расх}}^{\text{энд}}$  – тепловой поток, расходуемый на покрытие эндотермического теплового эффекта реакций пиролиза углеводородов, Вт.

Уравновешивание моментального теплового баланса производится путем определения величины  $Q_{\text{расх}}^{\text{энд}}$ :

$$Q_{\text{расх}}^{\text{энд}} = Q_{\text{пр}}^{\text{исх угл}} + Q_{\text{пр}}^{\text{эл нагр}} - Q_{\text{расх}}^{\text{газ прод}} - Q_{\text{расх}}^{\text{пот реак}}$$

Изменение величины расхода тепла на покрытие эндотермического эффекта реакций во времени  $Q_{\text{расх}}^{\text{энд}}(\tau)$  позволяет судить об истощении

---

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

реакционной способности катализатора.

Основным компонентом газовой смеси, покидающей реактор, является водород, остальные компоненты представлены недоразложенными углеводородами, в случае добавления в исходную газовую смесь инертных газов последние полностью уходят с газовым потоком, покидающим реактор. В данной работе создан алгоритм, позволяющий определять величину теплового потока для реакторов, не имеющих в составе КИП стационарного газоанализатора, в которых пиролитическое разложение исходного углеводорода протекает по следующей схеме:



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

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

– для случая подачи чистого углеводорода конечный газ характеризуется наличием двух компонентов (исходного углеводорода и водорода) и имеет следующий процентный состав:

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

где  $\chi$  – доля прореагировавшего углеводорода.

– для случая использования в качестве начального сырья смеси исходного углеводорода и инертного газа в составе конечного газа имеем исходный углеводород, инертный газ и водород при следующем процентном соотношении:

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

где  $\gamma$  – доля инертного газа в составе исходной смеси газов.

Доля прореагировавшего углеводорода определяется как:

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

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

Получение информации о составе газов, покидающих реактор, позволяет определять значение теплоемкости уходящих газов.

Применение предложенной системы диагностики позволяет исследовать влияние различных технологических параметров на интенсивность протекания процесса образования углеродных наноматериалов в реакторах пиролитического синтеза.

## РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕЗ-ГАЗА

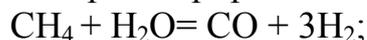
Гнитиёв П.А. (ПТТ-11м)\*

Донецкий Национальный Технический Университет

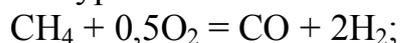
Производство синтез-газа является важным элементом современной технологии химического синтеза. Увеличение конкурентоспособности продукции может быть достигнуто как за счет роста общего уровня ресурсоэнергосбережения, так и за счет эффективного внедрения новых разработок в направлении получения синтез-газа. В данной работе предложена схема получения синтез-газа из природного газа путем комбинирования паровой и кислородной конверсий.

В отделение для получения синтез-газа поступает природный газ, в количестве 2711 м<sup>3</sup>/ч и с температурой 20°C. Проходя через теплообменник, газ нагревается до температуры 90,5°C. После чего, природный газ попадает в камеру неполного сжигания, в которой происходит сжигание природного газа в объеме 1289 м<sup>3</sup>/ч из другого потока с недостатком окислителя. Находясь в трубном пространстве, которое омывается продуктами сгорания, природный газ нагревается до температуры 300°C для того, что бы ускорить процесс десульфурации. После чего нагретый газ поступает в десульфуратор для очистки от серы. Проходя через первый теплообменник, природный газ отдает часть тепла вновь поступившему газу и его температура падает с 300°C до 250°C.

В камеру неполного сжигания так же подается пар для подогрева, после чего этот пар разделяется на два потока, в соотношении 9:1. Первая часть потока пара (90%) поступает непосредственно в эжектор №1, а вторая часть пара (10%) смешивается в смесителе с природным газом и образованная смесь направляется так же в эжектор №1, в котором происходит полное смешивание природного газа с остаточной частью пара. Данная смесь с температурой 229°C попадает в теплообменник, где подогревается до температуры 697°C и поступает в камеру неполного сжигания для дополнительного нагрева. Смесь с высокой температурой и давлением в 36,4 атм. следует в первый реактор НИАП-03-01, где протекает реакция паровой конверсии природного газа по уравнению:



Прореагировавшая смесь с давлением 8,05 атм. направляется во второй реактор НИАП-03-01, в который дополнительно подается окислитель (O<sub>2</sub>) для кислородной конверсии продуктов реакции, так как паровая конверсия природного газа протекает с поглощением тепла, а кислородная - с его выделением. Реакция протекает по уравнению:



---

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

Комбинирование двух способов конверсии, паровой и кислородной, позволяет эффективнее и более полно производить разложение природного газа на его составляющие, а значит можно говорить о сокращении затрат на производство синтез-газа.

На выходе из второго реактора мы получаем смесь, состоящую из газов CO и H<sub>2</sub>, по сути синтез-газа, а так же побочных продуктов CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, которые необходимо удалить перед последующей переработкой синтез-газа. Весь объем газа 10750 м<sup>3</sup>/ч, с температурой 750°C и давлением 7,2 атм. направляется в теплообменник для нагрева следующей порции смеси природного газа и пара.

Продукты сгорания, получаемые при сжигании природного газа в камере неполного сжигания, направляются в десульфуратор. Пройдя очистку от серы продукты неполного сжигания, имея температуру 350°C и с расходом в 4250 м<sup>3</sup>/ч, смешиваются с полученным ранее синтез-газом в эжекторе №2. Окончательная смесь проходит через теплообменник, охлаждаемый технической водой, для понижения температуры синтез-газа до уровня 30°C. Проходя ряд теплообменников, мы отбираем физическое тепло от синтез-газа и передаем его для вновь поступившей смеси природного газа и пара, тем самым повышая экономичность схемы в целом.

По прохождению газом всех оставшихся теплообменников, мы имеем синтез-газ с давлением 3,9 атм. и в объеме 15000 м<sup>3</sup>/ч. Полученный синтез-газ необходимо направить на участок очистки от CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, после чего он поступит на участок получения метанола.

Таким образом, в данной работе предложена ресурсоэнергосберегающая схема производства синтез-газа и представлена конкретная технологическая схема, позволяющая получать 15000 м<sup>3</sup>/ч синтез-газа при переработке 4000 м<sup>3</sup>/ч природного газа.

Ниже, на рис., приведена схема получения синтез-газа из природного газа путем паровой и кислородной конверсии.

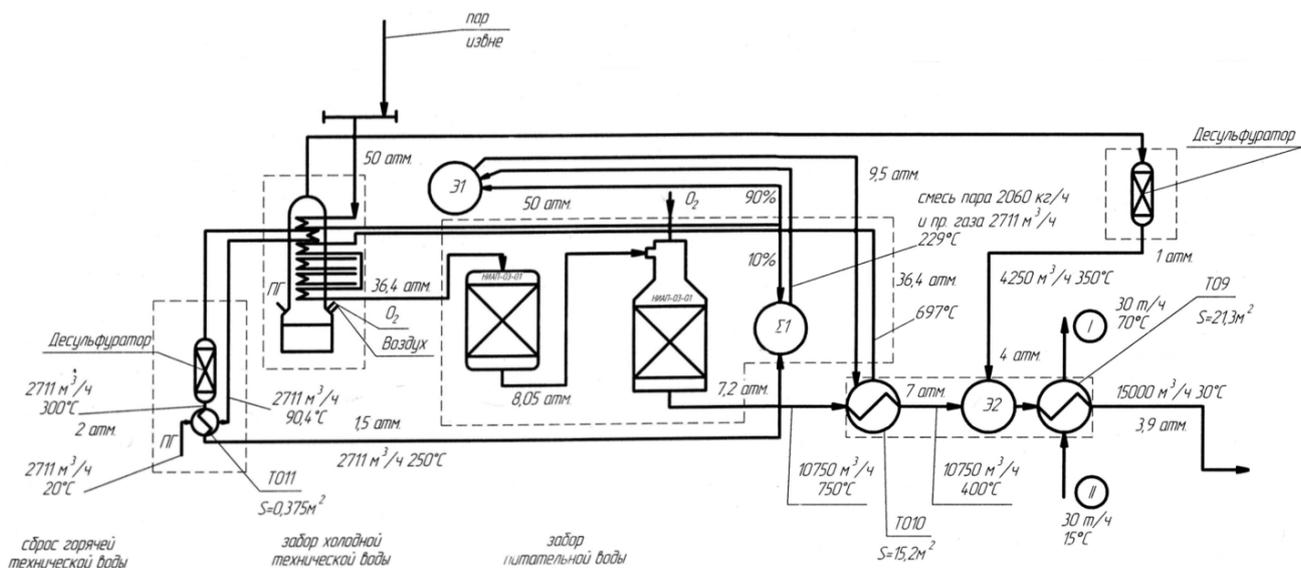


Рисунок – Схема получения синтез-газа.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РЕАКТОРАХ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Алехина Н.В. (ПТТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Анализ состояния и тенденций развития объектов nanoиндустрии в настоящее время позволяет сделать вывод о том, что одной из наиболее перспективных областей нанотехнологий является синтез углеродных наноматериалов. Среди этих материалов особое место занимают углеродные нанотрубки, которые при диаметре 1...50 нм и длине до нескольких микрометров обладают рядом уникальных свойств, обусловленных упорядоченной структурой их нанофрагментов. Хорошая электропроводность и адсорбционные свойства, способность к холодной эмиссии электронов и аккумулярованию газов, диамагнитные характеристики, химическая и термическая стабильность, большая прочность и другие свойства.

Существуют два основных способа получения углеродных нанотрубок. Первый состоит в испарении графита и последующей его конденсации. Второй основан на термическом разложении углеродсодержащих. Оценивая эти способы получения нанотрубок с позиции перспектив промышленного производства, преимущества каталитического синтеза неоспоримы: сравнительно низкая энергоемкость процесса; применение дешевого и доступного углеродсодержащего сырья; сравнительно "мягкие" технологические параметры синтеза; простота конструкций и технологичность изготовления используемой аппаратуры; отсутствие необходимости дорогой очистки от примесей.

В качестве базового метода, принятого нами для исследования и совершенствования использован один из известных методов пиролитического разложения метана. Катализатор полученный восстановлением в атмосфере водорода прекурсора NiO / MgO, при температуре 875°K, приготовленного соосаждением в кислой среде солей Ni и Mg. Приблизительное равенство ионных радиусов Mg<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup>, способствует тому, что NiO и MgO обладают хорошей взаимной растворимостью и в бинарной системе NiO / MgO образуют твердый раствор Ni<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>O. Из-за этого ионы никеля распределены разреженно и равномерно по объему решетки MgO и при взаимодействии прекурсора с водородом только небольшая часть ионов никеля восстанавливается до металлического Ni, причем полному восстановлению всего никеля препятствует также и валентная стабилизация кристаллическим полем MgO. В результате кластеры металлического никеля редко и равномерно распределены на поверхности носителя и имеют малые размеры. Необходимо также констатировать, что количество активного металла в каталитической массе

---

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

может быть фактором регулирования параметров получаемых УНМ и, в частности, их диаметров.

Проведенные исследования на Ni/MgO катализаторе при пиролизе  $\text{CH}_4$  выявили следующий эффект:

Ni / Mg	2 : 1	1 : 3	1 : 5	1 : 10	1 : 20
T, °C	510	580	620	630	650
Диаметр нанотрубок, нм	35	-	21	17	13

Принцип работы реактора синтеза углеродных наноматериалов состоит в следующем. При перекрытом проходе входного газового патрубка, через патрубок вывода газов из реакционной камеры, в устройство подают инертный газ, например аргон, после продувки инертным газом подключают печь к источнику электропитания и нагревают объем реакционной камеры до необходимой температуры в интервале 500-650°C. Температуру контролируют с помощью термопары, расположенной внутри области реакционной камеры.

Во время продувки устройства инертным газом через отверстие для загрузки контейнеров по одному загружают контейнеры и при помощи горизонтального толкателя перемещают контейнер, создавая цепочку контейнеров, пока один из них не встанет на подставку вертикального толкателя. При этом отверстие для загрузки перекрывается следующим контейнером, благодаря чему осуществляется герметизация внутреннего пространства устройства.

После достижения заданных концентраций газообразного углеводорода и водорода в реакционной камере в нее при помощи вертикального толкателя подается контейнер, в котором находится катализатор. При непрерывной работе устройства заданная концентрация поддерживается постоянно. Контейнер с катализатором выдерживается в реакционной камере заданное время, после этого удаляется из нее при опускании вертикального толкателя. Когда вертикальный толкатель опускается в свое нижнее положение, контейнер возвращается в состав цепочки контейнеров, таким образом, обеспечивается непрерывный процесс создания углеродных нанотрубок.

После нагрева объема реакционной камеры до нужной температуры в нее через входной патрубок подают смесь газообразного углеводорода и водорода, при необходимости разбавленную инертным газом. Во время подачи углеводородов, при помощи электрического привода регулируется угловая скорость вращения поворотной лопатки, при этом обеспечивается и изменение гидравлического сопротивления устройства, пульсация расхода прокачиваемой среды происходит по синусоидальному закону.

Такой способ подвода исходного углеводорода позволяет интенсифицировать тепломассообменные процессы в полости реактора, возможным следствием, является получение новых свойств углеродных наноматериалов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ ОТ ВОДОРОДА ПРОДУВКОЙ АРГОНОМ

Анастасьев Д.А. (ПТТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Эффективным способом дегазации алюминиевых расплавов от растворенного в них водорода является комплексное воздействие вакуума и сосредоточенной (через погружаемую в жидкий металл фурму) продувкой аргоном.

Вместе с тем известен недостаток этого способа – нерациональное использование аргона, который внедряется в расплав в струйном режиме. Для нейтрализации этого недостатка в Киевском физико – технологическом институте НАН Украины аргон перед вводом в расплав подогревают плазмотроном.

В нашей работе используется известный тезис, что наиболее эффективным мероприятием, повышающим степень дегазации жидкого металла является развитие межфазной поверхности “аргон – металл” за счет пузырькового внедрения аргона в жидкую ванну. При высоких интенсивностях продувки, не выходящих за рамки пузырькового режима внедрения аргона в металл, вклад этого фактора существенно превосходит вакуумирование, что позволяет в отдельных случаях отказаться от одновременного вакуумирования, осуществляя продувку алюминиевых расплавов под слоем рафинированного шлака при атмосферном давлении в период слива расплава в рафинировочную ёмкость.

Для исследования процессов конвективного массопереноса при дегазации алюминиевых расплавов используется следующее уравнение

$$\varepsilon = \frac{1}{Q_H} \int_{\tau_0}^{\tau_b} \frac{\dot{m} \cdot H \cdot (J/U)}{m_0} d\tau + \frac{1}{Q_H} \int_{\tau_b}^{\tau} \frac{\dot{m}}{m_0} \int_{(\tau')} J(\tau, \tau') d\tau' d\tau$$

Здесь:  $\dot{m}$  – массовый расход инертного газа;  $m_0$  – его количество в единичном пузыре;  $H$  – глубина жидкой ванны в функции времени  $\tau$  продувки,  $J_{cp}$ ,  $U_{cp}$  – осредненные по объему жидкой ванны в момент  $\tau$  поток массы удаляемого газа на поверхность пузыря аргона и его скорость соответственно;  $Q_H$  – начальное содержание в расплаве удаляемого водорода;  $\varepsilon$  – степень дегазации расплава;  $\tau_b$  – время его слива в рафинировочную емкость;  $\tau'$  – время всплывания в жидкой ванне фиксированного пузыря аргона;  $\tau_0$  момент начала продувки расплава.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Захаров Н.И.

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛО И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРАХ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Заика А.А. (ПТТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Одним из перспективных направлений современной науки являются нанотехнологии. В силу своих физических особенностей интерес привлекают углеродные наноматериалы (нанотрубки, нановолокна и фуллерены).

Наиболее распространенным методом получения углеродных наноматериалов является каталитический пиролиз углеводородов на подложке с катализатором, что обусловлено наибольшей управляемостью метода и возможностью создания на его основе непрерывного технологического процесса.

Решающим в реализации технологий получения углеродных наноматериалов является выбор и поддержание некоторого значения температуры. Для этого в объеме реактора или некоторых его частях используются особые схемы подвода тепла и системы автоматического регулирования.

Для технологий каталитического пиролиза пульсирующий подвод исходного углеводорода позволяет, как интенсифицировать протекание тепло массообменных процессов в реакторе и повысить его производительность, так и в ряде случаев улучшить характеристики получаемых материалов. Пульсация расхода, а значит и скорости подвода исходного углеводорода может быть достигнута за счет установки в подводящем патрубке вращающейся заслонки. Частота вращения последней определит частоту пульсации расхода углеводорода (рисунок).

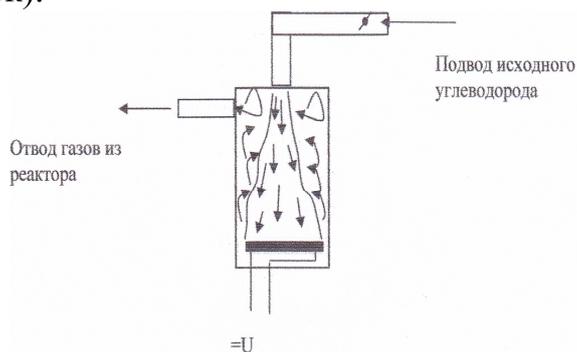


Рисунок - Схема интенсификации тепло и массообменных процессов в реакторах каталитического синтеза УНМ

Эффективность пульсации среды на показатели производства УНМ отдельно изучается для каждого конкретного случая (вид углеводорода, конструкция реактора, вид катализатора и т.д.). Исследование этого явления мы будем продолжать на специальной лабораторной установке.

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДУТЬЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Редько Н.Б. (ПТТ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Доменные воздухонагреватели являются регенеративными теплообменниками. Каждый из них представляет собой цилиндрическую конструкцию, заполненную многорядной решеткой – насадкой, выложенной из огнеупорных блоков. Насадка является основным конструктивным элементом воздухонагревателя, определяющим процессы передачи тепла от продуктов сгорания к воздуху.

На металлургических заводах Украины в доменных цехах кауперы работают с низкой эффективностью по сравнению с кауперами ведущих стран с развитой металлургией. Это связано с конструктивными недостатками каупера и с низким качеством используемых огнеупоров. Существенным недостатком работы наших кауперов является потеря физического тепла в цикле нагрева каупера. Каупер обогревается доменным газом с небольшим количеством природного газа. Воздух для горения и доменный газ подается с  $t=20^{\circ}\text{C}$ . Для повышения нагрева дутья необходимо увеличить тепловую мощность воздухонагревателей, которая определяется КПД и количеством сжигаемого газа. В свою очередь КПД воздухонагревателей зависит от разности температур продуктов горения под куполом и под насадкой.

Для повышения эффективности работы кауперов, в работе предлагается использовать тепло продуктов сгорания на выходе из каупера, во время периода нагрева насадки. Нагрев воздуха будет осуществляться в металлическом теплообменнике, который расположен между кауперами. Для обеспечения непрерывной подачи дутья для доменной печи продукты сгорания поочередно будут поступать на один теплообменник. Были проведены расчеты основных теплотехнических и геометрических параметров рекуператора. Так размеры данного рекуператора составили: длина -3,355м, ширина – 2,812 м, высота – 2,880м, с общей поверхностью нагрева –  $472 \text{ м}^2$ . Продукты сгорания от одного каупера поступают на теплообменник, нагревают воздух, который идет на нагрев воздуха для сжигания доменного газа для второго каупера. Тем самым при повышении температуры дутья, мы повысим экономическую эффективность и производительность печи, сократим расход кокса около 3-х %.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ТТ Туяхов А.И.

## ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛИЗАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СМЕШАННОГО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Саковенко О.Г. (ПТТ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Важнейшей задачей теории горения и газификации топлив является указание путей для разработки новых, наиболее рациональных методов и для интенсификации существующих способов сжигания и газификации топлив.

Важной характеристикой топлива как сырья для газификации является его реакционная способность.

На данный момент существует ряд разработанных процессов газификации, которые позволяют перерабатывать твердое топливо в газообразное с получением генераторного газа различной калорийности. Основные процессы, которые на данный момент находятся в процессе эксплуатации: процесс «Лурги», процесс Винклера, процесс «Копперс-Тотцек». Все эти процессы возможны только с использованием технического кислорода и применимы для углей с ограниченной величиной летучих – до 29-30%.

Генераторным газом называется газ, образующийся при взаимодействии углерода с каким-либо газообразным реагентом, при условии получения в его составе горючих составляющих. В качестве реагирующих газов применяют обычно кислород воздуха, водяной пар, а также смесь пара и воздуха или пара и кислорода.

Диапазон теплот сгорания генераторных газов, полученных при помощи различных технологий колеблется от 4 до 20 МДж/м<sup>3</sup>.

Основным применением генераторных газов является их использование в качестве топлива, в том числе для замены природного газа и жидких топлив.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Новикова Е.В.

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



# ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Назаренко Е.В. (ЭНМ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

По оценке специалистов, вследствие физически и морально устаревших теплосетей, котельных и прочего оборудования больше половины энергоресурсов не используется по назначению, а вылетает, в прямом смысле, в воздух. Коэффициент полезного действия старого котельного оборудования по современным меркам и так невелик, всего 60-70%. А с учетом того, что в Украину на 100 км теплотрасс приходится до 70 аварий в год, то реально КПД этого оборудования значительно ниже.

В работе рассматривается вариант создания системы индивидуального отопления на примере здания фабрикоуправления химико-металлургической фабрики ПАО «Мариупольского металлургического комбината им. Ильича».

В плане удобства обслуживания идеальными являются современные системы отопления, работающие на электричестве. Электрические котлы имеют малые габариты, просты в эксплуатации, не требуют специально оборудованного помещения (с вентиляцией) для установки. Электрический котел работает самостоятельно – ограничитель температурного уровня прекращает нагрев по достижении желаемой температуры в доме, предохранительный клапан своевременно сбрасывает давление, котел сохраняет настройки при отключении электроэнергии, а после возобновления подачи сразу готов к работе.

Установка современного электрического двухконтурного котла будет осуществляться непосредственно в подразделении фабрикоуправления, что позволит выгодно снизить расходы топлива на производство тепла.

По данным на самый холодный месяц (февраль 2012 года) суммарная суточная тепловая нагрузка составила 682,97 ГДж. Было проведено маркетинговое обследование рынка Украины с целью выбора

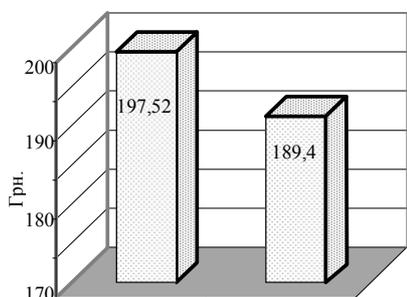


Рисунок - Себестоимость 1 ГДж тепла до реконструкции и после.

теплотехнического оборудования (в данном случае котла). Был сделан вывод, что электрический котел «Титан» 145 кВт высококачественный, надежный котел с высоким КПД и небольшими габаритами.

После внедрения мероприятия можно получить существенную разницу в себестоимости 1 ГДж тепла, которая будет составлять 189,4 грн/ГДж, что отображено на рисунке. Реконструкция займет около месяца и будет проходить в теплое время года, что позволит к началу отопительного сезона завершить основные этапы проекта. Окупаемость данного мероприятия не более 2х лет.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Вертела С.А. (ЭНМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Задача экономически эффективного нагрева теплоносителя в системах отопления была и остается актуальной независимо от способа осуществления этих процессов, конструкции системы отопления и источников получения тепла. Особенно много вопросов возникает при выборе системы отопления, огромное разнообразие которых заставляет задуматься над тем, посредством каких критериев выбрать оптимальный для себя вариант и чему именно отдать предпочтение. Эту проблему можно решить, проведя предварительную технико-экономическую оценку применения различных систем отопления.

Выделим для сравнения три вида систем отопления – централизованное, на основе инфракрасных обогревателей и с помощью тепловых насосов.

Наиболее распространенным из них является централизованное отопление открытого либо закрытого типов. Открытая система возможна при горячем водоснабжении и отоплении дома, но во многих случаях более предпочтительна с точки зрения эксплуатации и компактности закрытая система теплоснабжения.

