

P A S S D E S I G N . R U



ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК 3.1

**«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Спец-
альный выпуск 3.1**

Дата опубликования: 11.05.2014.

Издается в авторской редакции

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: Кинзин Дмитрий Иванович.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Д.И. Кинзин – кандидат технических наук, доцент.

Технический редактор:

С.А. Левандовский – кандидат технических наук, доцент.

Адрес редакции: 455000, г.Магнитогорск, ул. Ломоносова, 34, 8.

Адрес в Интернет: www.passdesign.ru.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций и входит в базу дан-
ных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77–51759 от 23.11.2012

ISSN 2308-6440

СОДЕРЖАНИЕ

С.А. Губанов, Д.Н. Чикишев

Ускоренное контролируемое охлаждение, применяемое на толстолистовых станах для производства высокопрочных сталей 4

Т.М. Насыров, В.Н. Летимин

Железорудные брикеты для доменной плавки..... 11

Т.М. Насыров, В.Н. Летимин

Отходы металлургических предприятий Южного Урала и проблема их утилизации..... 19

Т.М. Насыров, В.Г. Дружков

Получение агломерата из миниокатышей в лабораторных условиях ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» 26

В.А. Бигеев, Ю.А. Колесников, Д.С. Сергеев

Обзор вариантов использования пылевидных, железосодержащих металлургических отходов..... 33

Д.А. Спиридонов, Е.В. Ишкова

Анализ способов устранения изгиба холоднокатаной полосы в процессе асимметричной прокатки..... 38

В.Н. Петухов, Э.Ф. Буранова, С.К. Сибагатуллин

Улучшение качества пылеугольного топлива для доменной плавки..... 48

У.В. Наумова, Н.В. Скарлыгина

Использование 3d атласов оборудования для подготовки молодых специалистов горно-металлургической отрасли..... 53

Сведения об авторах 59

С.А. Губанов, Д.Н. Чикишев

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

УСКОРЕННОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ НА ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАНАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

В статье приведена классификация существующих способов ускоренного охлаждения, применяемых на отечественных и зарубежных толстолистовых станах. Рассмотрены основные особенности температурных режимов и их влияние на микроструктуру стали.

Ключевые слова: горячая прокатка, ускоренное охлаждение, высокопрочные стали, толстолистовой стан.

Увеличение протяжённости трубопроводов для транспортировки углеводородного топлива создаёт потребность в трубах большого диаметра, выполненных из высокопрочных сталей. Постройка новых магистральных трубопроводов в районах Крайнего Севера и сейсмоопасных районах, а также необходимость в увеличении пропускной способности неизбежно повышает требования к трубным сталям.

Существует несколько способов повышения механических и эксплуатационных свойств. К ним можно отнести легирование, термообработку, контролируемую прокатку и ускоренное охлаждение. Наиболее перспективным направлением развития технологии производства высокопрочных сталей является контролируемая прокатка с последующим ускоренным контролируемым охлаждением (УКО). Охлаждение осуществляется с прокатного нагрева путём отведения тепла охлаждающей средой (водой), подаваемой на поверхность горячего раската. При этом способ и скорость подачи воды на металл существенно влияют на конечные свойства готового проката. Для возможности производства

конкурентоспособной продукции большинство современных толстолистовых станов (ТЛС) оборудованы установками контролируемого охлаждения, которые располагаются в линии стана за прокатной клетью [1, 2].

Технико-экономическая обоснованность применения УКО на ТЛС продиктована рядом достигаемых преимуществ:

- повышение качества и потребительских свойств продукции;
- снижение себестоимости за счёт снижения содержания дорогостоящих легирующих элементов, а так же за счёт отсутствия необходимости дополнительной термической обработки;
- повышение производительности стана;
- расширение сортамента.

Существующие установки контролируемого охлаждения можно классифицировать по нескольким признакам.

По схеме перемещения охлаждаемого листа:

- одновременного охлаждения, при котором подача воды осуществляется на всю поверхность раската одновременно. При этом возникает проблема ограничения длины раската из-за ограниченной длины зоны охлаждения установки;
- последовательного охлаждения, при котором полоса равномерно и последовательно движется через зону охлаждения.

По способу подачи воды на поверхность существующие установки ускоренного охлаждения можно разделить на охлаждающие устройства (рис. 1):

- ламинарными струями;
- струями воды из форсунок (душирующие);
- водяной подушкой;
- водо-воздушной смесью;
- водяной завесой.

Реализуемые режимы можно разделить на три основных типа:

- ускоренное охлаждение (ACC – Accelerated Controlled Cooling);
- прямая закалка (DQ – Direct Quench);

– закалка с самоотпуском (DQST – Direct Quench and Self Tempering).