Второй вид отопления – инфракрасные обогреватели. Они могут быть электрическими с трубчатыми электронагревателями (ТЭНы) либо газовыми, использующими тепло проходящих через металлическую сетку или трубку с черным покрытием продуктами сгорания природного газа.

Теплонасосная система теплоснабжения основана на получении тепла для горячего водоснабжения и отопления зданий за счет использования тепла почвы, грунтовых артезианских вод, озер, морей и воздуха.

В результате экономического расчета получены следующие данные стоимости 1 кВт·ч тепловой энергии при различных системах отопления одноэтажного частного домостроения в условиях г. Донецка:

- тепловой насос - 0,90 грн/кВт·ч;
- инфракрасный обогреватель - 0,27 грн/кВт·ч;
- покупка тепла у тепловой сети 0,30 грн/кВт·ч.

С точки зрения экономичности наиболее выгодны инфракрасные обогреватели. Система отопления в частном доме должна монтироваться в строгом соответствии с проектной документацией. Централизованное отопление наиболее выгодно в небольших помещениях, инфракрасные обогреватели - наоборот, подходят для помещений с высокими потолками и большой квадратурой. Тепловые насосы позволяют более эффективно использовать альтернативные энергетические ресурсы, что является особенно актуальным в условиях приближающегося энергетического кризиса.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

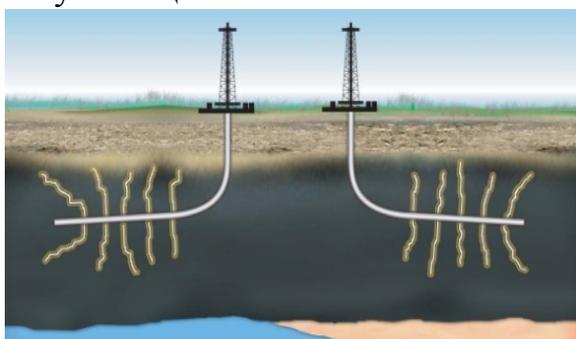
Григоренко К.С. (ЭНМ – 08)\*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в Украине остро стоит вопрос использования природного газа. Его стоимость в дальнейшей перспективе продолжит расти, что приведет к значительным проблемам в области топливно-энергетического комплекса. Поэтому актуальным становится вопрос добычи альтернативного топлива, а одним из наиболее перспективных вариантов является сланцевый газ.

Сланцевый газ – разновидность природного газа, образовавшегося в недрах земли в результате анаэробных химических процессов (процессов разложения органических веществ). Сланцевая порода плотная, с низкой пористостью и состоит из мелких, твердых частиц. Газовые отложения в ней сконцентрированы в небольших газовых коллекторах, которые рассредоточены по всему сланцевому пласту, притом, что сланцевые месторождения имеют огромную площадь, объемы газа зависят от толщины и площади сланцевого пласта.

Впервые технологии по добыче сланцевого газа была разработана в США в 1821 году Вильямом Хартом. Бурили множество вертикальных скважин, в поисках газовых месторождений, затем производили гидроразрыв пласта и откачивали газ. Но такой способ добычи был нерентабелен. Современная технология добычи сланцевого газа подразумевает бурение одной вертикальной скважины до 1 км и нескольких горизонтальных скважин протяженностью до 2–3-х км. В пробуренные скважины закачивается смесь воды, песка и химикатов, в результате гидроудара разрушаются стенки газовых коллекторов, и весь доступный газ откачивается на поверхность. Процесс горизонтального бурения проводится посредством инновационной методики сейсмического моделирования 3D GEO, которая предполагает сочетание геологических исследований и картирования с компьютерной обработкой данных, включая визуализацию.



По данным ассоциации независимой статистики, в Украине находится 1188 млрд. куб. м. технически извлекаемых запасов сланцевого газа. Они расположены на территории Олесского и Юзовского бассейнов. Но добыча газа усложняется геологическими особенностями регионов.

Рисунок – Схема добычи сланцевого газа

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Пяташкин Г.Г.

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ КАК СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Панасенко Е.С. (ЭНМ – ИИМ)\*

Донецкий Национальный Технический Университет

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем есть поиск и создание возможностей экономного использования ресурсов, с помощью энергосберегающих мероприятий и инженерных решений по реализации тепло- и технологических процессов с минимальными тепловыми потерями. Большую роль в этом играет знание теплофизических свойств (ТФС) теплоизоляционных материалов и изделий что используются и снова разрабатываются.

Приведённые ниже расчёты свидетельствуют о высокой степени теплосбережения панельно-каркасных домов, в которых в качестве утеплителя применён ИЗОЛОН.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_0$  следует принимать не менее требуемых значений, определяемых СНиП II-3-79, исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий. С учетом градусо-суток отопительного периода (ГСОП = 5680), приведенное сопротивление теплопередаче составит  $R_0 = 3,39$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ).

Сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , ограждающей конструкции следует определять по формуле (1):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{в}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{н}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{в} = 8,7$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;  $\alpha_{н} = 23,0$  - коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3, \quad (2)$$

где  $R_1, R_3$  - термические сопротивления внутреннего и наружного слоев ограждающей конструкции,

$$R_1, R_3 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,012}{0,29} = 0,041 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}, \quad (3)$$

где,  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – теплопроводность стенки,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $R_2$  - термическое сопротивление теплоизолирующего слоя:

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

$$R_2 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,15}{0,043} = 3,488 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} \quad (4)$$

Таким образом, сопротивление теплопередаче панели, состоящей из утеплителя толщиной ИЗОЛОН 15 мм, облицованной с двух сторон плитами ОСП толщиной 12 мм каждая, составит:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,041 + 3,49 + 0,041 + \frac{1}{23} = 3,73 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}, \quad (5)$$

что на 10% превышает требуемый  $R_0 = 3,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C / Вт)}$ .

Снижению тепловых потерь способствует все более широкое применение прокладки тепловых сетей труб с индустриальной полимерной тепловой изоляцией, в первую очередь из пенополиуретана. Такие трубы с нанесенной в заводских условиях изоляцией имеют высокие теплоизоляционные характеристики, что позволяет резко снизить тепловые потери, и, несмотря на достаточно высокую стоимость, позволяют вести безканальную прокладку со значительной экономией средств при строительном-монтажных работах.

Универсальным изоляционным материалом является ИЗОЛОН - сертифицированный по международному стандарту ISO 9001:2000-12. ИЗОЛОН- это эластичный пенополиэтилен с равномерной закрытой структурой ячеек, представленный в широком диапазоне плотностей и толщин. Уникальность технологии производства данного материала заключается прежде всего в том, что при производстве ИЗОЛОНа достигается глубокая переработка полимерного сырья, что само по себе является критерием высокой технологичности процесса. Вспененный пенополиэтилен обладает уникальным набором свойств - сочетает тепло- гидро- шумо- и пароизоляционные свойства, масло-, нефте- и бензостоек, экологически и гигиенически безопасен.

Отличительные свойства ИЗОЛОНА:

1. Отличные теплоизоляционные свойства по сравнению с другими теплоизоляционными материалами - коэффициент теплопроводности изолонa 0,031 Вт/мК при плотности 33 кг/м<sup>3</sup>. В среднем 1 см изолонa может заменить: 1,2 см пенополистирола, 4,5 см дерева (ель, сосна), 4,5 см минераловатного утеплителя, 15 см кирпичной кладки.

2. Отличная ударозвуковая изоляция в сочетании с малой толщиной и низкой динамической жесткостью.

3. Мягкость, эластичность и малый вес. ИЗОЛОН производится в виде рулонов или листов с плотностью 19-38 кг/м<sup>3</sup> (для строительных марок). Этот приятный на ощупь, легкий и эластичный материал обеспечивает высокую технологичность монтажа в любых условиях. Изолон легко подвергается механической обработке и не требует применения специальных устройств.

4. Стойкость к гниению, долговечность. Срок службы ИЗОЛОНа- 80-90 лет эксплуатации без потери своих свойств. ИЗОЛОН производится на основе полимерного сырья, благодаря чему обладает повышенной микробиологической стойкостью.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОГО СЖАТИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ПАРОВОГО ПУЗЫРЬКА В ЖИДКОСТИ

Стрельцов Р.В. (ТП 08)\*

Донецкий национальный технический университет

Целью исследования является сжатие (быстрое изменение размеров) парового пузырька в жидкости в процессе кавитации. Физический процесс кавитации подобен процессам, происходящим во время кипения, основное различие между ними – это изменение фазового состояния жидкости.

Конечная температура при схлопывании парового пузырька равна температуре кипящей воды. Удельный объём пузырька в процессе схлопывания уменьшается, сам процесс схлопывания происходит при постоянном наружном давлении  $P$ .

Из этого выражения можно проследить динамику изменения температуры  $t_1$  (начальной температуры в пузырьке) от радиуса пузырька, которая представлена на рисунке.

Аналогично рассмотрим динамику изменения давления  $P_1$  внутри пузырька при изменении температуры  $t_1$ . Изменение давления внутри пузырька происходит при постоянном удельном объёме кипящей жидкости.

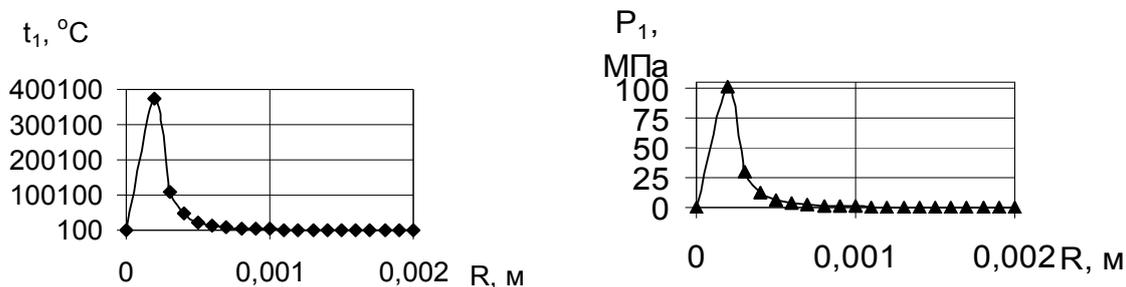


Рисунок – Динамика изменения температуры и давления в пузырьке от радиуса пузырька

Кроме проведённых исследований термодинамических процессов относительно быстрого сильного сжатия сферического парового пузырька в жидкости выведено уравнение Фурье для сферической стенки, которое дополняется уравнением движения. При изменении размеров пузырька среда внутри его не является статичной и неподвижной. В среде программирования Delphi разработана вычислительная программа и планируется ее модернизация на ПК относительно исследования процессов, происходящих внутри пузырька для получения более точных значений температуры и давления при изменении размеров сферического парового пузырька.

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Пяташкин Г.Г.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ДОНБАССЕ: ЗА И ПРОТИВ

Копейка Д.В. (ЭНМ-09)\*

Донецкий национальный технический университет

В нашей стране сложилась сложная ситуация в топливно-энергетическом комплексе, обусловленная ростом цен на природный газ на фоне далеко не самого лучшего экономического положения страны, причем в отличие от европейских стран, в Украине не уделялось и не уделяется должного внимания ресурсо- и энергосбережению. Плачевное состояние тепловых магистралей и котельных является главным виновником огромных потерь отпущенного тепла. Уровень теплопотерь колоссален: так, в 2011 году по Донецкой области их объем оказался эквивалентен количеству тепла, которого вполне хватило бы на обогрев таких городов, как Макеевка и Мариуполь!

Значительно сократить потребление газа можно, усовершенствовав и улучшив технологическое состояние путей доставки теплоносителя к потребителю. В то же время значительные объёмы газа используются на ТЭС и ТЭЦ для выработки электричества. Существенно сократить их можно за счет использования солнечных и ветровых энергетических установок (ВЭУ). Наиболее приемлемыми для Донбасса могут оказаться именно ВЭУ малой, средней, высокой мощности, поскольку они могут покрыть как базовые потребности единичных потребителей, так и потребности крупных промышленных предприятий.

Климатические и географические особенности региона (степи с постоянными ветрами в основном восточного направления) благоприятны для использования ВЭУ.

Недостатком использования ВЭУ является негативное воздействие шумов и вибраций при вращении ветроколеса в условиях густонаселённого Донбасса. С другой стороны, создаются дополнительные рабочие места при обслуживании ВЭУ в депрессивных районах области.

Позитивные моменты использования ВЭУ в Донбассе, кроме упомянутого выше замещения традиционных источников могут носить и социально-экономический характер:

- создание и развитие новых производств, в том числе собственно ветроагрегатов и комплектующих к ним;
- развитие инфраструктуры (в том числе, строительство и производство строительных материалов);
- вложения в местную экономику (особенно, если это проект локальной энергосистемы или теплоснабжения);
- арендная плата за землю и налоги в бюджеты разных уровней.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА АО «ПО КОНТИ»

Ананьева Ю. О. (ЭНМ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

*У доповіді розглядається проблема компенсації реактивної потужності на АТ «ПО КОНТИ». Завантаженість реактивними токами генераторів електростанцій збільшує витрати палива, втрати в мережах що підводять і приймачах, збільшується падіння напруги в мережах. Згідно з цим автор пропонує встановлення на підприємстві конденсаторів реактивної потужності.*

Реактивный ток дополнительно нагружает линии электропередачи, что приводит к увеличению сечений проводов и кабелей и соответственно к увеличению капитальных затрат на внешние и внутривидовые сети.

При проведении данного исследования было установлено, что электроэнергия занимает величину порядка 30-40% в стоимости продукции, а это 12000 грн/т (за год эта величина достигает 936,67 млн. грн). Кроме этого, реактивная мощность наряду с активной мощностью учитывается поставщиком электроэнергии, а следовательно, подлежит оплате по действующим тарифам, поэтому составляет значительную часть счета за электроэнергию.

Также было установлено, что при значительном потреблении реактивной мощности напряжение в сети понижается. Недостаточная для выполнения баланса активная мощность передается в такие системы из соседних энергосистем, в которых имеется избыток генерируемой мощности. Обычно энергосистемы, дефицитные по активной мощности, дефицитны и по реактивной мощности. Однако недостающую реактивную мощность эффективнее не передавать из соседних энергосистем, а генерировать в компенсирующих устройствах, установленных в данной энергосистеме.

В связи с этим предлагается применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок) на стороне 0,4 кВ установки типа УК, УКМ58, УКМФ58; - на стороне 6,3 и 10,5 кВ установки типа УКЛ(П)56, УКЛ(П) 57

По результатам предварительных расчетов применение данного мероприятия на АО «ПО КОНТИ» позволит:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
  - снизить расходы на оплату электроэнергии на 936,67 млн. грн/год
  - снизить уровень высших гармоник;
  - подавить сетевые помехи и снизить несимметрию фаз;
  - сделать распределительные сети более надежными и экономичными.
- Срок окупаемости данного мероприятия составит около 2,5 года.

---

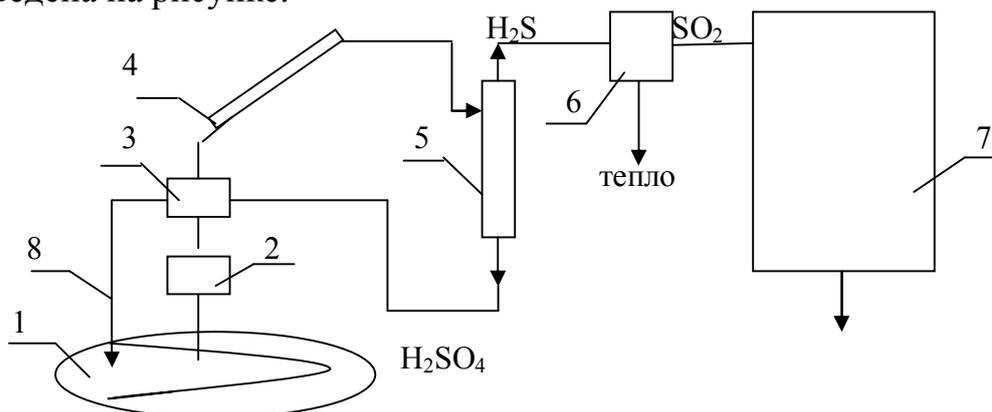
\* Руководитель – ст. преподаватель кафедры ПТ Константинов Г.Е.

## УТИЛИЗАЦИЯ СЕРОВОДОРОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Берчук С.С. (ТЭС-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Сероводородные воды можно откачивать с моря, на поверхности добывать из них сероводород, сжигать его с добыванием одновременно серы и электроэнергии, а очищенную воду возвращать в море. Схема процесса приведена на рисунке.



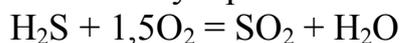
1-источник; 2- насос; 3-подогреватель; 4-солнечный коллектор;  
5-сепаратор; 6-котел утилизатор; 7-контактный аппарат; 8-очищенная вода

Рисунок – Процесс получения серной кислоты

Производство серной кислоты из серусодержащего сырья включает несколько химических процессов. Способ производства серной кислоты из сероводорода, получивший название "мокрого" катализа, состоит в том, что смесь оксида серы (IV) и паров воды, полученная сжиганием сероводорода в потоке воздуха, подается без разделения на контактный аппарат, где оксид серы (IV) окисляется на твердом ванадиевом катализаторе до оксида серы (VI). Затем газовая смесь охлаждается в конденсаторе, где пары образующейся серной кислоты превращаются в жидкий продукт.

Весь процесс включает только три последовательные стадии:

1. Сжигание сероводорода с образованием смеси оксида серы (IV) и паров воды эквимолекулярного состава (1 : 1).



2. Окисление оксида серы (IV) до оксида серы (VI):



3. Конденсация паров и образование серной кислоты с сохранением эквимолекулярности состава смеси оксида серы (IV) и паров воды (1 : 1).



Таким образом, процесс мокрого катализа описывается суммарным уравнением:  $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

## ПРЕИМУЩЕСТВА УТИЛИЗАЦИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Христенко Д.И. (ТЭС-11м), Басенко О.С. (ТЭС-11м)\*  
Донецкий национальный технический университет

В наше время чрезвычайно остро стоит вопрос о загрязнении водных бассейнов сточными водами.

На промышленных предприятиях (особенно металлургических комплексов) воды, загрязненные нефтепродуктами, могут поступать:

- от основного и вспомогательного оснащения;
- от оснащения и с территории открытых распределительных установок;
- от оснащения и с территории мазутного хозяйства и т.д.

Применяемые сейчас методы очистки сточных вод от нефтепродуктов являются дорогостоящими и не всегда высокоэффективными. Особенно это относится к очистке сильно загрязненных вод. Одной из технологий для теплоэнергетики, направленной на очистку атмосферного воздуха и водного бассейна от выбросов различных ингредиентов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , сажи, многоядерных углеводородов, нефтепродуктов и других вредных веществ, является сжигание замазученных стоков в виде водомазутных эмульсий (ВМЭ).

Существует несколько вариантов технологических схем по сжиганию ВМЭ. Из них наиболее известными являются: схема с центральным узлом приготовления ВМЭ, схема с индивидуальным узлом приготовления ВМЭ и комбинированная схема.

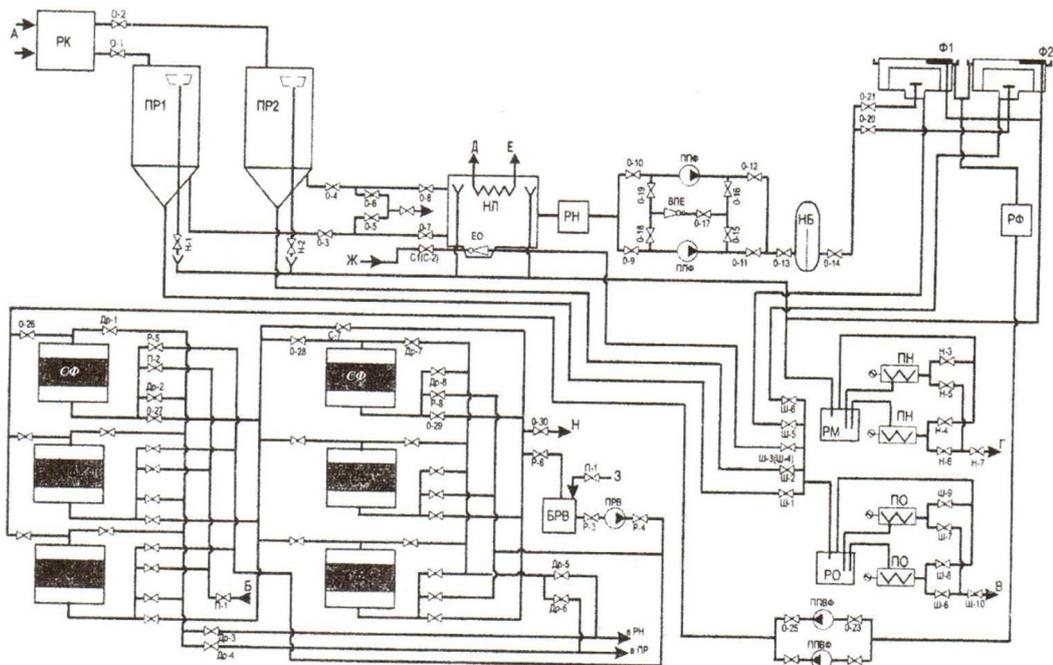
Для достижения поставленной задачи ВМЭ должна быть приготовлена в виде однородной смеси мазута и добавляемой влаги по типу вода-масло, в которой вода как дисперсная фаза в виде частиц диаметром несколько микрометров находится внутри топливной оболочки. Только при соблюдении этого условия и влажности ВМЭ до 20% обеспечиваются надежное воспламенение и устойчивое ее горение с высокой полнотой сгорания.

Для предприятий нашего региона предлагаем использовать схему с центральным узлом приготовления ВМЭ, которая базируется на применении устройства, принцип действия которого основан на кавитационном эффекте. На входе в кавитатор подаются замазученные стоки и добавочная влага (сточные воды, содержащие нефтепродукты и другие вредные вещества; водяной пар; чистая вода).

Для данных условий подходит схема с центральным узлом приготовления ВМЭ, расположенным между насосами первого и второго подъемов, является наиболее простой (рисунок). Но в этой схеме в случае добавки воды в тракт топлива происходит обводнение всего потока мазута, циркулирующего в контуре, включая мазутные баки, что нежелательно. Поэтому необходим надежный контроль влажности мазута на различных участках тракта.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е. К.



РК - распределительная камера; ПР - приемный резервуар; НЛ - нефтеуловитель; СФ - сорбционный(угольный) фильтр; ПН - pompa перепомпания уловленных нефтепродуктов; ПО - pompa перепомпания осадка; А - сточные воды, загрязненные нефтепродуктами; Г - нефтепродукты на сжигание.

Рисунок – Схема установки для очистки сточных вод от загрязнения нефтепродуктами.

Приготовление и сжигание ВМЭ существенно улучшают (на 3,3 - 4,2%) режим работы топki котла. Присутствие в топливной эмульсии тонкодисперсной фазы воды (6- 20 мкм) оказывает положительное влияние на процессы сжигания топлива на микроуровне по следующим причинам:

- при размерах дисперсной фазы воды в пределах 6-20 мкм в результате ее бурного вскипания происходит микровзрыв капли в топочном пространстве, что многократно увеличивает поверхность контакта топлива с воздухом и интенсифицирует процесс горения;

- вскипание мелких включений воды (1-5 мкм) и постепенный рост парового пузыря на месте крупных включений (от 20 мкм и выше) приводят к увеличению объема капли мазута, вследствие чего усиливаются диффузионные потоки легких фракций к ее поверхности и их испарение.

Чем тоньше дисперсная фаза воды в ВМЭ, тем меньше выбросы бенз-(а)-пирена в атмосферу. Благодаря этому концентрация частиц кокса и сажи в продуктах сгорания уменьшается примерно на 90%.

В заключении следует отметить, что перевод котлов на сжигание ВМЭ не вызывает необходимости существенного изменения их конструктивного исполнения. В случае перевода котлов на сжигание ВМЭ должны быть внесены лишь незначительные изменения в схему мазутного хозяйства ТЭС или котельной.

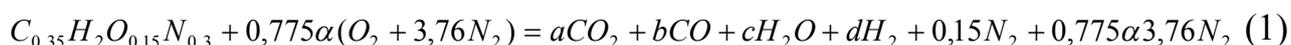
## АНАЛИЗ ВОЗДУШНОЙ КОНВЕРСИИ КОКСОВОГО ГАЗА

Тараненко А.Ю. (ТЭС-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Конверсия – взаимодействие воздуха и углекислого газа, происходящее с углеводородным газообразным топливом с целью получения газа с определенными свойствами. В процессе конверсии в присутствии окислителей углеводороды превращаются либо в метан, либо в водород и окись углерода. Метан как основной продукт конверсии образуется на первой стадии конверсии углеводородов. Основными конечными продуктами конверсии углеводородов являются окись углерода и водород. Процессы конверсии углеводородов протекают при  $O/C > 1$ , чтобы избежать выделения в системе углерода.

Рассмотрим воздушную конверсию коксового газа, состав которого:  $CH_4 = 25\%$ ,  $N_2 = 15\%$ ,  $CO = 5\%$ ,  $CO_2 = 5\%$ ,  $H_2 = 50\%$ . Конверсия коксового газа ( $C_{0,35}H_{2,0,15}N_{0,3}$ ) осуществляется по стехеометрическому уравнению:



Для определения равновесного состава продуктов конверсии коксового газа необходимо составить балансовые уравнения по углероду, водороду и кислороду. Определяем начальную энтальпию продуктов сгорания:

$$i_0 = \frac{Q_n^p + V_6 c_6 t_d}{V_{n.г.}} \quad (2)$$

где  $Q_n^p = 15025,54 \text{ кДж/кг}$ ;  $V_6 = 3,689 \text{ м}^3$  - объем воздуха, необходимого для горения;  $V_{n.г.} = 4,414 \text{ м}^3$  - объем продуктов горения;  $c_6 = 1,3181 \text{ кДж/м}^3$  теплоемкость воздуха при температуре  $30^\circ\text{C}$ . Задаемся возможной температурой горения, определяем энтальпию продуктов сгорания при этой температуре. Калориметрическую температуру определяют интерполяцией. Действительная температура:  $t_0 = \eta t_k \alpha$  (3)

Производим перерасчет воздушной конверсии коксового газа при калориметрической температуре, результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 1 – Состав продуктов воздушной конверсии коксового газа

$\alpha$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$CO_2\%$	$CO\%$	$H_2O\%$	$H_2\%$
0,9	1596	6,98	1,84	23,11	2,06
0,93	1649	7,29	1,33	23,29	1,34
0,96	1702	7,64	0,84	23,39	0,72
0,99	1755	8,17	0,2	23,45	0,16

С увеличением калориметрической температуры и коэффициента расхода воздуха  $\alpha$  в коксовом газе происходит увеличение образования  $CO$  и незначительное -  $H_2O$ , а образование  $CO_2$  и  $H_2$  уменьшается.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

## СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕГАЗОВОЙ СМЕСИ В КОТЛАХ ТПП - 312А БЛОКА 300 МВт ЗАПОРОЖСКОЙ ТЭС

Ревко Е.В. (ЭИМ -11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Котлы ТПП - 312А блока 300 МВт Запорожской ТЭС работают на угле ГСШ ухудшенного качества. В условиях высокого износа энергетического оборудования и роста цен на энергоносители, целесообразной, выгодной и актуальной является проблема перевода котла на газообразное топливо. При этом виде топлива не требуется угольных складов и интенсивной очистки от механического уноса и сероочистки. В связи с этим нами было предложено к использованию пылегазовая смесь, которая может подаваться на сжигание в следующих соотношениях:

- 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;

КПД котла, рассчитанный при оптимальном избытке воздуха ( $\alpha_{\text{опт}} = 1,1$  на газе и  $\alpha_{\text{опт}} = 1,17 \div 1,22$  на смеси топлив) и нагрузках 200 ÷ 300 МВт изменяется от 88,8 до 90,81 (Таблица 1).

Таблица 1 – Расчет КПД котла при % содержании газа по теплу

№ соотношения газ-топливо				
	1	2	3	4
КПД, %	88,88 ÷ 89,45	89,05 ÷ 89,45	89,09 ÷ 89,51	90,19 ÷ 90,81

При таком соотношения природного газа и угольной пыли оптимальным является КПД 90,19 ÷ 90,81%, достигается минимальный удельный расход топлива и, как следствие, снижаются вредные выбросы:

Минимальный уровень оксидов азота 632,1 мг/нм<sup>3</sup> соответствует нагрузке котлоагрегата  $N_{\text{эл}} = 200$  МВт при работе на 100% по теплу газа. С уменьшением доли газа до 15% (от 50%, до 30% и далее до 15% по теплу) достигается значительное превышение граничного содержания оксидов азота в уходящих газах.

Анализ показал, что с уменьшением доли природного газа наблюдается четкая зависимость роста концентрации диоксида серы в уходящих газах, так при доле природного газа 50% концентрация диоксида серы составляет

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Попов А.Л.

2326÷2500 мг/нм<sup>3</sup>, при доле газа 30% — 2813 ÷2977 мг/нм<sup>3</sup>, и при доле газа 15% — 2989 ÷ 3207 мг/нм<sup>3</sup>.

Для достижения лучшего эффекта при решении проблемы уменьшения вредных выбросов, дополнительно, в топках котла ТПП - 312А блока 300 МВт предлагается установить модернизируемую нами пылеугольную улиточно-лопаточную горелку типа АГУЛ, для улучшения смесеобразования в которой, приводит к повышению качества сжигания топлива и снижению удельного расхода газовоздушной смеси, в которой предложено увеличить параметры крутки потока, путем изменения угла наклона лопаточного завихрителя от 90° до 64°.

Расчеты показали, что благодаря увеличению параметра крутки потока в горелке, уменьшению диаметра газовыпускных отверстий и увеличению их количества смесеобразование улучшается и снижается механический унос. При начальном варианте диаметр газовыпускных отверстий составляет 0,019 м, а количество газорадающих трубок составляет 42 шт., при этом угол наклона лопаточного завихрителя составил 90°. При уменьшении диаметра газовыпускных отверстий  $d_{вн}$  от 15% до 50% конструктивные параметры горелки меняются.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет исходного и проектного варианта

Наименование	Формула	Результат по варианту			
		Исходному	% уменьшения $d_{вн}$		
			15	30	50
Параметры крутки горелки, n	$n = \frac{\sqrt{2 \cdot (d^2 - D^2)}}{D_{пз}} \cdot \operatorname{tg} \beta$	2,5	2,9	3,3	3,8
Угол наклона лопаточного завихрителя, $\beta^0$	$\operatorname{tg} \beta = \frac{D_{пз} \cdot n}{\sqrt{2 \cdot (d^2 - D^2)}}$	90	64	67	70
Выходная скорость газа, $\omega$ м/с	$W_{газ} = W'_{газ} \cdot K_w$	34,7	88,2	99	108
Диаметр газовыпускных отверстий, d м	$d_{газ} = d'_{газ} \cdot K_d$	0,019	0,016	0,013	0,006

Из данной таблицы видно, что оптимальный угол наклона лопаточного завихрителя 70° обеспечивает параметр крутки горелки  $n = 3,8$ ; диаметр газовыпускных отверстий,  $d = 0,006$  м и выходная скорость газа  $\omega = 108$  м/с.

По данному предложению подана заявка на полезную модель.

## ПЛАЗМЕННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ

Ктиторов В.В. (ЭНМ – 08)\*

Донецкий национальный технический университет

Недавние разногласия по поводу стоимости газа для Украины заставляют задуматься о возможности применения альтернативных источников энергии. Решить проблему альтернативного топлива и поправить экологическую ситуацию поможет метод плазменной переработки мусора.

На сегодняшний день реальной альтернативой существующим архаичным методам утилизации отходов является только технология плазменной газификации. Так, например, при плазменной газификации отходов из одной тонны муниципальных отходов производится более 1 МВт/ч электроэнергии. Кроме электроэнергии в ходе процесса переработки получают металл, остеклованный шлак, соляную кислоту и другие продукты. После переработки не образуется никаких выбросов и отходов, подлежащих складированию. Поэтому плазменная газификация, сегодня является наиболее перспективным путем решения проблемы переработки отходов.

Чтобы из спрессованного мусора получить плазму, следует затратить какое-то количество энергии. Затем из плазмы получается синтез-газ, который содержит некоторое количество энергии. В частности, можно затратить одну единицу энергии, а в синтез-газе получить шесть единиц. Но поскольку КПД преобразования из газа в электричество в лучшем случае – при больших установках комбайн-цикла – 60 процентов, а обычно – 40–50 процентов, вы с каждого килограмма мусора можно получить в чистом виде 1,5–2 кВт-часа.

Преимущества такого вида переработки мусора над обыкновенным сжиганием следующие:

- отсутствие вредных выбросов, так как происходит полное разложение на углерод и водород без горения;
- возможность создания жидкого топлива для автомобилей;
- улучшение экологической ситуации за счет утилизации долгоразлагающихся и вредных отходов;
- привлечение инвестиций в новые перспективные технологии и т.д.

К сожалению, все необходимое оборудование производится на западе и в России, однако при удачно сложившихся обстоятельствах и сотрудничестве наших государств вполне вероятно появление подобных заводов в течении следующих 10 лет.

Бытовые отходы и мусор – это крест человечества. Будет человек, будут и отходы. Мусор вечен! Значит – это возобновляемый источник. По данным Киевского национального университета на 1 украинца приходится около 500 кг бытовых отходов в год, что в соответствии с вышесказанным может привести к ощутимой экономии денежных средств.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Пяташкин Г.Г.

# АНАЛІЗ РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ ЦОФ «ДЗЕРЖИНСЬКА» І ВИБІР ОБЛАДНЕННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВЛАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Гармаш О.С.(ТП-08)\*

Донецький національний технічний університет

У зв'язку з високою вартістю електроенергії у даний час усе більш актуальною стає проблема отримання власної електроенергії.

В цій роботі розглянуто аналіз різних джерел енергії. За результатом дослідження зроблено розрахунок турбіни, розрахована теплова схема та допоміжне обладнання паротурбінної установки. В роботі проведено розрахунок теплової схеми котельної з котлами ДКВР-10/13 та установкою турбіни потужністю 6 МВт та витратою пари 10 т/ч та температурою свіжої пари 270<sup>0</sup>С.

В результаті розрахунку була вибрана турбіна типу П-6-1,2/0,5 з максимальною витратою пари через турбіну 10,91 т/ч і потужністю 6 МВт, з числом обертів 3000об/мин. Крім того, в роботі розглянуті питання контролю та автоматичного регулювання турбіни, питання охорони праці і захисту навколишнього середовища в умовах роботи турбіни був проведений розрахунок системи контролю турбіни, який передбачає контроль температури, тиску та витрати. Також була розрахована система сигналізації турбіни.

При розрахунку охорони навколишнього середовища, можна зробити висновок, що після реконструкції зменшилась витрата палива, що сприяє економії природних ресурсів, а саме твердого вугілля.

При розрахунку охорони праці було виявлено, що після реконструкції котельної в приміщенні збільшився рівень шуму в залежності від середньо геометричної частоти октавної смуги. Найбільше перевищення норми рівня звуку 23,85 Дб відбувається на частоті 250Гц а найменше 7,03 на частоті 63 Гц. З урахуванням матеріалу конструкції побудови, рівень шуму поста управління не перевищує норму.

Даний захід дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію за рахунок роботи турбіни і отримання власної електроенергії.

Річний економічний ефект від пропонованої реконструкції визначається по формулі:

$$\mathcal{E}_p = (T_1 - T_2) \cdot Q_p^H - E_n \cdot \Delta K,$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності. У даний година  $E_n$  приймається рівним 0,15.

Таким чином річний економічний ефект становить

$$\mathcal{E}_p = 3687905 \text{ грн./од.прод.}$$

---

\* Керівник - к.т.н., доцент кафедри ПТ Сахно О. Є.

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ

Подколзина И.И., Сагир О.Г. (ТЭС-11)\*  
Донецкий национальный технический университет

Одним из перспективных направлений по реконструкции отопительных котельных г. Донецка, работающих в водогрейном режиме, является установка электрогенерирующего оборудования для покрытия собственных нужд котельной в электрической энергии.

В данной статье рассматривается предложение по реконструкции отопительной котельной завода ДЗВО, в которой установлено 2 котла ДКВР-6,5-13 и один ДКВР-10-13. Предлагается установка двух когенерационных установок типа VIESSMAN VITOBLOC EM 238/363, с единичной мощностью по электроэнергии 250 кВт. Данная когенерационная установка, представляет собой полностью укомплектованный, готовый к подключению узел на базе газопоршневого двигателя, имеющий синхронный генератор с воздушным охлаждением. Применение данных установок позволит покрыть собственные нужды котельной в электрической энергии (привод насосов и вентиляторов) и тепловой энергии (нагрев подпиточной воды для восполнения потерь в тепловых сетях).

Стандартное решение по применению газопоршневых установок подразумевает установку дополнительной дымовой трубы для отвода дымовых газов. Однако, по мнению авторов, это является нерациональным, так как в данном случае 9,9% тепловой энергии выбрасывается в окружающую среду, а величина химического и механического недожега в двигателе внутреннего сгорания на порядок выше чем в котельном агрегате.

Для решения данной проблемы предлагается отходящие газы когенерационной установки направить на утилизацию в котельный агрегат (см. рисунок), что позволит понизить вредное влияние на окружающую среду и повысит эффективность работы всего комплекса на 4,5-9,9%.

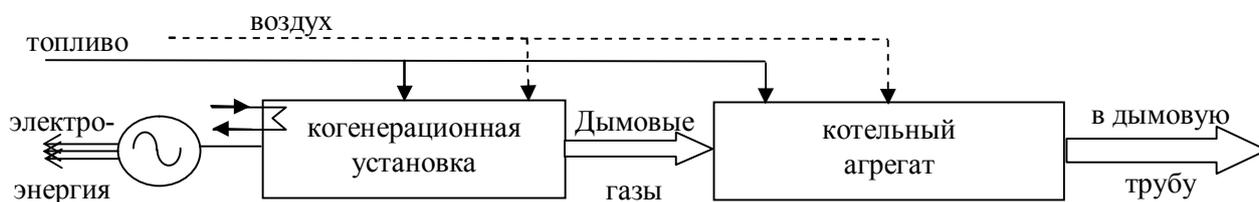


Рисунок – Предлагаемая принципиальная схема соединения оборудования

Проведенные расчеты эффективности данного мероприятия позволяют прогнозировать экономический эффект 96,5 тыс. грн., а срок окупаемости 4,3 года.

\* Руководитель – ассистент кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТА КАК ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Глебова Е.М. (ТТ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Грунт как источник тепла теплового насоса, фактически является тепловым аккумулятором неограниченной мощности. Тепловой режим грунта формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Поэтому температура грунта ниже 10 метров, остаётся стабильной на протяжении всего года. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха не превышает 15–20 м.

К характерным особенностям теплового режима систем сбора тепла грунта как объекта проектирования тепловых насосов грунт-вода следует отнести отсутствие достоверной информации о воздействиях на систему окружающей среды и сложность их аппроксимации. Если аппроксимация воздействий на систему наружного климата сложна, но всё же может быть реализована, то проблема учета в модели влияния на геотермальный тепловой насос атмосферных воздействий, а также аппроксимация теплового влияния на грунтовый массив системы теплосбора подстилающих и окружающих его слоев грунта на сегодняшний день практически не разрешима.

Для решения этой проблемы можно использовать метод математического моделирования теплового режима систем сбора тепла грунта теплового насоса.

Суть метода состоит в рассмотрении при построении математической модели разности двух задач: «базовой» задачи, описывающей тепловой режим грунта как источника тепла теплового насоса в естественном состоянии (без влияния грунтового теплообменника системы теплосбора), и решаемой задачи, описывающей тепловой режим грунтового массива со стоками (источниками) тепла.

Использование метода математического моделирования позволит более точно спрогнозировать тепловую мощность предлагаемых систем теплоснабжения с использованием теплового насоса.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАКУУМНЫХ И ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Швец А.С. (ЭНМ-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Учитывая истощенность энергетических ресурсов, роль использования возобновляемых источников энергии во многих странах с каждым годом возрастает. Наиболее популярными являются гелиотермальные установки, основным элементом которых являются солнечные коллекторы (СК), которые представляют собой теплообменные аппараты с каналами, через которые проходит теплоноситель. Различают два типа солнечных коллекторов – плоские и фокусирующие (трубчатые). В плоских коллекторах солнечная энергия поглощается без концентрации, а в фокусирующих – с концентрацией, т.е. с увеличением плотности поступающего потока радиации.

Существует два типа вакуумированных солнечных коллекторов: прямоточные и с тепловой трубкой (Heatpipe). Работа высокотехнологичных вакуумных трубок основана на простом принципе тепловой трубы, которая представляет собой полый медный стержень, запаянный с обоих концов с расширением в верхней части. Внутри него находится нетоксичная жидкость. При нагревании жидкости выше температуры кипения она закипает и в парообразном состоянии поднимается в верхнюю часть – наконечник, температура на котором может достигать 250-300 °С. И там конденсируется, отдавая тепло. А конденсат стекает по стенкам трубки вниз и процесс повторяется.

Для повышения эффективности вакуумированных коллекторов используются селективные покрытия, отражатели и т.д. На внутреннюю поверхность верхней части стеклянной оболочки наносят покрытие, например из диоксида индия, обладающее хорошей отражательной способностью для теплового (инфракрасного) излучения и не влияющее на коэффициент пропускания коротковолнового солнечного излучения.

Решающим фактором для выбора типа коллектора является ожидаемая разность температур ( $\Delta T$ ) между температурой коллектора и температурой наружного воздуха.

Был проведен сравнительный анализ вакуумного и плоского коллектора для подогрева воды на горячее водоснабжение жилого дома, расположенного в Донецке на широте 48° с. ш.

Для условий Донецка вакуумные коллекторы предпочтительнее из-за более высокого КПД (вакуумный – 90%, плоский – 71%), а также из-за его способности улавливать инфракрасное излучения, т.е. он работает даже при пасмурной погоде.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

## КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Онуфриева О.С. (ТП-08), Кононенко Е.Ю. (ТЭС-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Контроль потребителем за работой теплоснабжающих организаций является важным инструментом по рационализации потребления тепловой энергии. То есть, требуется корректировка уровня оплаты за предоставляемые услуги по теплоснабжению в зависимости от фактического режима потребления.

Рассмотрим данную ситуацию на примере отопительной котельной с двумя котлами ТВГ-8м, теплопроизводительностью по 8 Гкал/ч. Схема подключения потребителей к тепловым сетям – элеваторная (температурный график работы котельной 130/70°C, внутренней системы отопления здания – 95/70°C).

Для определения фактического режима работы котельной были проведены инструментальные измерения температур радиаторов в здании (см. рисунок), которое находится в 145 м от котельной. Также исходя из расчетных параметров для системы отопления г. Донецка (расчетная температура наружного воздуха «-23°C», средняя расчетная температура за отопительный период «-1,8°C») были определены расчетные температуры в подающем и обратном трубопроводе (см. рисунок).

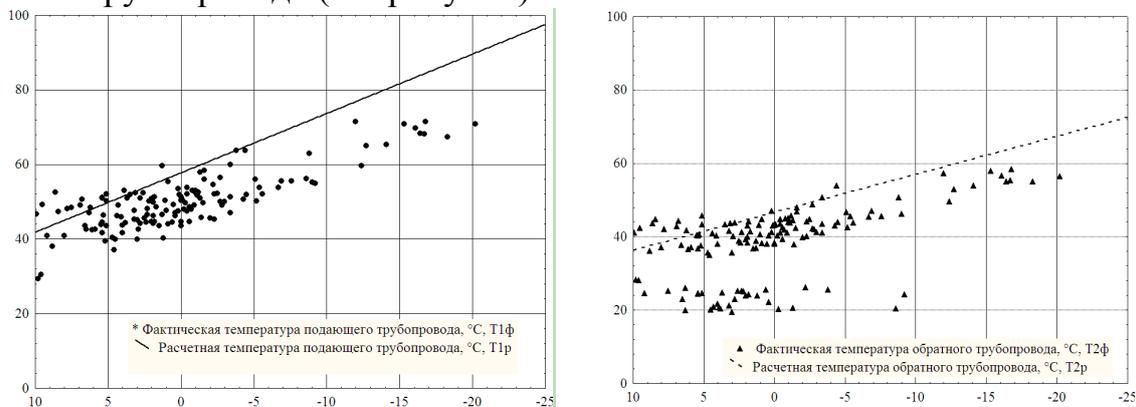


Рисунок – Сопоставление расчетных и фактических температур в подающем и обратном трубопроводе от температуры наружного воздуха

Используя из сопоставления данных следует отметить перерасход тепла («перетоп» в осенне-весенний период) в диапазоне температур от 3 до 10°C и недоотпуск тепла, приводящих к снижению санитарно-гигиенических норм в помещении при температурах ниже +3°C (особенно в зоне низких температур от «-15°C» до «-25°C»). Приведенные данные дают основание для корректировки режима работы котельной и перерасчета оплаты за потребленную тепловую энергию.

\* Руководитель – ассистент кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПРИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

Пожидаев А.В. (ЭНМ-11М)\*

Донецкий национальный технический университет

Проводя энергетическое обследование абонентов в системе ЦТС, необходимо обращать внимание на распределение тепловых потоков объекта.

Основное тепло внутри помещения, как правило, абоненты получают от различных типов отопительных приборов, в том числе и радиаторов.

Поскольку сравнение экспериментально полученных справочных значений по распределению температур в помещении не позволяет получить полную картину взаимодействия и взаимного влияния конвективных тепловых потоков как то: обусловленных тепловым излучением с поверхности радиаторов и взаимным расположением входного и выходного вентиляционных отверстий в помещении, – то встает вопрос об их оценке расчетными методами с использованием систем визуального программирования.

В качестве известной модели помещения рассматривается геометрическая система, состоящая из окна, расположенного под ним радиатора отопления, входного и выходного вентиляционных отверстий и системы «теплый пол».

Для того, чтобы создать математическую модель данного помещения, необходимо построить его геометрию, создать расчетную сетку и перейти к гидродинамическому решателю ANSYS Fluid Flow FLUENT для возможности расчета теплового состояния помещения.

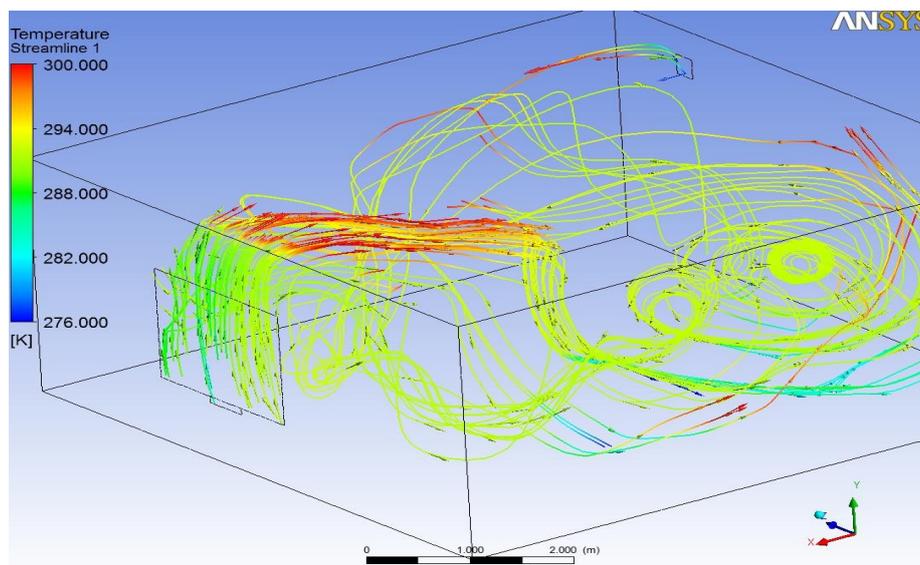
Моделирование потоков проводится с использованием К-е модели турбулентности, а учёт радиационного теплообмена - с помощью модели Discrete Ordinate.

В процессе расчета отслеживается среднеобъемная температура области решения с выводом на экран каждой итерации. После инициализации решения результаты моделирования можно представить в графической форме.