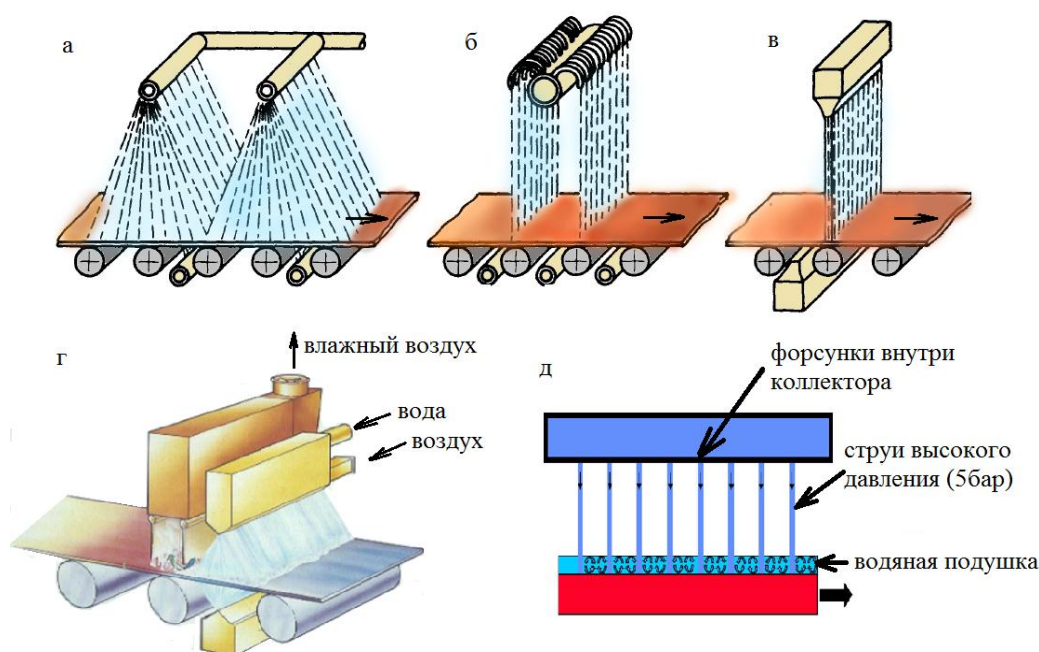


Рис. 1. Способы подачи воды в установках ускоренного охлаждения:

а – душированием; б – ламинарными струями; в – водяной завесой;
г – водо-воздушной смесью; д – водяной подушкой

Режим АСС можно разделить на мягкое и жёсткое (НАСС) ускоренное охлаждение. Мягкое охлаждение осуществляется со скоростью $10-20^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $450-550^{\circ}\text{C}$ (выше температуры мартенситного превращения). Жёсткое ускоренное охлаждение протекает со скоростью $20-50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $200-450^{\circ}\text{C}$. При данных режимах происходит измельчение зёрен феррита и перлита и возможно образование бейнита и игольчатого феррита, что, в свою очередь, обеспечивает комплекс свойств класса прочности X80. На рисунке 2 показан температурный режим АСС [3].

Прямая закалка DQ осуществляется с высокими скоростями охлаждения (свыше $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$) и последующим отпуском до комнатной температуры. Изменение температуры режима DQ изображено на рисунке 3.

Режим закалки с последующим самоотпуском DQST производится с высокой интенсивностью отведения тепла с поверхности листа. Скорость охлаж-

дения при этом превышает $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Подача воды осуществляется до того момента, пока температура поверхности не опустится ниже температуры мартенситного превращения, после чего происходит самоотпуск за счёт тепла внутренних слоёв металла для снятия внутренних напряжений. Полученная при этом мартенситная или бейнитно-мартенситная структура обеспечивает комплекс механических свойств, соответствующих классу прочности X100-X120. Температурный режим закалки с самоотпуском изображён на рисунке 4.