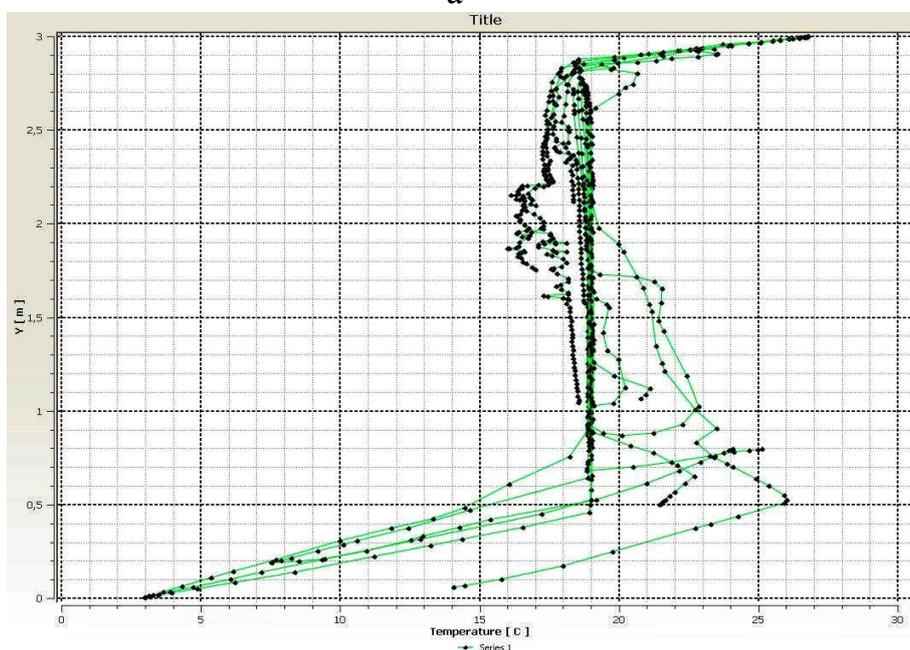
На рисунке представлено визуальное распределение температурных полей (а) и видна четкая стратификация поля температур по высоте помещения (б). Горячий воздух от радиатора поднимается вверх, холодный воздух от вентиляции и опускающийся поток у окна идут вдоль стены и накапливаются вдоль нижней части области решения, что соответствует реальным физическим процессам.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.



а



б

Рисунок – Визуальное распределение температурных полей (а) и стратификация поля температур по высоте помещения (б)

Таким образом использование данной модели позволит ускорить анализ полученных данных. При построении математической модели стало возможным сделать прогноз распределения тепловых потоков на исследуемом объекте, распределение температур, давлений и скоростей нагреваемого воздуха в помещении. Все эти данные позволяют определить тепловые потери и соответствие параметров данного объекта условиям климатического комфорта, а также выбрать оптимальную тепловую нагрузку на основе анализа закономерностей тепловых потоков в помещении и составить ожидаемый прогноз нерациональных потерь тепла в помещении.

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Васильев В.В. (ТП 08)\*

Донецкий Национальный Технический Университет

Под термином «теплоснабжение» понимают снабжение систем отопления здания горячей водой либо паром. Наиболее распространенным источником теплоснабжения являются ТЭЦ и котельные. Основным критерием качества теплоснабжения является обеспечение комфортных условий проживания, а также условий, обеспечивающих оптимальную продуктивность работы, если это офис, производственное помещение или склад.

Существует два вида теплоснабжения зданий: централизованное и местное (снабжение теплом одного или нескольких зданий). Источниками местного теплоснабжения являются печи, котлы, водонагреватели. При централизованном теплоснабжении снабжаются отдельные районы (промышленные или жилые). Работа системы централизованного теплоснабжения состоит из трех взаимосвязанных и последовательно протекающих стадий: подготовки, транспортировки и использования теплоносителя. В соответствии с этими стадиями каждая система состоит из трех основных звеньев: источника теплоты (например, теплоэлектроцентрали или котельной), тепловых сетей (теплопроводов) и потребителей теплоты.

Украина относится к странам с высоким уровнем централизации теплоснабжения. Энергетическое, экологическое и техническое преимущество централизованного теплоснабжения над автономным (снижение расходов топлива, сокращение затрат, использование низкосортного топлива, улучшение санитарного состояния жилых районов) в условиях монополии государственной собственности до недавних пор считалось априорным. Автономное и индивидуальное теплоснабжение отдельных домов было выведено за рамки энергетики и развивалось по остаточному принципу.

В системе централизованного теплоснабжения гармонизировать режимы производства тепловой и электрической энергии с режимами их потребления удается далеко не всегда. Тем не менее, высокий уровень большой энергетики предопределил «технологическую независимость» и даже определенный экспортный потенциал страны, чего нельзя сказать о малой теплоэнергетике. Низкие цены на топливные ресурсы, экономически не обоснованная цена тепловой энергии не способствовали развитию технологий «малого» котлостроения.

В децентрализованных системах теплоснабжения каждый потребитель имеет собственный источник теплоты. Такие современные системы теплоснабжения значительно экономят ресурсы, более удобны в эксплуатации, соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, менее габаритные и выглядят более эстетично.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ПАРОТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Угрюмов С.С. (ТЭС-08), Попова А. П. (ТЭС-11с)\*  
Донецкий национальный технический университет

Эффективность работы паровой турбины определяется коэффициентом полезного действия  $\eta_{oi}$  проточной части. Изменение КПД в процессе эксплуатации может достигнуть 1,5-3%, что приводит к уменьшению теплоперепада (см. рисунок) с  $H_0=1612,36$  кДж/кг до  $H_0'=1588,18 \div 1564,01$  кДж/кг (блок 200 МВт с турбиной К-200-130), а также перерасходу топлива.

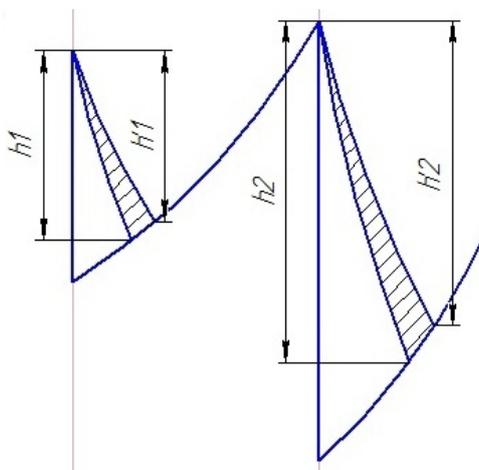


Рисунок – Изменение теплоперепада в паровой турбине при снижении КПД проточной части

Для определения характеристик и своевременного выявления дефектов турбина периодически подвергается плановым тепловым испытаниям с целью получения данных, необходимых для оценки текущего изменения экономичности турбины в процессе эксплуатации. Данные балансовые испытания требуют разгрузки блока и отключения его от сети на длительное время.

Для сокращения времени проведения балансовых испытаний, а следовательно и времени бесполезного отпуска энергии в сеть предлагается проведение экспресс - испытаний. Значительное сокращение времени, средств и трудозатрат на проведение экспресс – испытаний по сравнению с балансовыми достигается за счет того, что анализ состояния основных узлов производится главным образом по сравнительным показателям; узлы турбины испытываются отдельно.

Следовательно, периодическое проведение экспресс – испытаний позволяет эксплуатировать турбоустановку К-200-130 при наиболее выгодных режимах. Т.к. блок 200 МВт работает в базовом режиме, то при работе 5000 ч/год, сокращение потребления топлива составит 2,7%.

\* Руководитель – к.н.т., доцент кафедры ПТ Попов А.Л.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ БЛОКА 200 МВт ЛУГАНСКОЙ ТЭС

Литвиненко А.В., Мершевой А.И. (ТЭС-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Сжигание угля ухудшенного качества на блоках 200 МВт Луганской ТЭС приводит: к шлакованию поверхностей нагрева котлов при максимальных нагрузках; ограничению производительности пылесистем; золовому износу поверхностей нагрева и др.

В рамках работ по анализу возможности рационального использования углей ухудшенного качества, нами было проведено документальное обследование экологической и экономической эффективности режима работы блока 200 МВт Луганской ТЭС при использовании углей ухудшенного качества на основе опытов по определению возможности увеличения нагрузки котла выше 175 МВт, которые проводились в несколько этапов.

Результаты расчётов (см. рисунок) показали максимальную эффективность при работе блока на нагрузках 180, 190, 200 МВт; топливо АШ, смесь АШ и Т в соотношении 50:50; тонина помола 5-7% по остатку носителя  $R_{90}$ . Пыль по горелкам распределяется равномерно при контроле по степени загрузки и температуре по аэросмеси. Текущая мощность блока 175 МВт.

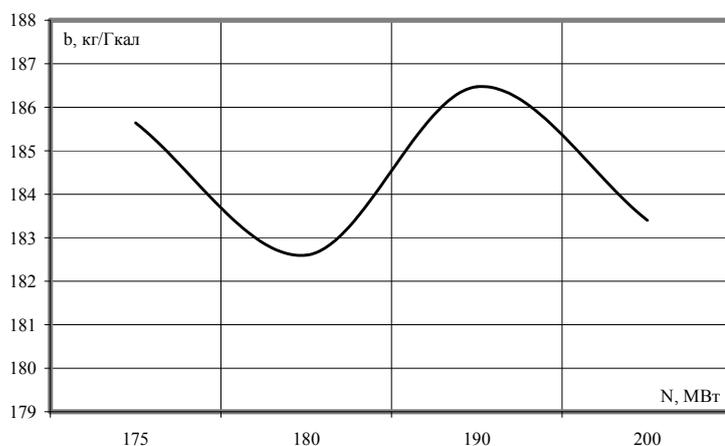


Рисунок – Зависимость удельного расхода топлива от нагрузки блока

Анализ показал, что минимальный удельный расход топлива 182,6 кг/Гкал получен при нагрузке 180 МВт, то есть мероприятие по повышению электрической мощности экономически целесообразно. Допускается работа на нагрузке 200 МВт, так как происходит понижение удельного расхода топлива на 2,24 кг/Гкал, при годовой выработке 19649 т/год и при средней стоимости угля 646,28 грн/т, экономия составляет 12,7 млн.грн., снижение вредных выбросов на 1,2 %.

\* Руководитель – к.н.т., доцент кафедры ПТ Попов А.Л.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОАУДИТА В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ НАД ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ МИКРОРАЙОНА ШИРОКИЙ

Наумова К.И., Шмелёва Ю.В., Наконечная М.С. (ЭНМ-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Авторами проведено документальное обследование котельной микрорайона Широкий Кировского теплового района ККП «Донецкгортеплосеть» по материалам эколого-теплотехнических испытаний котлов, проведённых в соответствии с методикой по организации испытаний и измерений, согласованной с территориальным управлением Госнадзорохрантруда Украины по Донецкой области, территориальным управлением Государственной инспекции по энергосбережению по Донецкой области, Государственным управлением экологии и природных ресурсов в Донецкой области. Также разработаны мероприятия для снижения расходов ТЭР путём обеспечения минимальных удельных расходов топлива, приводящих к уменьшению вредных выбросов в атмосферу.

Котельная, в которой установлено три водогрейных котла типа КВГ-6,5, обеспечивает теплом жилые и административные здания. В качестве топлива используется природный газ. Испытания котлов проводились при различных давлениях на горелках.

Анализ полученных данных показал, что у каждого котла температура уходящих газов находится в пределах допустимых значений; концентрация оксидов азота и оксидов углерода при  $\alpha=1$  на всех нагрузках не превышает ПДК равное  $220 \text{ мг/м}^3$  и  $130 \text{ мг/м}^3$  соответственно. Нами были выявлены оптимальные режимы работы котлов. Для котла №1 оптимальным режимом работы является работа при давлении  $600 \text{ кгс/м}^2$ , котла №2 – при  $700 \text{ кгс/м}^2$ , котла №3 - при  $600 \text{ кгс/м}^2$ . Дальнейшие испытания котлов были прекращены в связи с тем, что технические характеристики установленных вентиляторов не соответствуют проектным характеристикам.

В связи с полученными данными нами были выдвинуты рекомендации: произвести замену вентиляторов ВДН-9У на вентиляторы ВДН-9; соотношение «газ-воздух» держать согласно режимных карт и графиков; в процессе эксплуатации следить за состоянием обмуровки котлов, устраняя появившиеся неплотности и трещины; периодически производить чистку огневых отверстий горелок, контролировать исправность футеровки; в соответствии с инструкцией производить контроль над СО в уходящих газах индикаторными трубками.

Для повышения эффективности работы котельной микрорайона Широкий Кировского теплового района ККП «Донецкгортеплосеть» предлагаем проводить один раз в год энергетический аудит и использовать его результат как инструмент контроля над эффективностью работы предприятия.

---

\*Руководитель - к.т.н., доцент кафедры ПТ Попов А.Л.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПОДАЧИ ПЫЛИ К ГОРЕЛОЧНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Олефиренко М.С. (ТЭС-08), Безбородов Д.Л.\*  
Донецкий национальный технический университет

Луганская ТЭС мощностью 1425 МВт оборудована блоками 200 МВт на базе котлов ТП-100, в состав которых входят индивидуальные системы пылеприготовления с промежуточным бункером пыли. Надежность и экономичность работы котельных агрегатов с системами пылеприготовления с промежуточным бункером пыли во многом зависит от надежности и равномерности подачи пыли к горелочным аппаратам и далее в топку котла.

Предлагаем способ подачи пыли к горелкам котла при ее высокой концентрации в транспортирующем агенте. Сущность этого способа состоит в том, что пыль к горелкам подается не первичным воздухом, а сжатым воздухом от воздуходувки (воздушный осевой компрессор) по трубопроводам малого диаметра. Внедрение в эксплуатацию систем ППВК и АПП позволяет уменьшить металлоемкость системы пылеподачи и трудоемкость ремонта.

Ввод высококонцентрированного потока пыли осуществляется в существующий пылепровод непосредственно перед улиткой первичного воздуха горелки. В горелке происходит активное перемешивание пыли с первичным воздухом, закрутка потока. В результате увеличения турбулизации потока повышается время пребывания топлива в факеле, и увеличивается качество его сгорания. В результате механический унос ( $q_4$ ) снижается, и повышается КПД котла. Внедрение систем ППВК с АПП предлагается на котлах блоков № 9, 10, 11, 14, 15 с дальнейшей модернизацией систем пылеподачи на остальных блоках.

Для обеспечения работы системы пылеприготовления на отм. 0,0 м котлоагрегатов 4 турбокомпрессора (ВД-1, 2, 3, 4), выдачи которых должны быть соединены с общим цеховым коллектором, проложенным по ряду "В" отм. 21 м. От общего цехового коллектора на каждом из модернизированных котлов ответвляется по 2 коллектора: на аэрацию пыли и на транспорт пыли в пылепроводах высокой концентрации. Для обеспечения беспомпажного режима работы воздуходувок при недостаточном расходе воздуха из общего цехового коллектора врезается разгрузочный выхлоп в атмосферу.

В качестве воздуходувок для обеспечения системы ППВК с АПП сжатым воздухом в КТЦ ЛТЭС требуются воздушные турбокомпрессоры ТВ-80-1,8 (ВД 1чб). Потребляемая мощность  $N = 110-190$  кВт. Рабочий диапазон напора  $P=0,7-0,8$  кгс/см<sup>2</sup>. Рабочий диапазон производительности  $G=3500-8000$  м<sup>3</sup>/час.

Ожидаемое повышение КПД котла составляет 0,03%, снижение расхода топлива на 0,12%, а удельных выбросов вредных веществ на 0,115%.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

## ВНЕДЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЕТСКИХ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Панченко Я.С., Силка Т.С. (ТП-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Проблема надежного энергоснабжения детских дошкольных учреждений является очень актуальной в связи с участвовавшими перебоями в работе систем тепло- и электроснабжения. Решением данной проблемы может быть только применение современных энергетических систем, использующих различные виды энергии (энергия топлива, электрическая энергия и др.)

На примере системы теплоснабжения детского сада «Колосок» в г. Торезе рассмотрен вопрос реконструкции физически и морально устаревшего источника теплоснабжения – каркасной печи ПТК-300. Имеющееся оборудование не позволяет соблюдать санитарно-гигиенические нормы внутри помещений в холодное время года.

Для определения целесообразности реконструкции было проведено энергетическое обследование котельной и системы теплоснабжения детского сада, который расположен в двухэтажном здании высотой 6,12 м и площадью 1,02 тыс. м<sup>2</sup>. Угольная котельная расположена в кочегарке объёмом 30 м<sup>3</sup>. Кладка стен выполнена из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-шлаковом растворе  $\rho_{\text{кл}}=1200$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_{\text{кл}}=0,58$  Вт/(м·°С). Засыпка - щебень из доменного шлака  $\rho_{\text{шл}}=800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_{\text{шл}}=0,26$  Вт/(м·°С).

Обследование каркасной печи показало, что данная печь работает на твердом топливе и требуется ее срочная модернизация (или замена) для уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу. Также требуется разработка мероприятий, которые бы позволили полностью устранить химический и механический недожог угля, так как он может привести к выбросу угарного газа.

Решением данных экологических проблем является предложение о строительстве блочной котельной, работающей на природном газе (резервное топливо - жидкое), а для покрытия нужд в горячей воде предлагается установка воздушного теплового насоса.

Работа на газообразном топливе повысит общий КПД котельной до 93-94,5%, полностью устранив выбросы серы и механический унос в виде золы, сажи кусочков несгоревшего топлива.

Достоинства предлагаемой компоновки следующие: повышение качества отопления, сокращение расходов на обслуживание котельной, наличие резервного топлива (применение многотопливного котла), возможность получения горячей воды без сжигания природных ресурсов.

Ну и самым главным плюсом является заметное снижение выбросов вредных оксидов в атмосферу и на территорию, где находятся маленькие дети.

---

\* Руководитель – к.н.т., доцент кафедры ПТ Сафонова Е.К.

# МОДЕЛЬ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Качковский А.Д., Буслов И.В. (ТП-11м)\*  
Донецкий национальный технический университет

Развитие техники на современном этапе характеризуется повсеместной интенсификацией процессов, протекающих в различных установках и аппаратах, что требует усовершенствования и создания качественно новых конструкций для обеспечения высоких физико-технических характеристик. Это относится и к теплообменным установкам, наиболее распространенными среди которых являются металлургические печи. В связи с этим целью работы является анализ математической модели абсолютно черного тела и обоснование на этой основе эффективных методов расчёта радиационного теплообмена, обеспечивающих дополнительные возможности для повышения эффективности установки в целом.

В термодинамике применяется физическая идеализация — абсолютно чёрное тело. Спектральная характеристика абсолютно черного тела соответствует максимально возможному тепловому излучению при данной температуре.

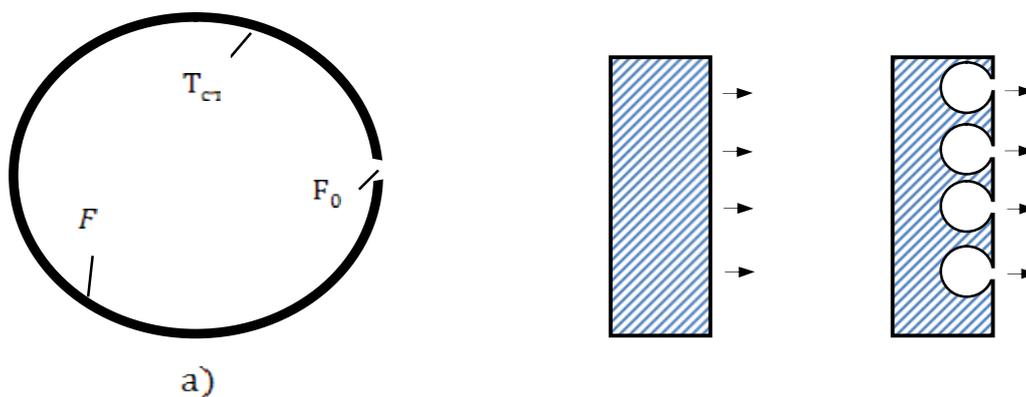


Рисунок 1

Модель абсолютно черного тела можно представить в виде замкнутой полости. Если в такой полости проделать отверстие, площадь которого  $F_0$  много меньше площади стенок полости  $F$ , то выход энергии излучения из отверстия будет отвечать тепловому излучению абсолютно черного тела при температуре стенок и соответственно интенсивность излучения из такой полости будет выше. Схема модели изображена на рис. 1 (схема а).

Рассмотрим плоскую вертикальную поверхность, в которой будут проделано множество отверстий шарообразной формы на рис. 1 (схема в). Для определения интенсивности излучения такой поверхности сначала необходимо

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Пятыйшкин Г.Г

найти результирующий тепловой поток на выходе из отверстия шара. Для этого шар представим в виде двенадцатиугольника, схема приведена на рисунке 2:

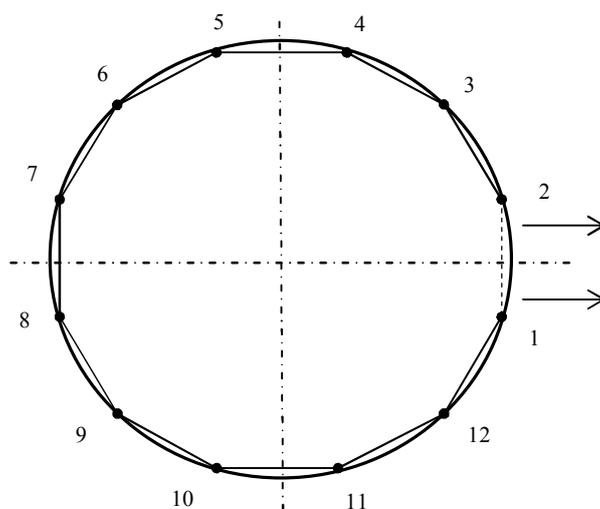


Рисунок 2 – Модель расположения внутренних поверхностей шара

Поверхности двенадцатиугольника имеют одинаковую температуру  $T$ , степень черноты  $\varepsilon$ . Необходимо определить результирующий тепловой поток который выходит из отверстия 1-2, которое имеет температуру воздуха  $T_{\text{в}}$ .

1) Находим значения всех угловых коэффициентов  $\varphi_{(i,j)}$ , методом натянутых нитей, получаем матрицу значений размерностью 12x12.

2) Составляем матрицу  $A[1..12,1..12]$ , значение диагональных элементов:

$$A[i,j] = 1 - \varphi_{(i,j)} + \frac{\varepsilon_i}{1 - \varepsilon_i}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$ -степень черноты  $i$ -го тела.

Значение остальных элементов определяем по формуле:

$$A[i,j] = -\varphi_{(i,j)}, \quad (2)$$

3) Составляем столбец величин  $B[1..12]$ :

$$B[i] = \frac{\varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4}{(1 - \varepsilon)}, \quad (3)$$

где  $\sigma_0$ - постоянная Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-8}$ ;

4) Находим значения эффективных потоков излучения  $E_{\text{эф}}$ , решая систему уравнений  $A[i,j] \cdot E_{\text{эф}}[j] = B[i]$ . методом Гаусса.

5) Находим результирующий поток к  $i$ -ой поверхности по формуле:

$$E_{\text{рез}}[i] = E_{\text{эф}}[i] - \sum_{j=1}^n \varphi_{(i,j)} E_{\text{эф}}[j]. \quad (4)$$

Сопоставляя значение результирующего потока  $E_{\text{рез}}$  для площадки 1-2 и потока, испускаемого пластиной аналогичной длины, температуры и степени черноты, как у внутренней поверхности шара, можно сделать вывод, что предложенная конфигурация позволяет увеличить общий результирующий тепловой поток и интенсифицировать теплообмен излучением в целом.

## СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Буслов И.В. (ТП – 11М) \*

Донецкий национальный технический университет

Гидравлическим ударом называют резкое изменение давления потока жидкости, связанное с изменением скорости этого потока за короткий промежуток времени. Как правило это явление случается при резком открытии или закрытии задвижки. Гидроудар при открытии задвижки называется отрицательным, при закрытии же задвижки возникает положительный, он наиболее опасен. Такой вид гидравлического удара приводит к трещинам в трубах, а порой к их разрыву, а также к поломке оборудования: насосов, фильтров, теплообменников.

Существует ряд способов избежать гидроудара, таковыми являются: обратные клапаны, позволяющие двигаться среде только в одном направлении, увеличение диаметра трубы и уменьшение скорости потока в трубе. Также не маловажную роль играет эластичность труб, если они могут деформироваться под нагрузкой. Но не стоит забывать что все эти факторы не уменьшают силу гидроудара эти мероприятия лишь растягивают этот процесс, тем самым уменьшая его мощность, а значит и воздействующее давление на стенки трубы. А одним из важнейших пунктов при избегании гидравлического удара является плавное перекрытие потока.

Что бы понять свойства гидравлического удара необходимо проанализировать зависимости его параметров через расчетные формулы.

Повышение давления рассчитывается по формуле,

$$\Delta P_{уд} = \rho \cdot \Delta v \cdot c \quad (1)$$

где  $\Delta P_{уд}$  – изменение давления,  $\rho$  – плотность жидкости,  $\Delta v$  – изменение скорости потока,  $c$  – скорость распространения ударной волны

Посмотрев данную формулу можно заметить что гидроудар не зависит от начального давления потока в трубе и зависит только от изменения скорости этого потока и скорости распределения ударной волны.

$$c = 1 / \sqrt{(\rho \cdot \beta + 2 \cdot \rho \cdot r / (\delta \cdot E))} \quad (2)$$

где  $\beta$  – сжимаемость жидкости,  $r$  – внутренний радиус трубы,  $\delta$  – толщина стенок трубы,  $E$  – модуль упругости материала трубы (модуль Юнга).

По данной формуле становится понятно что скорость распространения ударной волны зависит от параметров и материала самой трубы и от сжимаемости среды. Но для воды на первый план выходят параметры трубы, в силу очень малой величины коэффициента сжимаемости.

С увеличением размеров трубы сила гидроудара значительно возрастает, причём для одного и того же давления у входа в трубу этот рост обычно круче линейной зависимости.

---

\* Руководитель – к.т.н., профессор кафедры ПТ Пяташкин Г. Г.

$$t_{сз} = 2 \cdot L / c \quad (3)$$

где  $L$  - длина трубы от входа до заглушки

Дело в том, что энергия гидроудара определяется его длительностью (рассчитывается по формуле 3), зависящей от длины и жёсткости трубы, и мощностью, которая прямо зависит от скачка давления, в свою очередь линейно зависимо от скорости потока в момент остановки. Поэтому при той же скорости потока скачок давления будет тем же, но длительность гидроудара, а значит и его общая энергия, возрастут в соответствии с увеличением длины трубы.

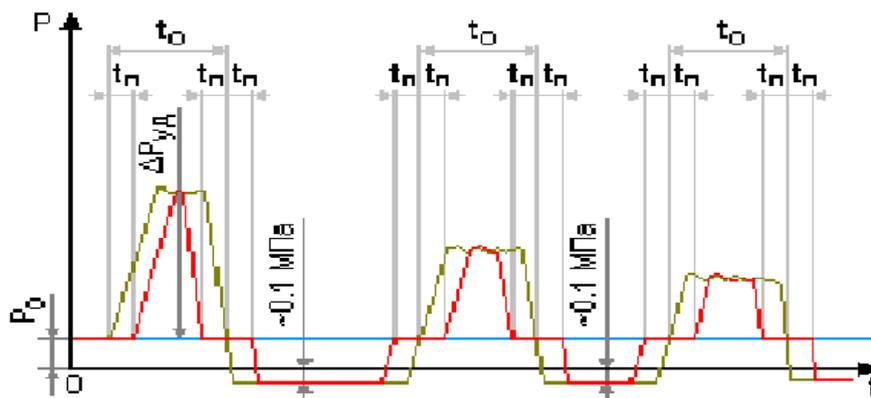


Рисунок - Изменение давления со временем при гидроударе. При сильном ударе (с отрывом жидкости от заглушки), Красным показано изменение давления в середине трубы, жёлто-серым — возле заглушки; синяя линия показывает уровень исходного давления (до начала гидроудара).  $P_0$  — давление свободной среды возле входа в трубу;  $\Delta P_{уд}$  — максимальное повышение давления при гидроударе;  $t_0$  — длительность этапа при слабом гидроударе;  $t_п$  — длительность «полочки» (стадии нормального давления).

В результате при одном и том же внешнем давлении мы получаем сильный гидроудар в большой трубе и слабый в маленькой. При этом слишком большое удлинение трубы без увеличения её диаметра также ослабит гидроудар за счёт того, что возрастающее гидравлическое сопротивление снизит скорость потока к моменту остановки.

Отсюда следует вывод, что имеется некоторая оптимальная длина трубопровода, при которой гидроудар имеет максимальную силу. При меньшей длине поток не успевает разогнаться до максимальной скорости либо длительность гидроудара получается слишком маленькой. У большого потока гидравлическое трение отбирает слишком много энергии у движущейся среды, снижая ее скорость до безопасных величин. Кроме того, если при увеличении диаметра трубы толщина её стенок не увеличится, то жёсткость, а следовательно, скорость ударной волны и скачок давления при гидроударе снижаются. Правда, на столько же возрастает его длительность, так что общую энергию гидроудара снижение толщины стенок не уменьшает, а вот шансы разрыва трубы увеличиваются!

## МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА АКХЗ ПУТЕМ СИНТЕЗА УГЛЕВОДОРОДОВ

Остапенко М.Н., Голдынский Г.А. (ТЭС-11м)\*  
Донецкий национальный технический университет

«Авдеевский коксохимический завод» - крупнейшее коксохимическое предприятие в Украине, а также крупнейшее предприятие коксохимической отрасли в Европе. Построено в 1960—1963 годах для обеспечения мариупольских металлургических заводов, преимущественно завода имени Ильича коксом высокого качества. На заводе выпускается более 30 видов продукции, основная из которых - кокс для металлургии. На долю АКХЗ приходится до 20% валового выпуска доменного кокса в стране.

В связи с производством кокса, на Авдеевском коксохимическом заводе присутствуют избытки косового газа. На заводе этот газ применяют для получения электроэнергии и технологического пара. Предлагается использовать коксовый газ для получения жидкого топлива. Это возможно путем синтеза окиси углерода и водорода в присутствии катализаторов при атмосферном давлении. Из окиси углерода и водорода в промышленных масштабах можно производить бензин, дизельное топливо и тд.

Процесс синтеза углеводородов при атмосферном давлении довольно прост. Суть процесса сводится к тому, что очищенная от сернистых соединений смесь окиси углерода и водорода пропускается над катализатором, а полученные жидкие и газообразные продукты охлаждаются и улавливаются. В зависимости от применяемых катализаторов синтез протекает при температуре от 170°C до 250°C. Применять можно никелевые и кобальтовые катализаторы. При синтезе на этих катализаторах в случае применения газовой смеси содержащей окись углерода и водород, в стехиометрическом соотношении, контракция равна степени превращения окиси углерода и прямо связана с выходом углеводородов в г/нм<sup>3</sup> исходного газа.

Основным исходным веществом для синтеза является окись углерода, так как взаимодействие её с другими простыми или сложными веществами при соответствующих катализаторах и условиях процесса позволяет получать различные органические продукты. Окись углерода находится в коксовом газе (3-12%). Коксовый газ очищают от двуокиси углерода и других примесей, затем собирается в газометр. А для производства водорода устанавливают водородный генератор. Водородный генератор работает по принципу процесса электролиза. Электролиз – это процесс протекающий на электродах при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов. Водородные генератор может быть выполнен в виде емкости которая разделена мембраной. С одной стороны мембраны установлен катод, а с другой анод. При подаче напряжения со стороны катода выделяется водород,

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

соответственно со стороны анода – кислород. Одной из проблем при производстве жидкого топлива, таким способом является высокое потребление воды, уровень которого составляет 18-32 литра на каждый литр полученного топлива.

Подводя итоги можно сказать, что если синтез углеводородов на никелевых либо кобальтовых катализаторах при температуре 170-250°C, давлении 0,1-1,5 МПа и соотношении окиси углерода к водороду около 1/1-1/2, выход углеводородов в этом случае составляет 100 – 180мл на 1м<sup>3</sup> исходной газовой смеси.

При применении такого способа получения жидкого топлива Авдеевский коксохимический завод сможет решить задачу использования избытка коксового газа, а также возможна продажа жидкого топлива или использование его в собственных нуждах.

Очевидно, что синтез окиси углерода и водорода представляет громадный теоретический и практический интерес, так как позволит из двух простейших веществ, да ещё получаемых из любых видов горючего, синтезировать различные ценнейшие органические вещества.

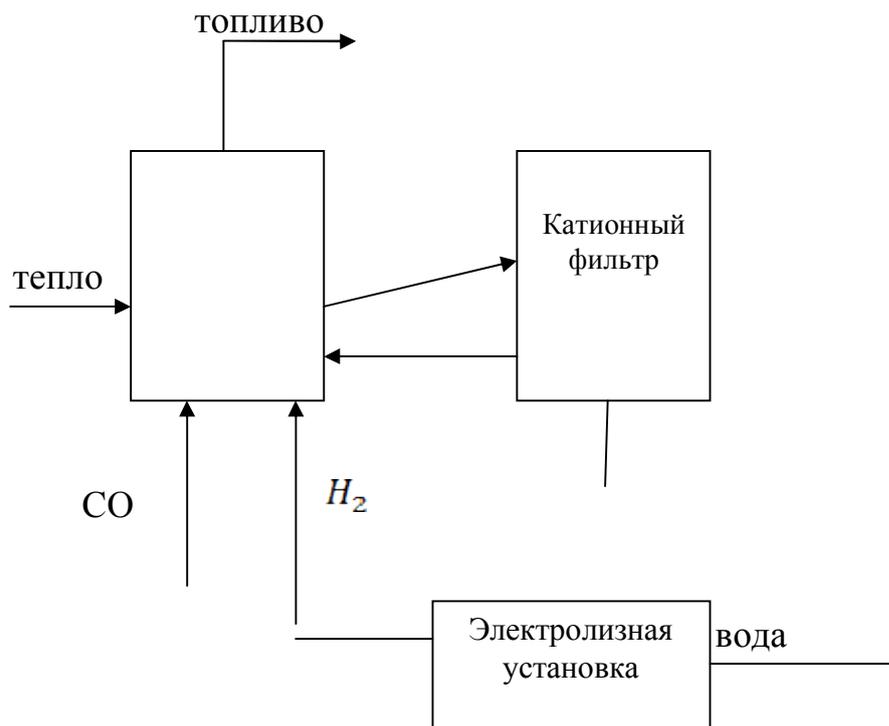


Рисунок – Приблизительная схема производства жидкого топлива.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Разумов М.И. (ТП-08)\*

Донецкий национальный технический университет

Для улучшения эффективности работы теплообменных аппаратов (ТА) используют различные методы интенсификации теплообмена:

- интенсификация конвективного теплообмена в однофазной среде вибрацией поверхности;
- вибрация жидкости;
- воздействие на поток турбулизующими вставками;
- механическое воздействие на поток путем перемешивания жидкости или вращения поверхности теплообмена;
- увеличение площади поверхности теплообмена путем ее оребрения (развитые поверхности);
- воздействие на теплоотдачу путем добавок в жидкость твердых частиц или газовых пузырьков;
- интенсификация теплоотдачи кипением при вынужденном движении;
- конденсация пара в каналах в условиях вынужденного движения;

Также для оценки путей повышения эффективности теплообменных аппаратов целесообразно использовать методы эксергетического анализа.

Суммарные эксергетические потери в большей степени характеризуют степень совершенства теплообменного аппарата и его место в технологической схеме. Эксергетические потери в любом теплообменном аппарате определяются следующими факторами:

- наличием конечной разности температур между теплоносителями;
- падением давления теплоносителей, включая затраты мощности на привод насосов на прокачку теплоносителей;
- рассеиванием теплоты в окружающую среду;

Эксергетический баланс теплообменного аппарата можно представить в следующем виде:

$$\Sigma E_2 = \Sigma E_1 - \Sigma П, \quad (1)$$

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пархоменко Д.И.

где  $\Sigma E_1, \Sigma E_2$  – сумма потоков эксергий теплоносителей на входе и на выходе из аппарата;  $\Sigma П$  — сумма эксергетических потерь в теплообменном аппарате, кВт.

Основную долю эксергетических потерь ТА составляют собственные и технические потери. Собственные потери зависят от разности средних температур теплоносителей, а технические потери характеризуются недогревом воды до температуры насыщения греющего пара.

Для оценки возможности интенсификации теплообмена в ТА, необходимо разделить технические потери при теплообмене на составляющие:

- с водяной стороны;
- с паровой стороны;
- в стенках теплообменных трубок;

Технические потери характеризуются недогревом воды до температуры насыщения греющего пара или коэффициентом теплопередачи. Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется термическим сопротивлением теплопередачи и состоит из термических сопротивлений теплообмену с водяной и паровой стороны, а также термического сопротивления стенки трубки. Эксергетические потери в процессе теплопередачи обратно пропорциональны соответствующим термическим сопротивлениям. Исходя из свойств аддитивности эксергетических потерь и термических сопротивлений теплопередачи, можно записать:

$$P_{\Delta T(m)} = P_{\Delta T(an)} + P_{\Delta T(aw)} + P_{\Delta T(cm)}, \quad (2)$$

где  $P_{\Delta T(an)} = P_{\Delta T(m)} \cdot K / \alpha_n$  — потери при теплоотдаче с паровой стороны;

$P_{\Delta T(aw)} = P_{\Delta T(m)} \cdot K / \alpha_w$  — потери при теплоотдаче с водяной стороны;

$P_{\Delta T(cm)} = P_{\Delta T(m)} \cdot K / (d_{cm} / \lambda_{cm})$  — потери от теплопроводности в стенке (потери от теплопроводности вдоль стенки для ТА можно пренебречь).

Эксергетический метод оценки эффективности работы теплообменников позволяет оценить, какие параметры работы ТА можно, или необходимо улучшить с помощью различных способов интенсификации теплообмена, а также их комбинационного применения, что в свою очередь способствует повышению производительности теплообменных аппаратов и снижает потери.

## ОБРАБОТКА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТУ, С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Голдынский Г.А. (*ТЭС-11м*), Остапенко М.Н. (*ТЭС-11м*)\*  
Донецкий национальный технический университет

В настоящее время одним из важнейших вопросов является проблема экономии топлива. Так как мы практически не можем уменьшить потребности в энергии, получаемой при сжигании топлива, нам остается только разрабатывать новые способы более полного ее использования, либо исследовать и применять энергию альтернативных источников. Одним из наиболее перспективных способов является применение тепловых насосов.

Тепловой насос осуществляет передачу тепла от энергоносителя с низкой температурой к энергоносителю с более высокой температурой. Источниками низкопотенциального тепла для теплового насоса могут быть атмосферный воздух, солнечная энергия, поверхностные и грунтовые воды, отработанный воздух и т.д.

Себестоимость угля, добываемого на территории Украины, очень высока. В ее структуре заметную часть составляют затраты на работу шахтных систем вентиляции и кондиционирования. Это затраты на подогрев воздуха в зимний период а так же на работу систем кондиционирования. При этом возможности повышения эффективности систем подогрева и охлаждения шахтного воздуха традиционными методами исчерпаны. А также воздух, выходящий из шахт, имеет избыточную по отношению к окружающей среде тепловую энергию. Но эта энергия имеет слишком низкий потенциал для прямого теплообмена, с целью передачи тепла более холодной среде.

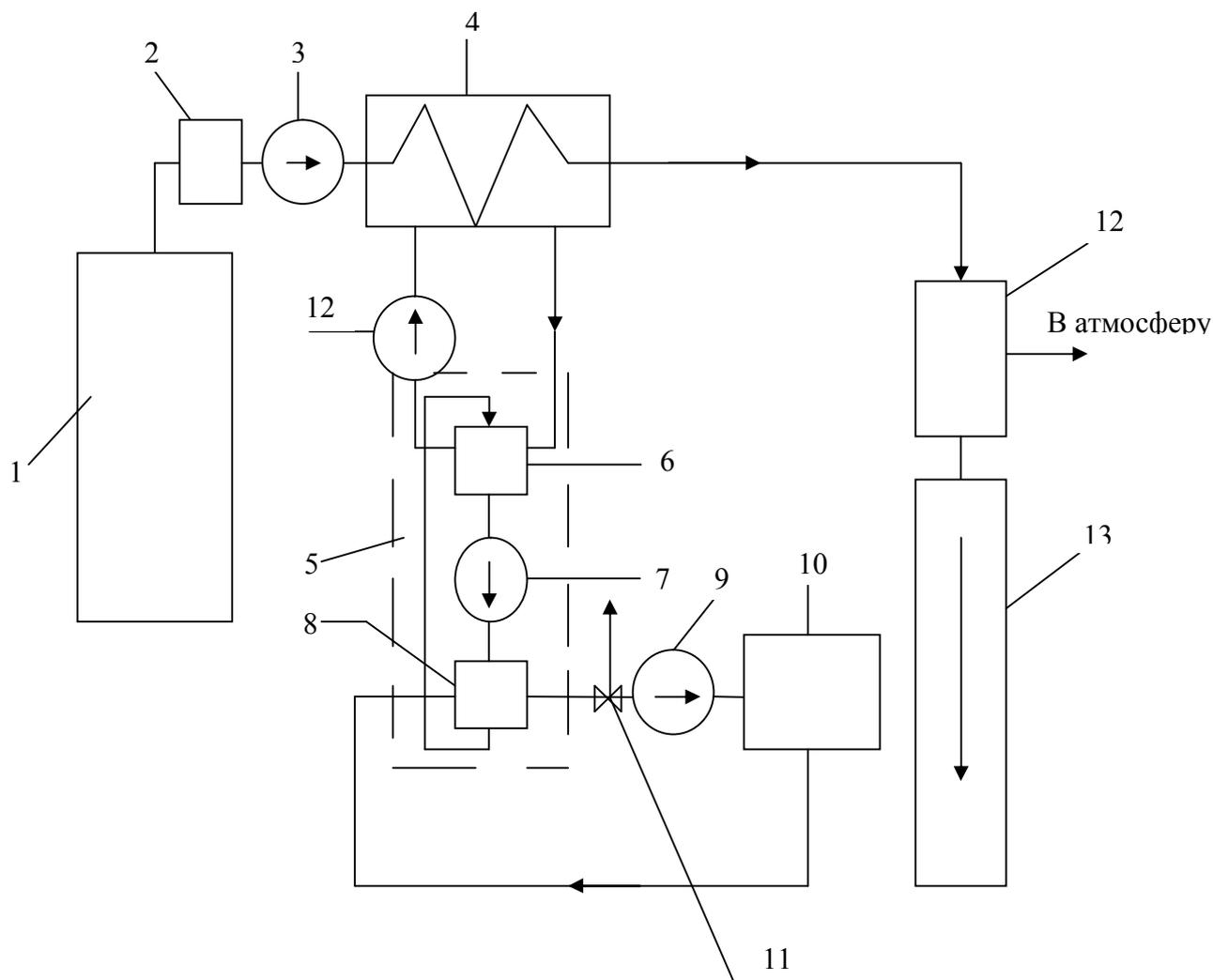
Использование теплового насоса в схеме отопления и кондиционирования воздуха в шахте позволяет использовать низкопотенциальное тепло выходящего из шахты воздуха либо на отопление и подогрев воздуха в холодный период, либо на кондиционирование в теплый период.

На рисунке представлена схема системы теплоснабжения и подогрева воздуха с тепловым насосом, на которой показано как воздух, выходящий из шахты, после очистки в фильтре, поступает в теплообменник I ступени, где отдает тепло рабочему телу. После этого он поступает в теплообменник II ступени, где отдает остаточное тепло, и направляется в воздухоподводящий ствол. В свою очередь, нагретое рабочее тело теплообменника I ступени

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Илющенко В.И.

нагревает хладагент теплового насоса, испаряет его, и возвращается обратно в теплообменник. Хладагент, после испарения, поступает в компрессор, а после него в конденсатор, где происходит, соответственно, конденсация, при которой выделяется энергия, ,значительно большая, чем затраченная на испарение. Эта энергия поступает на теплоснабжение промышленных зданий.



1-вентиляционный ствол; 2- фильтр; 3- вентилятор; 4- теплообменник I ступени; 5- тепловой насос; 6- испаритель ТН; 7- компрессор; 8-испаритель ТН; 9,12- насос; 10- промышленное здание(потребитель); 11 – сбросной клапан; 12- теплообменник II ступени; 13- воздухоподводящий ствол.

Рисунок – Схема системы теплоснабжения и подогрева воздуха с использованием теплового насоса.

Работа теплового насоса по обратному циклу позволит в летнее время охлаждать воздух в помещениях.

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ



## КОЛОКОЛЬНЫЙ ЗВОН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Каштальян Г.В. (ЭКМ-10)\*

Донецкий национальный технический университет

В последнее время для лечения разных психосоматических заболеваний широко используется колокольный звон.

Метод газоразрядной визуализации (ГРВ) представляет собой компьютерную регистрацию и анализ свечений, индуцированных биологическими объектами, при стимуляции их электромагнитным полем с усилением в газовом разряде. Проводилась отдельная регистрация и обработка ГРВ параметров 16 обследуемых (5 женщин и 11 мужчин, в возрасте от 21 до 78 лет) до и после акустических воздействий посредством плоских колоколов – бил. В результате анализа данных была выявлена тенденция возрастания параметров общей площади и симметрии энергетического поля (рисунок).

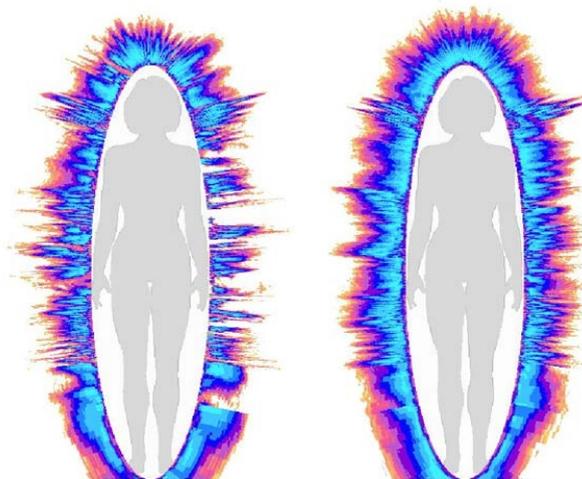


Рисунок – Энергетическое поле человека до и после воздействия колокольного звона слева направо соответственно

Наиболее благоприятное воздействие отмечалось на нейроэндокринную систему, Это происходит в первую очередь за счет активации системы гипоталамус - гипофиз - кора надпочечников, что в конечном итоге ведет к выбросу в кровь обилия разнообразных гормонов, в том числе кортикостероидов. Кортикостероиды в свою очередь влияют на все виды обмена веществ, сосудистый тонус, иммунитет и т.д., что является очень важным фактором для жизнеобеспечения человека в обычных условиях и условиях адаптации к различным стрессам.

Таким образом, с помощью ГРВ исследования удалось подтвердить благотворное воздействие колокольного звона на организм человека.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой РТП Кочура В.В.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПАТ «ДФДК»

Нікітіна Г.В. (ЕМК-11с)\*

Донецький національний технічний університет

В Україні видобуток вапняків і доломітів для металургійної промисловості здійснюється відкритим способом. Поклади таких копалин покриті м'якими розкривними породами: глинами, пісками, суглинками, супісками. В їх товщі часто зустрічаються шари з уламків міцних осадових порід - кременю, глинистого сланцю, вапняків, пісковиків та ін. Всі вказані розкривні породи, а також некондиційні корисні копалини є відходами підприємств з видобутку флюсів. Крім того, якщо до складу підприємства входять ділянки випалу вапняку і доломіту, як у випадку з ПАТ «ДФДК», то відходами виробництва є вапняно-вапнякова пил і відсів вапна і вапняку. Ці вторинні матеріали є цінною сировиною для будівельної промисловості, сільського господарства, при спеціальній підготовці вапновміщуючі відходи можуть бути утилізовані при виробництві агломерату.

Аналіз існуючої на ПАТ «ДФДК» системи поводження з відходами дозволив виявити певні недоліки. Це складування у відвалах таких відходів: розкривні породи чотирьох видобувних кар'єрів; відходи вапняку дробарно-збагачувальних фабрик (ДЗФ); відходи пилоподавлення на ДЗФ; вапняний шлам водопідготовчої установки; пил доломітний, що утворюється при випалюванні доломіту.

Для підвищення екологічної безпеки ПАТ «ДФДК» з урахуванням вимог стандартів ISO 14000 на підприємстві повинна бути впроваджена система управління відходами (СУВ), яка складається з: екологічної політики, цілей і задач управління відходами; процесів поводження з відходами і управління ними; маловідходних технологій і технологій переробки відходів; навчання персоналу; внутрішніх аудитів; моніторингу і вимірів відходів, які утворюються.