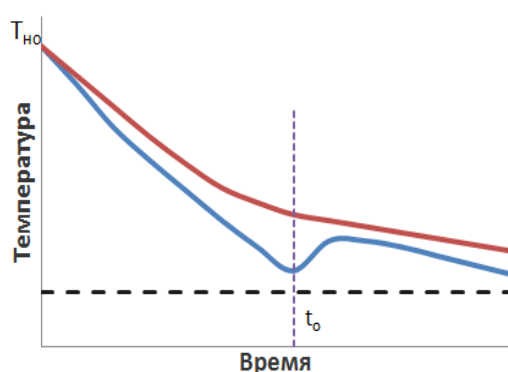


Рис. 2. Температурный режим ACC

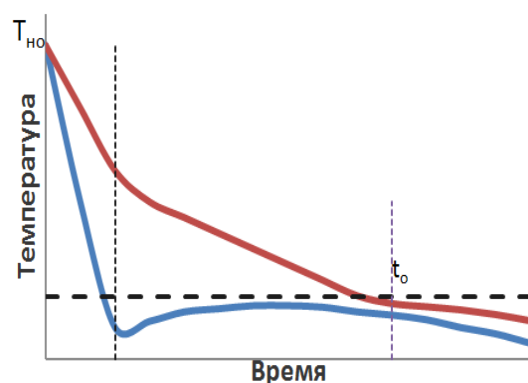


Рис. 3. Температурный режим DQ

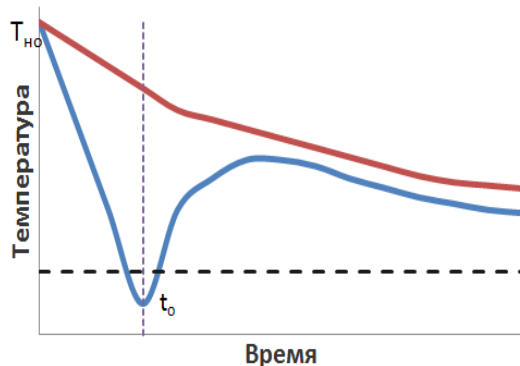


Рис. 4. Температурный режим DQST

На рис. 2-4: $T_{\text{но}}$ — температура начала охлаждения; t_0 — время охлаждения.

— температура на поверхности;
 — температура в центре;
 - - - температура мартенситного превращения

Первыми ускоренное контролируемое охлаждение в промышленных масштабах применили в Великобритании в 1962 году на широкополосном стане. Но наиболее сильное развитие системы УКО получили в Японии в конце 70-х годов. Тогда японская компания по производству стали NKK Corporation разработала и ввела в эксплуатацию систему OLAC (on-Line Accelerated Cooling) для производства судостроительного проката. В дальнейшем большинство станов Японии, США и Европы стали оснащаться подобными уста-

новками, что в свою очередь повлияло на создание разнообразных новых систем и конструкций. На данный момент можно выделить наиболее распространенные системы:

- ADCO (Adjust Cooling) – система регулируемого охлаждения;
- ACP (Accelerated Cooling Process) – процесс ускоренного охлаждения;
- CWC (Curtain Water Cooling) – охлаждение водяной завесой;
- DAC (Dynamic Accelerated Cooling) – динамичное ускоренное охлаждение;
- ICS (Intense Cooling System) – система интенсивного ускоренного охлаждения;
- OLAC (on-Line Accelerated Cooling) – ускоренное охлаждение в потоке стана (дальнейшее развитие системы – Super OLAC);
- KLC (Kobe steel's Accelerated Cooling) – контролируемая прокатка и ускоренное охлаждение Kobe Steel;
- MACS (Multipurpose Accelerated Cooling System) – система универсального ускоренного охлаждения;
- MACOS (Mannesmann Accelerated Cooling System) – система ускоренного охлаждения Маннесманна;
- HDTLFS (High Density Tube Laminar Flow Cooling) – охлаждение ламинарными струями;
- WPC (Water Pillow Cooling) – охлаждение водяной подушкой.

Каждая из представленных систем обладает уникальной конструкцией и комплексом таких технологических характеристик, как способ подачи воды на поверхность, рабочее давление и расход воды, геометрические размеры зоны охлаждения, расстояние от клетки, наличие оборудования для экранирования кромок полосы и т.п. Например, скорость охлаждения, реализуемая системой MULPIC, для толщины листа 10 мм составляет около 80°C/с, тогда как у системы OLAC всего 8-25°C/с. Диапазон регулирования скорости охлаждения для системы KLC при толщине полосы 20 мм составляет 3-25°C/с, а система MACOS при такой же толщине способна реализовать более узкий диапазон –

8-20°C/с. Данные характеристики напрямую влияют на такие технологические параметры реализуемого процесса, как скорость и равномерность охлаждения, производительность, ширина диапазона скоростей охлаждения, выход годного и т.п. Выбор той или иной системы УКО в первую очередь должен быть произведён с учётом сортамента выпускаемой продукции и требуемых к ней показателей механических и эксплуатационных свойств. Также возможно совмещение нескольких систем в линии одного стана для повышения эффективности производства [4].