Для умов ПАТ «ДФДК» рекомендується процедура розробки і впровадження СУВ, що представляє собою послідовність дій, які включають три етапи:

1. Організаційно-інформаційний етап вміщує аналіз потоків відходів на підприємстві.

2. Аналітичний етап вміщує оцінку взаємин, які склалися між підприємствами і підрозділами з переробки відходів ПАТ «ДФДК», та пошук нових технологій, прийнятних для утилізації відходів.

3. На організаційно-економічному етапі удосконалюється схема організації робіт.

Створення СУВ на підприємстві дозволить отримати план конкретних заходів в сфері поводження з відходами, і сприятиме екологізації виробництва.

---

\* Керівник – асистент кафедри РТП Асламова Я.Ю.

# МІЖНАРОДНІ ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ ISO 14000 І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Сафонова М. Ю., Володіна М.С. (ЕМК-08)\*  
Донецький національний технічний університет

Освоєння мінеральних ресурсів є основою господарської діяльності людини. Металургійні комплекси, що займають провідні позиції на вітчизняному та світовому ринку, відрізняються колосальними обсягами природної сировини, яка переробляється, величезною енергоємністю і широким використанням високонебезпечних для людини і навколишнього середовища процесів. Все це зумовлює винятково високий техногенний тиск металургійних підприємств на навколишнє середовище, а також загострення проблем охорони здоров'я і життя людей.

Одним з рішень екологічних проблем для металургійних підприємств є розробка, впровадження та сертифікація системи управління навколишнім середовищем (СУНС) на відповідність вимогам міжнародних стандартів ISO серії 14000.

Основна вимога стандартів - не кількісні показники (обсяг викидів в атмосферу, скидів у водний басейн, обсяг утворення відходів, концентрації шкідливих речовин), не вимога використовувати певні технології, а власне робота системи управління навколишнім середовищем за встановленими в стандартах ISO 14001 позиціями.

Отже, на металургійних підприємствах повинні бути введені в дію системні процедури з управління впливом на навколишнє середовище, в яких розписаний порядок виконання робіт, визначені відповідальність і повноваження з екологічної діяльності виконавців. Крім того, необхідним є ідентифікація екологічних аспектів, які впливають на стан здоров'я персоналу і населення, а також здійснення оцінки екологічного ризику.

Переваги роботи даної системи очевидні:

- відповідність Державному законодавству і міжнародним вимогам;
- мінімізація (зменшення) впливу на навколишнє середовище;
- економія енергоресурсів, зниження споживання води, матеріалів;
- підвищення конкурентоспроможності та іміджу підприємства.

Крім того, системою стандартів ISO 14000 передбачається створення виробництв, яким повинні бути притаманні: безвідходність, екологічно сприятливі технології, безпека виробленої продукції та висока культура персоналу.

Для вітчизняних металургійних підприємств така сертифікація є неодмінною умовою маркетингу продукції на міжнародних ринках, оскільки ЄЕС оголосила про свій намір допускати на ринок країн Співдружності тільки ISO-сертифіковані компанії.

---

\* Керівник – асистент кафедри РТП Асламова Я.Ю.

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Шмелева Ю.В., Наумова К.И., Наконечная М.С. (ЭНМ-08)\*  
Донецкий национальный технический университет

Отопительная котельная «Кривоzubова» Кировского теплового района ККП «Донецкгортеплосеть», присоединенной нагрузкой 90 Гкал/ч оборудована 3-мя котлами ПТВМ-30м. Нами проанализирована работа котла в интервале нагрузок 27-35% при работе на 2-х горелках; в интервале 35-61% при работе котла на 4-х горелках; в интервале 55-82% при работе котла на 6-ти горелках. Базовая теплопроизводительность котла составляет 10,642 Гкал/ч, удельный расход топлива 124,5 м<sup>3</sup>/Гкал, температура уходящих газов 130°C.

Анализ показал, что наиболее эффективной является работа котла на 6-ти горелках, так как при этом его теплопроизводительность наивысшая и составляет 32,68 Гкал/ч, а КПД – 92%. Но в тоже время, при данном режиме работы наблюдается недопустимая температура уходящих газов равная 188°C – отклонение от нормы составляет 58°C. Снижение температуры уходящих газов приводит к уменьшению потерь тепла с химическим недожогом, т.е. уменьшаются вредные выбросы в атмосферу. Для снижения температуры уходящих газов, нами была предложена установка утилизатора тепла (рисунок) при условии, что при давлении газа перед горелками менее 750 кгс/м<sup>2</sup> (2 горелки) утилизатор выключен и включение утилизатора производить при давлении газа перед горелками 750 кгс/м<sup>2</sup> на 4-х горелках и при работе на 6-ти горелках.

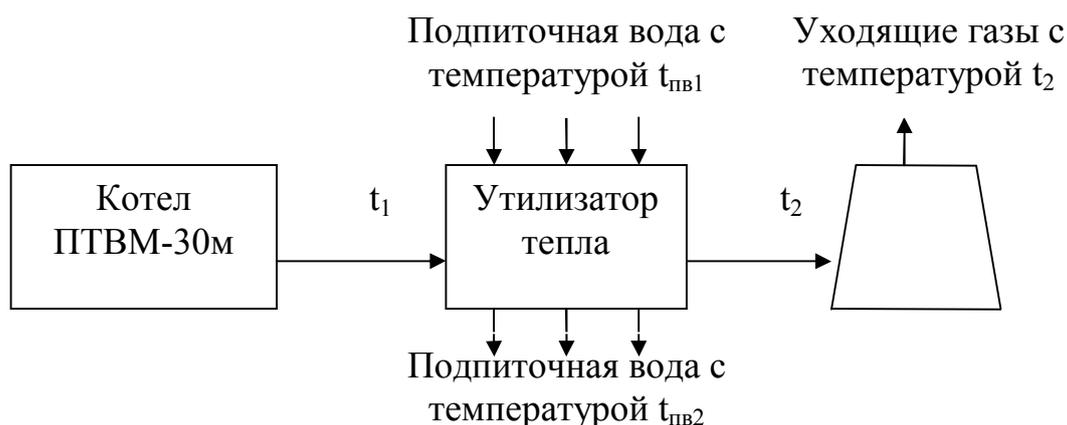


Рисунок – Схема установки утилизатора тепла

При условии внедрения утилизатора тепла, КПД котла, в зависимости от его нагрузки, увеличивается от 2% до 4%.

\* Руководитель – ассистент кафедры ПТ Безбородов Д.Л.

## УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Мишина А.Н. (ЭКМ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Одной из проблем антропогенной деятельности человека является образование отходов, среди которых отходы пластмассы занимают особое место в силу своих уникальных свойств.

Проблема утилизации и обезвреживания отходов пластика является одной из наиболее значимых мировых проблем в области охраны окружающей среды.

Известны способы утилизации переработанных отходов пластика в металлургии. Как основной агрегат используется доменная печь.

Данная технология имеет ряд преимуществ. Во-первых, таким способом может перерабатываться значительное количество отходов (до 100 тыс. т отходов в год). Во-вторых, эффективность использования энергии составляет больше 80% по сравнению с другими способами переработки пластика. В-третьих, это наиболее экологичный способ переработки отходов, при котором не образуются вредные вещества диоксины. В-четвертых, вдувание отходов пластика в горн доменной печи позволяет сократить расход одного из самых дорогих компонентов доменной плавки – кокса.

Перед подачей в доменную печь отходы пластмассы подвергаются предварительной обработке. Отходы пластика разделяются на кусковые и пленочные.

Предварительную обработку кусковых отходов проводят путем применения обычной дробилки и мельницы тонкого помола.

Пленочные отходы разрезаются на части, перемешиваются и спекаются в гранулы. Подготовленные отходы после дробления или окомкования (размер частиц до 10 мм) собираются в бункере, а затем по трубопроводу с использованием сжатого воздуха транспортируются в доменную печь аналогично вдуванию пылеугольного топлива.

При попадании в высокотемпературную (1800-2400°С) окислительную зону доменной печи пластмасса разлагается с образованием восстановительных газов (СО, Н<sub>2</sub>), которые участвуют в процессах восстановления и плавления железорудной части шихты. Таким образом, отходы пластмассы позволяют заменить в доменной плавке часть дорогого и дефицитного кокса, природного газа и ПУТ.

Таким образом, данная технология, заключающаяся в применении отходов пластика после предварительной подготовки путем вдувания в горн доменной печи, позволяет рационально утилизировать данный вид отходов и сократить удельный расход топлива в доменной плавке.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой РТП Кочура В.В.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Суханова А. А. (ЭКМ-08ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Охрана окружающей среды от загрязнения вредными выбросами коксохимических предприятий в настоящее время стала одной из важнейших проблем. В ряду основных металлургических производств коксохимическому принадлежит «ведущее» место по разнообразию, высокой токсичности и специфическому удушающему запаху многих газообразных выбросов, сбросов и твердых отходов. Если при производстве окучкованного рудного сырья (агломерата и окатышей), чугуна, стали, проката контролируют в основном выбросы пыли, оксидов углерода, серы и азота, то в коксохимическом производстве дополнительно определяют концентрации в технологических, аспирационных газах и атмосферном воздухе еще минимум 7-10 вредных веществ (таблица).

Таблица – Удельные вредные выбросы коксохимического производства, предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе

Наименование ингредиентов	Выбросы, г/т кокса;	Предельно допустимые концентрации в воздухе, мг/м <sup>3</sup>		Показатель токсичности ЛД-50
		ПДК р.з.	ПДК с.с	
Аммиак, NH <sub>3</sub>	177-490	0,2	0,004	3,8
Сероводород, H <sub>2</sub> S	15-20	0,008	0,008	1200
Монооксид углерода, CO	1050-1380	20	3	3,6
Цианистый водород, HCN	7-10	0,3	0,01	0,2
Фенол, C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	80-90	0,3	0,003	395
Бензол, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	60-70	5	0,1	5600
Нафталин, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	30-50	20	0,003	490
Бензапирен, C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	1-3	0,00015	10 <sup>-6</sup>	н.д
Диоксид серы, SO <sub>2</sub>	500-1650	10	0,5	н.д
Оксиды азота, NO <sub>x</sub>	150-170	5	0,085	н.д
Пыль	1750-2590	4-6	0,5	н.д
Сажистый углерод, графит	н.д.	0,15	0,005	н.д

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

Эффективными мероприятиями для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу являются внедрение установок бездымной загрузки угольной шихты, сухого тушения кокса (УСТК) и беспыльной выдачи кокса (УБВК), которые позволяют уменьшить удельные газопылевые выбросы на 5,44 кг/т кокса.

Сущность бездымной загрузки состоит в создании большого разрежения в загрузочных отверстиях, которое в значительной мере уменьшает вынос газа с пылью в окружающую среду. Это разрежение создают паровой инжекцией при давлении пара  $(7-9) \cdot 10^5$  Па, а в некоторых случаях – газовой инжекцией. Подача пара осуществляется в газоотводные патрубки на машинной и коксовой сторонах коксовых печей. Применение бездымной загрузки снижает вредные выбросы в 10–15 раз.

Выдача кокса из печей сопровождается выбросом в атмосферу значительных объемов пылегазовой смеси. В целях локализации этих выбросов разработана современная система беспылевой выдачи кокса с последующей очисткой уловленных газов от коксовой пыли в сухих пылеуловителях.. Эффективность локализации и отсоса пылевоздушной смеси составляет 90-95 %. Система беспылевой выдачи кокса состоит из: пылеулавливающего зонта, установленного на двересъемной машине; стыковочных устройств для передачи пылегазовоздушной смеси в стационарный коллектор, проложенный вдоль батареи с коксовой стороны; стационарной пылеочистой установки с использованием рукавных фильтров.

На многих предприятиях Украины применяется мокрое тушение кокса. Этот способ имеет ряд крупных недостатков, среди которых: громадные вредные выбросы, сниженная прочность, повышенная и непостоянная влажность товарного кокса, полная утрата теплоты раскаленного кокса, что послужило мощным стимулом к созданию принципиально нового способа сухого охлаждения продукта коксования.

Процесс сухого тушения заключается в охлаждении раскаленного кокса инертными газами, циркулирующими в замкнутом контуре между камерой и котлом-утилизатором. Сухое тушение кокса позволяет утилизировать значительное количество тепла раскаленного кокса. С одной тонны потушенного кокса утилизируется 300- 400 тыс. ккал. тепла, что позволяет получить 0,4-0,5 т пара высоких энергетических параметров. Кокс, потушенный сухим способом, характеризуется более высокой прочностью и меньшим трещинообразованием. Вредные выбросы стадии охлаждения кокса устраняются на 80-90%. Кроме того, за счет улучшения качества кокса, удельный его расход при выплавке чугуна снижается на 2,3% (11 кг/т чугуна).

Таким образом, внедрение установок бездымной загрузки угольной шихты, сухого тушения и беспыльной выдачи кокса являются основными направлениями улучшения экологической ситуации в коксохимическом производстве.

## РЕЦИРКУЛЯЦИЯ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ГАЗОВ

Очеретнюк А.А. (ЭКМ-08ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Рециркуляция – возврат в процесс спекания определённого количества горячих отходящих газов.

Исходя из ограничительных и реальных условий агломерации, степень рециркуляции устанавливается на уровне 25-30 или даже 48 %. При больших значениях этого параметра в некоторых случаях применяют обогащение газовой смеси техническим кислородом, вдуваемым под укрытие агломашины или в тракт подачи воздуха.

Основное сернистое соединение –  $\text{SO}_2$  улавливается из рециркуляционного газа более чем на 80 % принадлежащими шихте реагентами (хемосорбентами) –  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ . Дополнительно к этому приток физического тепла возвращаемых газов с температурой не менее 120-150 °С и химического тепла догорания  $\text{CO}$  обуславливает сокращение расхода твёрдого топлива на 10-15 % и соответствующее уменьшение содержания серы в шихте.

Содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  в газе снижается вследствие их частичного термического разложения, а также уменьшения уровня максимальных температур в слое, снижения концентраций молярного кислорода, топливного азота в газе, что в совокупности значительно ограничивает образование новых объёмов  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ .

Супертоксицидные углеводороды – бензапирен, диоксины и фураны (в упрощённых химических формулах:  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ,  $\text{C}_{14}\cdot 2(\text{C}_6\text{H}_6)\text{O}_2$  и  $\text{C}_{14}\cdot 2(\text{C}_6\text{H}_6)\text{O}$ ), попадая в зону горения в составе рециркулируемого газа, почти полностью разлагаются. Повторный синтез этих соединений можно предупредить только быстрым, в течение нескольких секунд, охлаждением отходящего газа до температуры менее 250 °С. Это предусмотрено в специальных газоочистных аппаратах.

Установлено, что концентрация  $\text{SO}_2$ , диоксинов и фуранов в отходящем газе начинает возрастать, и достигает максимальных значений во второй половине процесса спекания.

С учётом того, что температура отходящих газов также достигает максимальных значений (250-300 °С) в последних, хвостовых вакуум-камерах агломашины, более целесообразной представляется рециркуляция именно этой части газов, обычно уносящих в атмосферу большую долю тепла и токсичных соединений.

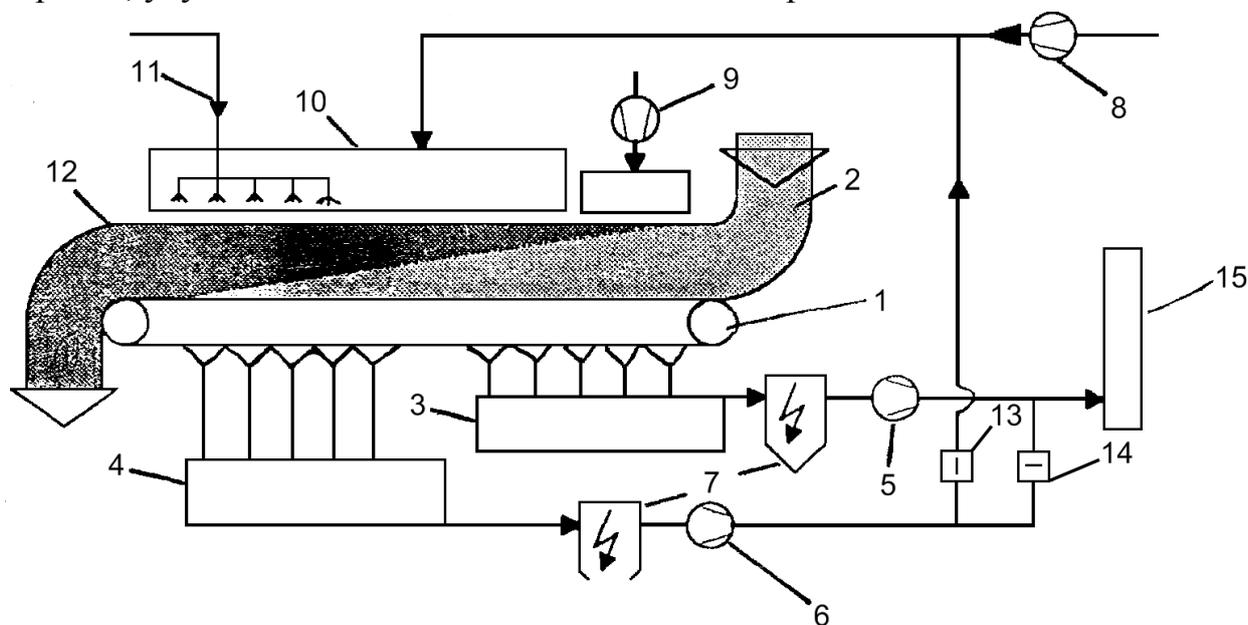
Такой принцип заложен в схему автономной рециркуляции газов на аглофабрике фирмы Хооговенс групп в Голландии (рисунок).

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

Для повышения эффективности улавливания сернистого ангидрида ( $\text{SO}_2$ ) в этой схеме используют орошение спекаемого слоя известковым молоком ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) в хвостовой части агломашины.

Для повышения эффективности улавливания сернистого ангидрида ( $\text{SO}_2$ ) в этой схеме используют орошение спекаемого слоя известковым молоком ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) в хвостовой части агломашины. Нужно особо подчеркнуть, что внедрение технологии спекания шихты с рециркуляцией газов является непростой технической и технологической задачей, сопряжённой не только с дополнительными затратами, но и определёнными сложностями в процессе промышленного использования. Это следует из упомянутых ограничительных условий применения рециркуляции. Намного проще в реализации технология спекания шихты с возвратом в процесс агломерации горячего воздуха, полученного при охлаждении агломерата. Разумеется, такая технология не является альтернативной главной технологии, она лишь дополняет более важную, в экологическом отношении, технологию рециркуляции газов, обеспечивая существенную экономию топлива, снижение выбросов, улучшение показателей качества агломерата.



1 – агломашина; 2 – поток загружаемой на агломашину шихты; 3 – газовый коллектор первой части агломашины; 4 – хвостовой коллектор более нагретых и загрязнённых газов; 5 – эксгаустер головной части агломашины; 6 – эксгаустер рециркулируемых газов; 7 – газоочистные аппараты; 8 – нагнетатель атмосферного воздуха; 9 – вентилятор зажигательного горна; 10 – укрытие агломашины; 11 – подача известкового молока на спекаемый слой; 12 – аглоспек; 13 – клапан регулирования расхода рециркулируемого газа; 14 – клапан аварийного сброса газа в дымовую трубу; 15 – дымовая труба агломашины

Рисунок – Принципиальная схема газоздушных потоков при рециркуляции газов хвостовых вакуум-камер агломашины голландской фирмы Хооговенс групп.

## ИЗМЕНЕНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ДРУЖКОВСКОМ МЕТИЗНОМ ЗАВОДЕ

Шевелева А.А. (ЭКМ-10)\*

Донецкий национальный технический университет

Природоохранная служба на Дружковском метизном заводе была создана в октябре 1987 года. Основной задачей службы по охране природы были стабилизация существующего на тот момент экологического состояния производства и выявление факторов, негативно влияющих на состояние окружающей среды: воздуха, почвы, воды, и на здоровье людей.

До ввода природоохранной службы отчётный показатель заводских выбросов в атмосферу равнялся 400 тоннам в год. Состав выбросов насчитывал 38 ингредиентов: железная пыль, аэрозольные масла, серная кислота, хром, щёлочь, азот, углерод и прочие. Но пригласив специалистов славянского кооператива «Воздух», которые сделали замеры, определили, что количество вредных веществ реально составляет 4 998 тонн в год.

Поставили рамочно-ячейковые фильтры, которые заполнили металлической стружкой. Аэрозольное масло, проходя через неё, оседает. Раз в неделю стружка пропаривается – и снова запускается в действие. Таким образом завод достиг очищения аэрозолей до 80 %, а отфильтрованное масло стали сдавать и получать за него деньги. Также большие экологические проблемы создавала работа гальванических цехов. Оснастили гальванические цеха фильтрами, которые защищают атмосферу на 97 %. Таким образом, и эта проблема была решена. С 1978 года после реконструкции завод работает в бессточной замкнутой системе. На предприятии действуют замкнутые водные циклы нейтрализованных травильных растворов, образующихся после травления, гальваники; окалинно-маслосодержащих стоков – при охлаждении инструментов; умягченной воды – при охлаждении приборов; а также оборотные циклы в дроболитейном цехе и на автомойке транспорта. В четырёх километрах от завода есть шламонакопитель. В него сбрасывают отходы производства. Сейчас в шламонакопителе находится 137 тыс. тонн, накопленных с 1978 года. Основной вопрос – это работа с отходами. На предприятии образуется 102 вида отходов. Большинство из них – это промасляные отходы, которые долгое время нигде не перерабатывались.

Также проблемой являются жидкие отходы – отходы котельной, гальванические, травильные растворы. На каждый вид отхода у нас заведена регистрационная карта, в которой указан их состав. Отходы объединены в группы, отсортированы по классу опасности.

Отходы вывозятся на три полигона: промышленные отходы – на полигон машзавода; строительные, бытовые – на городскую свалку; нейтрализованные отходы травильного производства – в шламонакопитель завода.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой РТП Кочура В.В.

## НОВЫЕ СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Монастырёва А.В. (ЭКМ-08ф)\*

Донецкий национальный технический университет

Высокая энергоёмкость металлургических производств при постоянном росте цен на топливно-энергетические ресурсы ставит на одно из первых мест проблемы энергосбережения.

Электросталеплавильное производство является одним из производств, выбрасывающих большое количество пыли и других загрязняющих веществ (таблица). Величина этих выбросов зависит от применяемого сырья, технологического режима плавки, использования интенсификаторов и способа отвода газов от печи. Выход технологических газов из электросталеплавильных печей определяется сгоранием углерода шихты и электродов, разложением необожженной части известняка и подсосом атмосферного воздуха в печь. Количество отходящих газов равно 40 – 150 м<sup>3</sup>/ч на 1 т садки без продувки кислородом и 200 м<sup>3</sup>/ч при продувке.

Таблица – Содержание вредных газообразных веществ в технологических газах, выбрасываемых из электросталеплавильных печей

Вредные вещества	Средняя концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Удельные выбросы, г/т стали
NO <sub>x</sub>	550	270
SO <sub>x</sub>	5	1,6
CO	13500	1350
Цианиды	60	28,4
Фториды	1,5	5,6
CH <sub>4</sub>	0,9	нет данных
Бензопирен (мкг/м <sup>3</sup> )	0,09	нет данных

Отходящие газы дуговых сталеплавильных печей (ДСП) взрывоопасны. Состав газа %: CO – 15-25 %, H<sub>2</sub> – 0,5-3,5; CO<sub>2</sub> – 5-10; N<sub>2</sub> – 61-70; O<sub>2</sub> – 3,5-10.

Технологический процесс производства стали в электродуговых печах связан с повышенным использованием дополнительных источников энергии в разработке совершенных систем управления печью. Чтобы уменьшить потребление энергии и повысить производительность, необходима замена части используемой электроэнергии химической энергией, образующейся при вдувании кислорода и топлива.

При вдувании кислорода и углерода может возникнуть такой недостаток, как подсос воздуха, решить эту проблему можно путём вдувания углерода и кислорода через несколько фурм, расположенных у боковых стенок.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

Также, одним из направлений повышения энергосбережения при выплавке стали в электропечи, является использование тепла отходящих газов. Утилизацию тепла отходящих газов можно осуществлять в основном по двум направлениям: путем его частичного возвращения в технологический процесс при предварительном нагреве лома отходящими газами и путем использования тепла отходящих газов для производства пара или горячей воды. Оперируя таким образом с отходящими газами, можно полностью скомпенсировать тепловые потери и энергетические затраты, связанные с газоудалением.

Наиболее перспективным решением проблемы охлаждения и утилизации тепла отходящих газов является использование их для предварительного нагрева загружаемого в электропечь лома. В связи с тем, что лом, поступающий на украинские металлургические заводы, не является чистым ломом, а имеет различного рода примеси, поэтому целесообразно использовать нагрев лома отходящими газами в загрузочных бадьях с системой рециркуляции газов.

В оборудовании ДСП для термического разложения диоксинов и фуранов в системе газоотвода при нагреве лома отходящими газами устанавливается блок газокислородных горелок, а затем камера быстрого охлаждения газов, при котором подавляется новосинтез диоксинов и фуранов.

Анализ работы установок различного типа для нагрева лома отходящими газами показывает, что их применение обеспечивает в среднем: снижение расхода электроэнергии на 30 – 50 кВт·ч/т, сокращение длительности плавки на 4 – 13 мин, уменьшение расхода электродов на 0,2 – 0,9 кг/т, снижение общего количества газов, требующих очистки, уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат на газоудаление.

Для энергосбережения и ресурсосбережения очень важным является подготовка стального лома для подачи в электропечь. Зарубежные ломоперерабатывающие предприятия располагают практически полным набором перерабатывающего оборудования: пресс-ножницы для резки скрапа, пакетировочные прессы для получения пакетов из стального или цветного (алюминий, медь) лома и стальной или чугунной стружки, краны различного назначения (козловые, башенные, передвижные на гусеничном или колесном ходу), оснащенные грейферами или магнитными шайбами.

Таким образом, проанализировав статью, можно сделать вывод, что вышеперечисленные мероприятия позволят эффективно использовать химическое тепло, обеспечить экономию энергетических ресурсов, увеличить производительность печей, утилизировать печные отходы, улучшить экологическую ситуацию.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В АГРЕГАТАХ БЕСКОКСОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Самброс Ю.А. (ЭКМ-11с)\*

Донецкий национальный технический университет

Технологии прямого получения чугуна с применением жидкофазного восстановления железа представлены несколькими способами, всего их семь. Только процесс Корекс имеет промышленное применение, остальные используются в виде опытных (Finex, Ausiron, CCF, Dios, Hismelt) или демонстрационных агрегатов (процесс Ромелт). Особый интерес для эколого-экономической оценки представляют два процесса – промышленный Корекс и сугубо утилизационный процесс российской разработки (Московский институт стали и сплавов), ориентированный, как и все остальные, на переработку мелких руд и разнообразных, большей частью некондиционных отходов.

Процесс Корекс реализует схему «восстановление – плавление». В этом процессе восстановителем и источником тепла является обычный, некоксуемый энергетический уголь, хотя в качестве рудных материалов используют, как правило, кусковые материалы – руду, агломерат или окатыши.

Производительность процесса Корекс ограничивается продолжительной (7-9 ч) металлизацией рудного сырья в реакциях с CO и H<sub>2</sub>. Ускорение восстановительных процессов за счет повышения температуры не может состояться из-за возможного сплавления материалов «настылеобразования».

В отличие от предыдущего процесса Корекс в процессе Ромелт сначала происходит расплавление материалов, а затем в расплаве – восстановление железа и других элементов. Для процессов Корекс и Ромелт основную часть экологических преимуществ связывают с использованием обычных энергетических углей вместо кокса. Производство последнего, как известно, сопряжено с большим загрязнением окружающей среды.

Сравнительные данные о выбросах процессов Корекс и Ромелт приведены в табл.

Таблица - Удельные вредные выбросы при производстве первичного металла в жидкофазных процессах, кг/т чугуна

Процессы	Пыль	СО	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Корекс	17,2	23,0	6,3	0,2
Ромелт	35,9	127,2	12,2	0,25

Следовательно, плавильные агрегаты Ромелт могут сильно загрязнять окружающую среду, причем не только в сравнении с агрегатами Корекс, но и с соответствующим комплексом агрегатов аглококсодоменного производства.

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Панченко Е.И. (ЭКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Ежегодно образуется 50-60 тыс. т шламов, содержащих 30-70% Fe и других ценных компонентов (кальций, магний и т.д.), которые могли бы стать дополнительным источником железорудного сырья при использовании в аглошихте.

Образующиеся шламы из-за отсутствия простых и экономически выгодных технологий подготовки их к утилизации остаются невостребованными и сбрасываются в золошламонакопители.

Наиболее распространенная за рубежом схема обезвоживания предусматривает сгущение шламовой пульпы в радиальных сгустителях, фильтрование на вакуум-фильтрах и сушку в сушильных барабанах. Однако разработанные способы отличаются повышенной энерго- и металлоемкостью при обезвоживании больших объемов шлама.

Обезвоживание шламов до требуемой влажности перед использованием в аглошихте возможно за счет смешивания с сухим отходами, например, колошниковой пылью.

Одним из путей повышения эффективности подготовки шлама к утилизации является использование синергического эффекта, т.е. одновременного применения явлений химического обезвоживания и самотвердения при обработке шламовой пульпы активными обезвоживающими компонентами из числа отходов смежных производств. Наиболее простым является способ химического обезвоживания, предусматривающий использование кальций- и магнийсодержащих материалов, например, пылью известково-обжигового производства.

Химическое обезвоживание шламовой пульпы происходит по двухстадийному механизму. Первая стадия протекает в кинетической области, характеризуется экзотермической реакцией взаимодействия обезвоживающего компонента с водой с образованием гидроксида кальция и сопровождается повышением температуры и скорости обезвоживания:



Выделяемая теплота идет на нагрев смеси и испарение влаги. На этой стадии удаляется основная масса влаги и наблюдается рост скорости обезвоживания, который заканчивается при достижении максимальной температуры смеси.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Перистый М.М.

Процесс связывания остаточной влаги контролируется диффузионным переносом молекул воды через тонкий диффузионный пограничный слой, образовавшийся на поверхности частиц обезвоживающего материала к этому моменту времени. Тонкий поверхностный, пограничный слой состоит из закристаллизованных гидроксида и карбоната кальция, образовавшихся в результате реакции поглощения гидроксидом кальция диоксида углерода из окружающей атмосферы.

На второй стадии обезвоживания начинается твердение смеси, вызванное пересыщением влажной смеси гидроксидом кальция. Центрами кристаллизации являются металлические частицы шлама (оксиды железа). Кристаллы гидроксида и карбоната кальция срастаются с другими оксидами, присутствующими в шламе, в сравнительно прочную и твердую массу.

Интенсивность химического обезвоживания, т.е. продолжительность первой и второй стадий, зависит от вида обезвоживающих материалов, активности в нем  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , его фракционного состава, а также степени перемешивания основных компонентов.

При использовании шламоизвестковой смеси в аглошихте вторая стадия процесса (твердение смеси) отсутствует. Данный продукт должен быть сыпучим и непылящим, влажностью 8-10 % и хорошо усредняться в аглошихте.

Использование методов химического обезвоживания позволяет устранить операции термической сушки, что значительно упрощает технологическую схему подготовки шлака к утилизации.

Установленные закономерности химического обезвоживания железосодержащих шламов пылевидными отходами производства извести и доломита легли в основу технологии подготовки их к утилизации в сквозном металлургическом переделе. Технология не требует больших инвестиций, хорошо вписывается в существующую систему сбора и сгущения шлама и предусматривает небольшое строительство сгустителей и устройств для его перемешивания с отходами производства.

Так, внедренная на металлургическом комбинате им. Дзержинского технология смешивания пастообразных шламов с сухими известковыми отходами позволила исключить сушку шламов в сушильных барабанах.

Конверторные шламы после сгущения обезвоживаются на дисковых вакуум-фильтрах.

Известковая пыль (активностью около 40-45%) доставляется на участок в цементовозах и дозируется на кек шламов, который движется на транспортной ленте, из бункеров шлюзовыми питателями. Перемешивание смеси осуществляется в двухвальном лопастном смесителе. Смесь поступает в закрытый бункер, где происходит окончательная гидратация извести, а затем направляется на склад.

Со склада смесь в вагонах отправляется на аглофабрики.

## ПОДГОТОВКА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Данилова Ю.С. (ЭКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Переработка и утилизация металлургических отходов важны не только с точки зрения охраны окружающей среды, но и с точки зрения рационального использования природных ресурсов. Наиболее целесообразно применение их в качестве сырья в собственном производстве.

На сегодня одним из универсальных способов подготовки мелкодисперсных железосодержащих отходов является процесс брикетирования. Он обеспечивает рост производительности металлургических агрегатов, расширение сырьевой базы металлургии, экономию топлива и энергии. Брикет, по сравнению с другими методами окускования, обладает более низкой себестоимостью, эффективно перерабатывается в сталеплавильном и доменном производствах, заменяя шлакообразующие материалы, металлолом, раскисляющие и легирующие добавки. Опыт многих металлургических компаний установлен, что процесс брикетирования наиболее полно реализуется совместно с другими методами окускования – агломерацией и грануляцией с обжигом. Они не конкурируют между собой, а экономически выгодно дополняют друг друга.

В свете современного развития черной металлургии железорудные брикеты смело можно отнести к одному из важных и полезных компонентов при производстве чугуна и стали. Как и к другим материалам, к ним предъявляются жесткие требования не только по химическому и гранулометрическому составам, но и по физико-механическим свойствам. В частности, брикеты, удовлетворяющие требованиям доменной плавки, должны быть устойчивы при температуре 900-1300°C, иметь сопротивление сжатию выше 58 кгс/см<sup>2</sup>, обладать высокой пористостью и газопроницаемостью и, вместе с тем, быть водоустойчивыми. Брикет для сталеплавильного производства должен выдерживать нагревание до 1500°C в течение трёх минут и при этом не разваливаться на куски, а также иметь пористость не более 5-10 %, их сопротивление сжатию должно быть не ниже 25 кгс/см<sup>2</sup>.

Заданные требования во многом достигаются благодаря оптимальной организации технологического процесса. На основании проведенного анализа, для предприятий Украины наиболее приемлемой, экономически выгодной и экологически безопасной, является схема «холодного» брикетирования с использованием в качестве связки извести. Гашёная известь является сравнительно дешёвым, достаточно прочным и хорошо смешиваемым связующим и одновременно флюсующим материалом. Для достижения необходимой прочности брикетов ее добавляют в количестве до 10% от массы

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Перистый М.М.

шихты. Упрочнение брикетов происходит в специальных камерах за счет реакции карбонизации продуктами сгорания, например, доменного газа ( $\text{CO}_2=20-22\%$ ).

Важным аспектом технологии брикетирования является выбор прессы. Наиболее эффективно можно реализовать требования к брикетам по форме и небольшой массе, а также обеспечить необходимое усилие сжатия, на вальцовых прессах. Их преимущество – это непрерывность работы и высокая производительность, недостаток – необходимость подпрессовки и возможное залипание форм.

Предлагаемый способ производства является универсальным и может быть организован на любом предприятии черной металлургии, тем более, что срок окупаемости такой установки составляет менее одного года. Особенно актуальным это решение является для тех отечественных заводов, которые не имеют собственных агломерационных фабрик.

Так, например, ЧАО «Донецксталь – МЗ», являющийся серьезным загрязнителем региона, на данный момент не в полной мере утилизирует свои производственные отходы, в частности доменные шламы, пыли аспирационных установок и прочие. Это нецелесообразно и убыточно, ведь данные отходы являются ценным источником, как железа, так и других полезных компонентов.

Таблица – Химический состав некоторых видов отходов

Материал	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	C	S
Колош. пыль	12	53,76	12,0	11,56	0,9	1,13	0,26	10,69	0,4
Дом-ый шлам	8,88	57,88	8,36	5,74	1,1	1,36	0,2	9,79	0,7
Пыль ЦВС	11,1	68,54	3,7	1,2	0,4	0,9	0,95	4,95	0,9
Пыль ЭСПЦ	11,7	65,17	7,28	6,5	1,0	0,8	1,52	1,21	0,6

В зависимости от используемых материалов и их соотношения можно получать продукт с различным химическим составом и свойствами. Так при добавлении в шихту коксовой мелочи и пыли можно получать железо-углеродные брикеты, которые не только заменяют часть металлошихты, но и способствуют уменьшению расхода кокса. А брикетирование, например, сталеплавильных пылей позволяет организовать рециклинг цинксодержащих отходов, с последующим накоплением цинка и продажей продукта предприятиям цветной металлургии.

Реализация проекта строительства на территории предприятия брикетной фабрики, не только поможет снизить техногенную нагрузку и улучшить экологическую обстановку, но и уменьшит затраты на продукцию за счет возврата полезных элементов в производство и снижение налога на размещение отходов.

## УТИЛИЗАЦИЯ ЗАМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ.

Долгий А.А. (ЭКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Статья посвящена проблеме утилизации замасленной окалины прокатного производства. Окалина является ценным металлургическим вторичным сырьем. По химическому составу она близка к чистому магнетиту (65-72% Fe), а по гранулометрическому составу представлена в основном фракцией менее 0,2 мм. Однако в ней содержится значительное количество влаги и смазочных масел (автолы АК-15, АК-10, масло индустриальное 24, 30 и др.), что часто препятствует прямому возврату в производство, например, через фабрики окускования.

Шламонакопители крупнейших заводов содержат порядка миллиона тонн замасленной окалины. Шламы неоднородны по составу и могут содержать от 10 до 95 % окалины, от 10 до 50 % масел и от 3 до 80 % воды. Существует два пути утилизации окалины: возврат ее в металлургическое производство или использование ее в других производствах.

Применение ее в аглошихте даже после предварительного обезмасливания является, видимо, основной причиной выбросов диоксинов и фуранов в атмосферу с отходящими агломерационными газами. Кроме того, масло окалины не полностью сгорает в зоне горения, что приводит к уменьшению срока службы эксгаустановок. В этой связи замасленная прокатная окалина является по-прежнему притягательным объектом разработчиков технологий ее утилизации. В настоящее время практически все образующиеся мелкодисперсные железосодержащие отходы утилизируют в составе аглошихты. Известны следующие способы утилизации замасленной окалины разработанные в современных условиях:

а) РАН по заданию Челябинского трубопрокатного завода была также разработана технология изготовления спеченного с нонтронитом продукта и спроектирован участок по утилизации окалиномаслосодержащего шлама из отстойников грязного цикла производства.

Согласно технологической схеме окалиномаслосодержащий шлам из отстойников грязного цикла завода уплотняют в сгустителях, обезвоживают на дренируемых площадках и направляют в отделение шихтоподготовки. После контрольной очистки шлам загружают в бункер и ленточным питателем подают в сушильный барабан, при этом влажность шлама снижается с 18 – 20 до 4 – 5 %. Подсушенный шлам поступает в смеситель, где он смешивает с нонтронитом, а затем в двухштемпельный брикетный пресс.

Сырые брикеты направляют в нагревательную печь, где подвергают сушке до содержания влаги 2,0 – 2,5 % отходящими газами. Сухие брикеты

---

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

спекают при температуре 1100 – 1200 °С, затем охлаждают, измельчают, рассеивают на фракции и направляют в бункер-накопитель. Спеченный продукт класса <0,5 мм возвращают на шихтоподготовку и повторное прессование. Использование окалины первичных и вторичных отстойников при агломерации приводит к повышению насыпной массы аглошихты, повышает содержание железа в агломерате.

б) Более эффективным является способ утилизации, когда окалина вторичных отстойников предварительно смешивается с колошниковой пылью и ошлаковывается. Окомкованная смесь укладывается поверх слоя аглошихты перед зажигательным горном. При этом не происходит понижения газопроницаемости аглошихты и практически все нефтепродукты выгорают в зажигательном горне.

Наиболее успешно используется утилизация окалины путем брикетирования в металлургическом производстве США, Великобритании, Германии, Польши, Южной Кореи, Японии, Франции. Проявляют интерес к этой проблеме Китай, Индия, Турция. В последние годы и в Украине брикетирование обрело особую актуальность.

Разработан рациональный способ утилизации маслосодержащей окалины путем ее вдувания в доменную печь вместе с шреддинг-пылью. Пыль шреддинг-установок по гранулометрическому составу представляет собой фракцию от долей до 3 миллиметров, т.е. соответствует параметрам опытно-промышленных исследований по вдуванию мелкодисперсных материалов в шахтные печи. Промышленные опыты проводились в 1996 году, в них принимали участие Институт технологии чугуна и стали Технического университета Горной академии Фрайберга, фирма «Eko Stahl GmbH» в Айзенхюттенштадте, фирма «Stein Injection Technology» в Гевельсберге и фирма «Carbofer Verfahrenstechnik» в Меербуше.

Московским государственным институтом стали и сплавов была предложена малоотходная технология вдувания комбинированного жидкого топлива из маслоотходов и замасленной окалины в доменную печь. Они установили, что экологически безопасна утилизация замасленной окалины в доменной печи в составе комбинированного жидкого топлива. Исследования показали, что процесс получения данного топлива, имеющего достаточно высокие устойчивость и текучесть, чтобы транспортировать его по трубопроводам, эффективен и прост в реализации. Установлено, что вдувание комбинированного жидкого топлива в доменную печь позволяет уменьшить расход железорудной окускованной шихты и кокса.

Таким образом для условий Украины можно предложить наиболее приемлемый для условий Украины: Более эффективным является способ утилизации, когда окалина вторичных отстойников предварительно смешивается с колошниковой пылью и ошлаковывается. Окомкованная смесь укладывается поверх слоя аглошихты перед зажигательным горном. При этом не происходит понижения газопроницаемости аглошихты и практически все нефтепродукты выгорают в зажигательном горне.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАФИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ (ГСП) МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ УТИЛИЗАЦИИ

Насанова Ю.В. (ПЭК-14), Бородина А.С. (МПЭК-13)\*  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Графитсодержащая пыль выделяется при переливах расплава чугуна в черной металлургии, чем загрязняет окружающую среду и ухудшает санитарное состояние рабочих мест. С другой стороны, графитная спель с содержанием углерода более 20% является ценным сырьем для графитовых заводов, поэтому ее экономически целесообразно улавливать из общего потока выбросов и утилизировать.

С помощью ситового и спектрального анализов была исследована графитная пыль, отобранная из жалюзийного графитоуловителя ДП-4 ММК им. Ильича. По результатам исследования было выяснено: магнитная фракция пыли составляет более 70% по массе, а графитная спель - около 30% общего количества ГСП. При этом металлические брызги сосредоточены в мелких фракциях, преимущественно менее 80 мкм, а пластины графитной спели, наоборот, в крупных. На поверхности графита имеются сферические включения двух видов: относительно гладкие и покрытые извилинами. На рисунке приведены графики зависимости атомного процентного содержания углерода и железа от диаметра относительно гладких сферических включений.

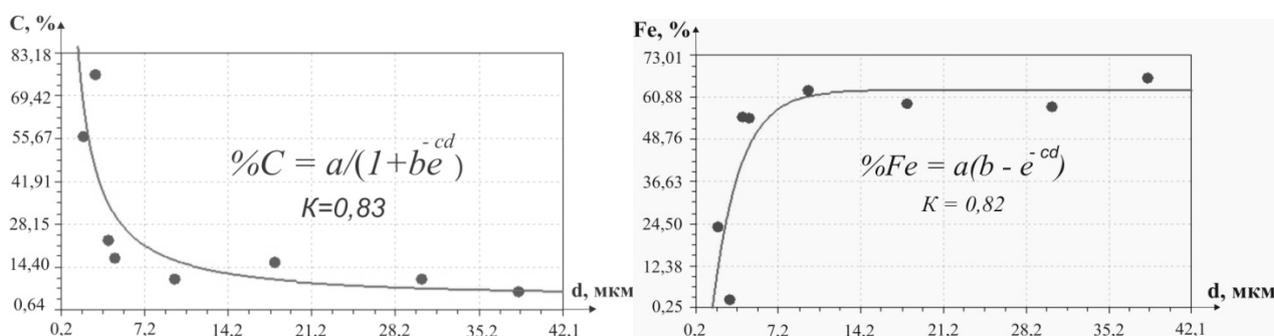


Рисунок – Зависимость атомного процентного содержания углерода и железа от диаметра включений

Анализ полученных данных показал, что белые сферические включения образуются в результате конденсации на поверхности графита в местах неровностей рельефа паров оксидов железа, которые вступают в реакцию с углеродом графитовой основы по поверхности контакта.

Таким образом, основными направлениями обогащения ГСП является отделение брызг металла и уменьшение количества адсорбированного на поверхности пластин графита железа.

\* Руководитель – д.т.н., профессор кафедры «Прикладная экология и химия» Кравец В.А.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Понька Н.А. (ЭКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

На сегодняшний день металлургические и металлообрабатывающие предприятия являются одними из основных потребителей воды.

Для снижения расхода воды большинство металлургических предприятий используют оборотное водоснабжение, потери воды при котором требуют ее пополнения. Так как свежая вода является дефицитной и дорогой, особенно для условий Донбасса, одним из нетрадиционных источников для пополнения потерь, могут стать шахтные воды.

К примеру, из неработающей шахты им. Горького откачивается 1600 кубометров воды в час, и эта масса неочищенной воды сбрасывается в Кальмиус и поступает в Азовское море. После предварительной подготовки шахтные воды можно использовать для металлургических целей. Это позволит не только решить проблему шахтных вод, но и уменьшить расход свежей воды в оборотных циклах металлургического производства. Затраты на подъем шахтных вод достаточно велики. В закрытых шахтах вода находится на верхних горизонтах, и поэтому извлечение ее является более выгодным, однако она является более загрязненной.

Экономически выгодно подготавливать шахтные воды для технологических и технических нужд металлургии уже с 15% их объема.

Основными потребителями шахтных вод могут быть:

- технологические процессы на обогатительных фабриках и установках с мокрым обогащением угля;
- металлургические предприятия;
- химические предприятия;
- котельные и т.д;

Характерный химический состав шахтных вод для условий Донбасса выглядит следующим образом, %:

- минерализация - 30;
- взвешенные вещества - 10;
- бактериальное загрязнение - 7;
- нефтепродукты - 3;
- соединения железа - 2;
- тяжелые металлы - 0,2;

Как видно шахтные воды, выдаваемые на поверхность, содержат в себе загрязнения различных видов и их использование без предварительной очистки невозможно.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Перистый М.М.

Общие требования к воде, предназначенной для использования на технологические и технические нужды, сводятся к следующим:

- быть безвредной для обслуживающего персонала;
- не обладать отрицательными органолептическими свойствами;
- не вызывать коррозии оборудования, аппаратуры, трубопроводов и сооружений;
- не давать солевых отложений и не способствовать развитию биологических обрастаний;
- не снижать технико-экономических показателей производственного процесса и не создавать аварийных режимов.

Для использования шахтных вод для охлаждения металлургических агрегатов наиболее опасными являются минерализованные воды, которые при их использовании могут привести к солевым отложениям, что сокращает срок их эксплуатации. Поэтому схема для очистки шахтных вод может выглядеть следующим образом.

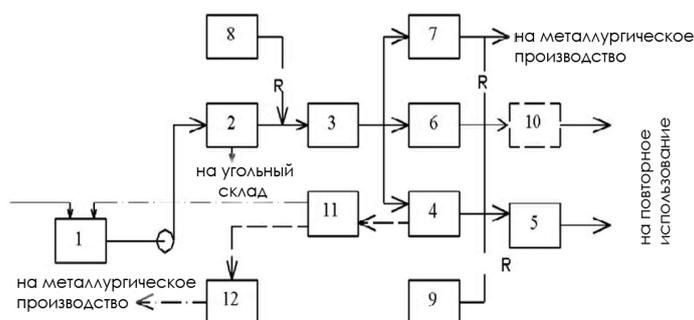


Рисунок – Схема очистки шахтных вод

Исходная вода подается на очистку из усреднителя 1 с постоянным расходом малонапорными насосами. При этом часть воды закачивается этими же насосами в дырчатые трубы, укладываемые по дну отстойников, переоборудованных в усреднители, для предотвращения выпадения крупных взвесей. После подъема воды насосами движение воды по сооружениям осуществляется самотеком. Из усреднителей вода попадает в открытый гидроциклон 2 для осветления. Образующиеся в технологии осадки и промывные воды следует направлять в секцию сгустителя осадка 11 и в шламонакопители 12, в качестве которых можно использовать секции имеющихся шахтных отстойников. Вода, отделившаяся при этом от осадка, направляется в усреднители или резервуары технической воды 5, 6, а уплотненный осадок - в шламонакопители. Далее вода попадет в фильтр грубой очистки 3, после в реакгентное отделение 8, хлораторную 9, установку электролиза 10 и после на металлургическое предприятие.