Растущая конкуренция на рынке металлопроката заставляет производителей повышать качество и потребительские свойства своей продукции, не допуская при этом сильного роста цен. Повышение качества и потребительских свойств продукции возможно за счёт совершенствования производственного оборудования и освоения новых технологий [5-6]. Развитие систем ускоренного контролируемого охлаждения является перспективным направлением в улучшении технико-экономических показателей толстолистовых станов. Основными проблемами систем УКО на данный момент являются:

- обеспечение равномерности охлаждения по толщине листа путём выбора оптимального соотношения между объёмом и скоростью подачи воды с верхней и нижней части листа;
- обеспечение возможности дифференцированного охлаждения разных частей листа (головная и концевая части, кромки) путём применения экранов, форсунок и коллекторов с индивидуальным контролем объёма и скорости подачи воды;
- расширение сортамента выпускаемой продукции в результате увеличения диапазона скоростей охлаждения;
- повышение точности контроля температуры в процессе охлаждения за счёт применения современных автоматизированных систем;
- снижение энергетических и материальных затрат оборудования для снижения себестоимости продукции;
- обеспечение плоскостности полосы при интенсивном охлаждении.

Библиографический список

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2008. 640с.
2. Салганик В.М., Румянцев М.И. Технология производства листовой стали: Учебное пособие. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова». 2013. 320с.
3. Модернизация технологии производства крупногабаритных тел вращения / Д.Н.Чикишев, А.М.Песин, В.М.Салганик, Э.М.Дригун // Материалы 63-й науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг.: Сб. докл. Т.1. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 7-10.
4. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Способы ускоренного контролируемого охлаждения, применяемые в металлургической промышленности // Інтернаціоналізація наукового пошуку: перспективи та проблеми – Частина II: Міжнародна конференція, м. Київ, 28 грудня 2013р. Центр наукових публікацій. С. 19-23.
5. Песин А.М., Салганик В.М., Чикишев Д.Н. Совершенствование технологии производства деталей крупногабаритных тел вращения на основе математического моделирования // Производство проката. 2007. № 3. С. 34-40.
6. Asymmetric rolling: Theory and Technology / A.M.Pesin, V.M.Salganik, H.Dyja, D.N.Chikishev, D.O.Pustovoitov, A.Kawalek // Hutnik-wiadomosci hutnicze. 2012. No 5. P. 358-363.

Т.М. Насыров, В.Н. Летимин

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ БРИКЕТЫ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Брикетирование было первым способом окускования мелких железорудных материалов для доменной плавки чугуна. Для изучения технологических свойств в лабораторных условиях были изготовлены брикеты с использованием в качестве связующего как извести, так и углеродосодержащего – фусов коксохимического производства.

Ключевые слова: доменная плавка, брикетирование, связующие, известь, фусы.

Брикетирование было первым способом окускования мелких железорудных материалов для доменной плавки чугуна. Но с появлением агломерации и позднее окатывания оно потеряло свое значение. В то же время по сравнению с ними брикетирование технологически проще, менее энергоемко и не требует больших капвложений. Особенно ценным является технологическая гибкость брикетирования: возможность окускования самых различных по своим физико-химическим свойствам материалов и получение брикетов практически любого состава с заданными, более высокими технологическими свойствами, чем обычная шихта для доменной плавки чугуна – агломерат и окатыши. Процесс получения брикетов является практически безотходным, протекает при невысоких температурах и, следовательно, является экологически чистым.

Ввиду истощения ряда крупных месторождений железных руд и потери некоторых после распада СССР, а также острой конкуренции на рынке черных металлов проблема снабжения металлургических предприятий сравнительно дешевым и качественным железорудным сырьем в настоящее время существенно обострилась. Особенно остро она стоит в Уральском регионе с его мощ-

ным металлургическим производством. В тоже время здесь имеется ряд значительных и до сегодняшнего дня недостаточно используемых месторождений и других источников железорудного сырья, где брикетирование может оказаться весьма эффективным и даже единственным решением проблемы. К ним можно отнести, например, Бакальское месторождение сидеритовых руд, запасы которых оцениваются более чем в 1 млрд т. Получаемый на базе этих руд высококачественный концентрат обжигмагнитного обогащения (не менее 50% Fe) из-за недостаточной прочности при транспортировке и перегрузках полностью разрушается (до фракции менее 1,0 мм). Установлено, что наиболее эффективным способом окускования концентрата перед его использованием в доменной плавке является брикетирование.