В каждом конкретном случае потребуется свой набор сооружений для решения задач в зависимости от качества шахтных вод и требований потребителей. При реализации таких схем шахта начнет выпускать техническую воду как отдельный вид продукции.

При отработке данная технологическая очистка может быть применена для снабжения водой ДМЗ.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГУБЧАТОГО ЖЕЛЕЗА

Ткаченко С.В. (ЭКМ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Суммарное потребление энергии черной металлургией в мире в настоящее время составляет 26 ЭДж (1 ЭДж составляет  $10^{18}$  Дж) при производстве 1,344 млрд т стали. Потери энергии в черной металлургии на переделах связаны с высокой температурой процессов, необходимостью многократного нагрева и охлаждения продуктов передела, потерями энергии в виде излучения, конвекции, физической и химической теплоты технологических газов и продуктов плавки, необратимостью химических реакций и теплообмена при высокой температуре и т. д. Поэтому для уменьшения расхода энергии необходимо сокращать количество стадий температурных изменений в виде нагрева и охлаждения и максимально полно использовать теплоту технологических газов и продуктов передела.

В последние 30 лет в индустриально развитых странах велись поиски прямого, внедоменного способа получения стали, минуя три наиболее тяжелых в экологическом отношении передела – агломерационный, доменный и коксохимический. Известно, что наибольшие резервы в снижении выхода вредных веществ и уменьшении затрат на их обезвреживания скрыты в совершенствовании самого технологического процесса. Поэтому возможность организации рентабельного процесса прямого получения железа непосредственно из железной руды, минуя доменную печь, представляет собой заманчивую научно-исследовательскую задачу.

Однако основную массу используемого человечеством железа получают восстановлением из железной руды в доменных печах. Традиционное производство первичного металла в доменной печи характеризуется высокой производительностью и эффективностью, однако сопровождается колоссальными выбросами обеспечивающих его производств кокса и агломерата. Для коксохимического производства необходимы высокококсуемые угли, хорошего качества, запасы, которых с каждым годом исчерпываются.

Основываясь на исследованиях характеристик, как классической схемы производства стали (доменная печь-конвертер), так и альтернативной (металлизированные окатыши-ДСП), были получены сравнительные данные по вредным выбросам, которые наиболее наглядно показывают степень экологической безопасности данных производственных схем.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры РТП Мищенко И.М.

Таблица. Сравнительные данные о вредных выбросах при выплавке стали по традиционной схеме и с применением металлизированных окатышей

Производство стали по схемам	Вредные выбросы, г/с			
	Пыль	СО	SO <sub>2</sub>	прочие газы
Домна – конвертер	150	1250	180	17
Металлизированные окатыши – электропечь	37	126	5	3,5

Количественные результаты показателей экологического преимущества заключаются в следующем: меньше выбросы пыли в 11,2 раз, по оксиду углерода (II) в 26,2, по сернистому ангидриду в 144,1, по оксидам азота в 55,3 раза в сравнении с классической схемой производства стали при одинаковом объеме выпускаемой продукции. Важным преимуществом данного способа является то, что в составе выбросов отсутствуют такие вредные вещества, неизбежно сопутствующие производствам кокса и агломерата, как фенол, бензол, толуол и др.

В связи с этим имеют исключительную эколого-экономическую привлекательность производство и использование прямовосстановленного железа в агрегатах получения твердого или жидкого металлизированного продукта. Аппаратурное оформление этого способа в разных странах несколько различается, но во всех случаях сохраняется его основа – предварительное восстановление железорудного сырья (металлизация) и его последующая плавка в дуговых сталеплавильных печах.

Прямое получение электростали из металлизированного сырья обладает рядом принципиальных преимуществ:

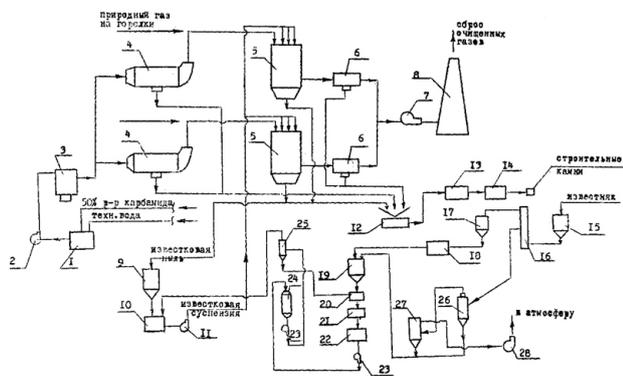
- позволяет сократить традиционную схему получения стали, прямая экономия материальных ресурсов и энергии;
- уменьшает удельные капитальные затраты на производство более чем в 2 раза;
- дает возможность исключить «грязные» производства кокса и агломерата;
- компенсировать возрастающий дефицит металлолома в стране, поскольку новый первичный продукт восполняет недостающие ресурсы вторичных черных металлов;
- повысить ритмичность металлургических предприятий;
- получить суперчистую сталь особого назначения для использования в оборонной промышленности, для производства ответственных деталей машин и оборудования;
- снижает количество вредных выбросов, образующихся на 1 т стали, и облегчает их обезвреживание.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ: ДИОКСИДА СЕРЫ, ОКСИДА АЗОТА И ПЫЛИ.

Чикида И.В. (ЕО-09-2)\*

Национальная металлургическая академия Украины

Проведены исследования на агломерационной фабрике по всем возможным способам химической очистки сильно запыленных газов от химических примесей – диоксида азота, оксида серы и пыли. Именно эти вещества являются массово токсичными загрязнителями атмосферы. По существующим анализам методов очистки дымовых газов и в соотношении технико-экономических показателей, сделан вывод, что наиболее приемлемым способом очистки является двухступенчатая схема. На первой ступени осуществляется гомогенное восстановление оксидов азота карбамидом. В качестве абсорбента решено использовать карбамид. Раствор карбамида подается из сборника насосом непосредственно в комбастер котла, в зону температур 1100-1200 С. Затем дымовые газы из котла поступают на очистку от золы в электрофильтр. Уловленная зола из бункера электрофильтра направляется в отделение производства строительного камня. Очищенные от золы газы поступают на сероулавливающую установку. Очистка газа от диоксида серы представлена двумя способами: мокрый известняковый способ и мокро-сухой с использованием в качестве абсорбента известняковой суспензии. Принципиальная технологическая схема комплексной очистки газов представлены на рисунке.



Таким образом, представленные комплексные методы по очистке газов от загрязняющих веществ являются эффективными, позволяют получать утилизируемые отходы производства и являются надежными в эксплуатации.

Рисунок - Технологическая схема комплексной очистки газов мокро-сухим способом: 1 - сборник раствора карбамида; 2 - насос дозировочный; 3 - котел; 4 - электрофильтр; 5 - скруббер; 6 - рукавный фильтр; 7 - дымосос; 8 - дымовая труба; 9 - расходный бункер пыли; 10 - сборник; 11 - насос; 12 - гипсоварочная установка; 13 - шаровая мельница; 14 - карусельная установка; 15 - бункер для известняка; 16 - шахтная обжиговая печь; 17 - бункер для извести; 18 - дробилка; 19 - бункер; 20 - шаровая мельница; 21 - классификатор; 22 - сборник; 23 - насос; 24 - растворный бак; 25 - гидроциклон; 26 - циклон; 27 - пыле отделиватель вихревой; 28 – дымосос.

\* Руководитель: Кравцов С.В.

## УТИЛИЗАЦИЯ ЗАМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЫ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Крамаренко О.Г. (ЭКМ-11с)\*

Донецкий Национальный Технический Университет

Вторичная окалина являются тяжелыми и абразивными материалами плотностью от 4,9 до 5,2 г/см<sup>3</sup>. Обычно такой крупный материал собирается в приямки, из которых он удаляется с помощью кранов и цепных скреперных устройств. Затем в огромных осадительных бассейнах-отстойниках происходит отделение мелочи и масла. Окончательное удаление материала с размером частиц несколько микрон и остатков масла происходит в батареях песчаных фильтров, которые периодически промываются обратным потоком.

По этой причине больше 100 тыс. тонн в год этой окалины на металлургических заводах Украины вывозится в отвал.

Например, на ПрАО «Донецксталь-металлургический завод» в год образуется около 10 тыс. Из них около 5 тыс. отправляются в другие цеха и столько же отправляется на сторону.

Утилизация замасленной окалины вызывает большие трудности, особенно мелкой (крупность частиц до 100 мкм) из вторичных отстойников, содержащей до 20-30 % масел. Промасленная окалина является загрязняющую среду фактором. Проблема утилизации замасленной окалины в настоящее время решается в основном в одном направлении - обезмасливание с получением чистой, легко утилизируемой окалины. Однако и химическое (отмывка химическими реагентами), и термическое (выжигание масла) обезмасливание - дорогостоящие процессы, создающие дополнительные экологические осложнения в виде проблемы регенерации промывных вод, очистки отходящих газов.

Наиболее рациональным решением рассматриваемой проблемы может служить окускование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов с помощью технологии брикетирования.

В отличие от брикетирования без связующих веществ, возможности которого ограничены, технология брикетирования с их использованием, хотя и более сложная по технологическому и конструктивному оформлению, является универсальным способом окускования материалов. Определяющее значение при этом имеют вид и свойства связующих веществ. Качество брикетов зависит не только от вида и свойств связующего, но и от крупности и гранулометрического состава брикетируемого материала, состояния поверхности частиц и влажности.

Таким образом, предложенная технология обеспечивает максимальное снижение отрицательного воздействия прокатного производства на окружающую среду.

---

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

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

1. Стамбулжи Г.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА НА ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРОХОТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ .....	5
2. Парахин Р.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ КОКСА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ .....	6
3. Парахин И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ГОРЕНИЯ И СКОРОСТИ ДУТЬЯ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ...	7
4. Минакова Ю.А. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ УЛУЧШЕНИЕМ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ .....	8
5. Безруков В.В. СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ С ДОБАВКОЙ ОБЫЧНОГО И КАЛИБРОВАННОГО ВОЗВРАТА .....	9
6. Чудаков Д.В. ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МАТЕРИАЛА КОКСОВЫМ ОРЕШКОМ .....	10
7. Ильченко В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОКСОВОГО ОРЕШКА И МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЕНСАЦИИ .....	11
8. Качан Ю. П., Тросцінський Т.Р. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ МЕТАЛОБРУХТУ СІРИХ ЧАВУНІВ .....	13

## МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

1. Барановский В.А., Антонов Б.О. ИЗУЧЕНИЕ ИЗНОСА КОНВЕРТЕРНОЙ ЛЕТКИ ВО ВРЕМЯ ВЫПУСКА СТАЛИ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	15
2. Антонов Б.О., Барановский В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛА И ШЛАКА В РАЙОНЕ ЛЕТКИ В НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ВЫПУСКА .....	17
3. Петрищев А.С. СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ТУГОПЛАВКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНЦЕНТРАТОВ .....	19
4. Бондаренко Є.К., Капусняк О.О. КОМПЬЮТЕРНА МОДЕЛЬ ШИХТОВКИ І ПРОДУВКИ КОНВЕРТОРНОЇ ПЛАВКИ .....	21
5. Ткаченко Ю.Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКОВ .....	22
6. Верзилов А.П. ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИВКИ СТАЛИ ЧЕРЕЗ ШИБЕРНЫЙ ЗАТВОР ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ .....	24

7. Кирпьяков Г.С., Верзилов А.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ .....	26
--	----

## **ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ**

1. Егоров К.В. ОБРАБОТКА СТАЛИ В КОВШЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ ПОДВЕРГНУТЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ В АГРЕГАТАХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА .....	29
2. Зайцева К.И., Мамчик Д.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ В ВАННЕ КОНВЕРТЕРА .....	31
3. Кулик Д.О. ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА С УЧЕТОМ МАССЫ «БОЛОТА» В ДСП .....	32
4. Писковатсков К.Э. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВРЕМЯ КОНТАКТА МЕТАЛЛА И ВЫСОКООКИСЛЕННОГО ПЕЧНОГО ШЛАКА НА ВЫПУСКЕ .....	33
5. Чаленко В.В., Когтев С.А. ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ НА УКП ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОДУВКИ АРГОНОМ .....	35
6. Уткин А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ШЛАКОВОЙ ВАННЕ ПЕЧИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ...	37
7. Резникова-Сербененко Ю.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА СЕРЫ В ГАЗОВУЮ ФАЗУ ПРИ КИСЛОРОДНОЙ ПРОДУВКЕ .....	39
8. Кролік К.С., Бабій О.І. ВПЛИВ ТЕРМОЦИКЛУВАННЯ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	41

## **ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

1. Герасимук В.Н. ОСОБЕННОСТИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ МЕДИ НА РОТОРНОЙ МНЛЗ .....	44
2. Цепкова Л.Ю. АЛЮМИНИЙ И ЕГО РОЛЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	46
3. Гончар Д.П. ЛОКАЛИЗАЦИЯ РУД ТИТАНА .....	47
4. Однойко Ю.С. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	48
5. Дорошок Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДОВ .....	49

6. Гурова В.В. ПОДГОТОВКА ВТОРИЧНОГО СВИНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ К ПЛАВКЕ . . . . .	50
7. Кушнир В.С. ПРИМЕНЕНИЕ БОРСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ МЕДНЫХ СПЛАВОВ . . . . .	52
8. Базюк М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МЕДИ ОГНЕВОГО РАФИНИРОВАНИЯ . . . . .	53

### **ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

1. Пугач А.А. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА . . . . .	56
2. Завиднюк В.Ю. ДЕФОРМУВАННЯ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ В СУБКРИТИЧНОМУ ІНТЕРВАЛІ ТЕМПЕРАТУР . . . . .	58
3. Скрыпник Р.С. ПРОИЗВОДСТВО ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТА НА ДВУХКЛЕТЬЕВОМ РЕВЕРСИВНОМ СТАНЕ . . . . .	59
4. Дмитриченко А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ . . . . .	61
5. Кравченко Е.А., Подобный С.О. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ . . . . .	63
6. Крючков П.Г. АНАЛИЗ РЕЖИМА ОБЖАТИЯ ЗАГОТОВКИ В КОЛЕСОПРОКАТНОМ СТАНЕ . . . . .	65
7. Подобный С.О., Кравченко Е.А. РАЗРАБОТКА МАЛОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ . . . . .	67
8. Косилов О.В., Митьев А.П., Мазур И.П., Черкашина Т.И. РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ В ЖИДКО-ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ . . . . .	69
9. Зинкевич П.И. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕДИ МЗ В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ПОЛУЧЕНОМ МЕТОДОМ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ . . . . .	71

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

1. Плещицер Ю.А. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНОДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ . . . . .	74
--	----

2. Чуйкина С.А. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ТЕНДЕНЦИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ .....	75
3. Максакова А.А. ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ И ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ НЕЕ .....	77
4. Безкровная А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ДЕФЕКТОВ ВОЗНИКШИХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ ИЗ СТАЛИ 40X «СЕЛЕКТ» .....	79
5. Бондарчук В.В. ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАЛЛАДИЯ .....	80
6. Мельник О.С. АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЛИВАРНИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ВТОРИННОГО АЛЮМІНІЮ .....	81
7. Оголь А.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ МЕДНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	82
8. Пономарёва И. В. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫПУЧИХ СРЕД .....	83
9. Грачев А.И. К ВОПРОСУ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛКОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВО-КРАМАТОРСКОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА .....	84
10. Зюзина О.А. ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ РСД-32 .....	86
11. Стукало О.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН Т5К10 ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....	87
12. Колодяжная М.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ ПО ТОЛЩИНЕ ЛИСТОВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ С ПОСЛЕДЕФОРМАЦИОННЫМ УСКОРЕННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ .....	88
13. Молчанова Ю. В. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ КОНТАКТА ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ПАЙКИ .....	90
14. Вислогузова Е.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ СТАЛИ 70ХЗГНМФ .....	91
15. Сидоренко Е.С. Бугаёва Т.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ .....	92
16. Пильова І.В. ВПЛИВ РЕЖИМА НАГРІВУ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ НА СТРУКТУРУ ЗВАРНИХ ЛАНКІВ ЛАНЦЮГІВ ІЗ СТАЛІ 23Г2А .....	93

17. Щеникова Е. А. ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ .....	94
18. Данилова Ж.Ю. ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ .....	95
19. Федчук І.В. ВПЛИВ ЦЕМЕНТАЦІЇ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ МАРКИ 20Х3МВФ-Ш .....	97
20. Артюхова Т.Ф. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ СТАЛІ 45 .....	99
21. Рыбка Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛАСТИН ПРЕССФОРМ ИЗ СТАЛИ Х12 .....	101
22. Минько О.А. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА. ....	102
23. Плескот Н.Л. ОЦІНКА ЯКОСТІ СТРУКТУРНОГО СТАНУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСКОВОЇ БОРОНИ ІЗ СТАЛІ 65Г .....	103
24. Рыбакова Д.С., Приймачук Ю.В. О ВЛИЯНИИ АРМИРОВАННОГО СЛОЯ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ .....	105
25. Зализная Ю.Н. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА СИСТЕМЫCo-28Cr-6Mo, ПОЛУЧЕННОГО ТЕХНОЛОГИЕЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА .....	106

### **ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

1. Волкова Т.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДОГРЕВА ДОМЕННОГО ГАЗА НА ПРОЦЕССЫ ЕГО СЖИГАНИЯ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ .....	109
2. Гак А.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОКСОВОЙ ВАГРАНКИ .....	111
3. Манойлов Д.В. ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА .....	112
4. Усов А.С. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	114
5. Ткаченко М.И. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПО МИНИМУМУ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ ..	115
6. Комиссарова Е. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ ОТ ВОДОРОДА В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ ....	116

7. Сапронова Ю.М. ТЕПЛОМАССОБМЕН И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ . . . . .	117
8. Моторина Т.А. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ РЕЧИ С ЦЕЛЬЮ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ (РЕКУПЕРАТОР) . .	119
9. Наконечная М.С. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА КОТЕЛЬНОЙ МР 18 ГОРОДА ДОНЕЦКА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТЭР . . . . .	120
10. Колесникова И.В. РАЗРАБОТКА ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ .	121
11. Орехова С.В. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ СОВМЕСТНОМ УДАЛЕНИИ ИЗ ЖИДКОЙ СТАЛИ РАСТВОРЕННЫХ В НЕЙ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА . . . . .	122
12. Сибирцева Ю.С. РАЗРАБОТКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА РАЗЛИЧНОГО СОРТАМЕНТА . . . . .	124
13. Дробот С.Г. ПОСТРОЕНИЕ МОМЕНТАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ РЕАКТОРОВ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ . . . . .	125
14. Гнитиёв П.А. РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕЗ-ГАЗА . . . . .	127
15. Алехина Н.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РЕАКТОРАХ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА . . . . .	129
16. Анастасьев Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ ОТ ВОДОРОДА ПРОДУВКОЙ АРГОНОМ . . . . .	131
17. Заика А.А. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛО И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРАХ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ . . . . .	132
18. Редько Н.Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДУТЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ . . . .	133
19. Саковенко О.Г. ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛИЗАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СМЕШАННОГО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА . . . . .	134

### **Секция «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»**

1. Назаренко Е.В. ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ . . . . .	136
--	-----

2. Вертела С.А. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ .....	137
3. Григоренко К.С. ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА .....	138
4. Панасенко Е.С. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ КАК СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ .....	139
5. Стрельцов Р.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОГО СЖАТИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ПАРОВОГО ПУЗЫРЬКА В ЖИДКОСТИ .....	141
6. Копейка Д.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ДОНБАССЕ: ЗА И ПРОТИВ .....	142
7. Ананьева Ю.О. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА АО «ПО КОНТИ» .....	143
8. Берчук С.С. УТИЛИЗАЦИЯ СЕРОВОДОРОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ .....	144
9. Христенко Д.И., Басенко О.С. ПРЕИМУЩЕСТВА УТИЛИЗАЦИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	145
10. Тараненко А.Ю. АНАЛИЗ ВОЗДУШНОЙ КОНВЕРСИИ КОКСОВОГО ГАЗА .....	147
11. Ревко Е.В. СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕГАЗОВОЙ СМЕСИ В КОТЛАХ ТПП – 312А БЛОКА 300 МВт ЗАПОРОВСКОЙ ТЭС .....	148
12. Ктиторов В.В. ПЛАЗМЕННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ .....	150
13. Гармаш О.С. АНАЛІЗ РОБОТЫ КОТЕЛЬНОЇ ЦОФ «ДЗЕРЖИНСЬКА» І ВИБІР ОБЛАДНЕННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВЛАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	151
14. Подколзина И.И., Сагир О.Г. К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ .....	152
15. Глебова Е. М. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТА КАК ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ТЕПЛООВОГО НАСОСА .....	153
16. Швец А.С. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАКУУМНЫХ И ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ .....	154
17. Онуфриева О.С., Кононенко Е.Ю. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ .....	155
18. Пожидаев А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПРИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ .....	156
19. Васильев В. В. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	158
20. Угрюмов С.С., Попова А.П. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ПАРОТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ...	159

21. Литвиненко А.В., Мершевой А.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ БЛОКА 200 МВт ЛУГАНСКОЙ ТЭС .....	160
22. Наумова К.И., Шмелева Ю.В., Наконечная М.С. ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОАУДИТА В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ НАД ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ МИКРОРАЙОНА ШИРОКИЙ .....	161
23. Олефиренко М.С., Безбородов Д.Л. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПОДАЧИ ПЫЛИ К ГОРЕЛОЧНЫМ УСТРОЙСТВАМ .....	162
24. Панченко Я.С., Силка Т.С. ВНЕДЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЕТСКИХ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ .....	163
25. Качковский А.Д., Буслов И.В. МОДЕЛЬ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ .....	164
26. Буслов И. В. СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА .....	166
27. Остапенко М.Н., Голдынский Г.А. МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА АКХЗ ПУТЕМ СИНТЕЗА УГЛЕВОДОРОДОВ .....	168
28. Разумов М.И. ТЕПЛООБМЕНА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ .....	170
29. Голдынский Г.А. Остапенко М.Н. ОБРАБОТКА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТУ, С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛООВОГО НАСОСА .....	172

### **ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ**

1. Каштальян Г.В. КОЛОКОЛЬНЫЙ ЗВОН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА, И ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ .....	175
2. Нікітіна Г.В. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПАТ «ДФДК» .....	176
3. Сафонова М. Ю., Володіна М.С. МІЖНАРОДНІ ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ ISO 14000 І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ .....	177
4. Шмелева Ю.В., Наумова К.И., Наконечная М.С. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ, ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ .....	178
5. Мишина А.Н. УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	179

6. Суханова А. А. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	180
7. Очеретнюк А. А. РЕЦИРКУЛЯЦИЯ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ГАЗОВ ...	182
8. Шевелева А.А. ИЗМЕНЕНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ДРУЖКОВСКОМ МЕТИЗНОМ ЗАВОДЕ .....	184
9. Монастырёва А. В. НОВЫЕ СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	185
10. Самброс Ю.А. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В АГРЕГАТАХ БЕСКОКСОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....	187
11. Панченко Е. И. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ .....	188
12. Данилова Ю.С. ПОДГОТОВКА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ .....	190
13. Долгий А.А. УТИЛИЗАЦИЯ ЗАМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ .....	192
14. Насанова Ю.В., Бородина А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАФИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ (ГСП) МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ УТИЛИЗАЦИИ .....	194
15. Понька Н. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	195
16. Ткаченко С.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГУБЧАТОГО ЖЕЛЕЗА .....	197
17. Чикида И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ: ДИОКСИДА СЕРЫ, ОКСИДА АЗОТА И ПЫЛИ .....	199
18. Крамаренко Е.Г. УТИЛИЗАЦИЯ ЗАМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЫ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ .....	200