Перспективным является брикетирование охристо-порошкообразных бурых железняков, месторождений которых много на территории России: Бакальское, Зигазино-Комаровское, Алапаевское на Урале, Халиловское и в центральном районе Тульское, Липецкое и другие. В настоящее время из-за трудностей окускования обычными способами эти руды практически не используются. Так, в спецотвалах только Зигазино-Комаровского месторождения их запасы превышают 20 млн т. Эти руды зачастую содержат мало вредных примесей и сравнительно высокое, учитывая легкость восстановления, содержание железа – 44,0% и более. Возможность ввода в состав брикетов углеродосодержащих материалов позволяет полностью нейтрализовать один из серьезных недостатков применения в доменной плавке бурых железняков – повышенный расход кокса. Исследованиями ИЧМ (Украина) установлено, что использование в доменной плавке качественно нового железорудного материала оксидоуглеродосодержащих брикетов может обеспечить сокращение расхода кокса до 300-350 кг/т выплавляемого чугуна (вместо обычных 400-500) и повысить производительность печей на 25-30% [1].

Другим объектом использования брикетирования для расширения базы железорудного сырья металлургических предприятий являются постоянно воспроизводимые и в значительных количествах собственные железосодержащие

отходы. Это, прежде всего, пыль и шламы газоочисток доменных и сталеплавильных цехов, которые по разным причинам утилизируются на большинстве заводов неудовлетворительно и идут в отвалы, шламонакопители и отстойники, загрязняя окружающую среду.

Несмотря на достоинства брикетирования как метода окускования мелких материалов и подготовки железорудного сырья к доменной плавке чугуна, оно до сих пор не нашло применения в отечественной практике. Это объясняется как субъективными причинами (недоверие), так и объективными. К последним обычно относят отсутствие эффективных технологий, обеспечивающих получение брикетов недорогих и необходимого для доменной плавки качества - прочности, химсостава, термостойкости и пр.

Давно и много в вопросе брикетирования мелких материалов с целью их утилизации и подготовки к использованию в доменном и сталеплавильных процессах работала кафедра металлургии стали Магнитогорского горно-металлургического института (в настоящее время кафедра МЧМ МГТУ). В основе разработанных технологий брикетирования лежит способ «холодного» (при низких температурах) прессования с использованием недефицитных, недорогих и даже полезных для металлургических процессов связующих (известь и углеродосодержащие) и послепрессовым упрочнением брикетов путем экологически чистой и энергосберегающей низкотемпературной обработки или просто вылеживания на складе. Учитывая сказанное и с целью оценки эффективности использования разработанных технологий брикетирования для получения железосодержащих (рудных) брикетов и их соответствия требованиям доменной плавки, в 90-х годах по заказу Белорецкого металлургического комбината было выполнено комплексное исследование. Оно включало как изучение технологических свойств брикетов, так и опытно-промышленные испытания технологий брикетирования и самих брикетов в доменной плавке чугуна.

Для изучения технологических свойств в лабораторных условиях были изготовлены брикеты как с использованием в качестве связующего извести (10-20% от «рудной» основы), так и углеродосодержащего – фусов коксохимиче-

ского производства (3-6%). Брикетты цилиндрической формы с площадью основания 5 см^2 и высотой, равной корню квадратному из последней или 21-23 мм (согласно рекомендациям Тюренкова Н.Г. [2]) изготовляли на гидравлическом прессе под давлением 50 МПа (500 кгс/см^2 площади брикета). В качестве железосодержащей основы использовали рудную мелочь (фракцией – 5,0 мм) Туканского месторождения. Были изучены практически все основные технологические параметры брикеттов как рудной части шихты доменной плавки, а именно: прочностные характеристики, пористость и термостойкость.

За показатели прочности были приняты два общепринятых в брикетировании рудных материалов параметра [2]: сопротивление брикеттов раздавливанию и сопротивление удару при сбрасывании с высоты двух метров на металлическую плиту. Считалось, что брикетты имеют необходимую для промышленного использования прочность, если они на раздавливание выдерживали давление в 5,0 МПа, а при сбрасывании (двукратном) количество образующейся при разрушении брикеттов мелочи не превышало 10%.

Эксперименты показали, что получаемые брикетты по прочности отвечают требованиям:

связующее	сопротивление сбрасыванию, МПа	количество сбрасываний до разрушения
известь	11-17	2-3
фусы	13-14	3-4

При многократном сбрасывании брикетты раскалываются на крупные кусочки без образования мелочи. При увеличении давления прессования (до 100 МПа) или длительном хранении на воздухе прочность брикеттов существенно возрастает – на 20-30%. Брикетты имеют высокую влагостойкость.

Пористость брикеттов определяли по стандартной методике (ГОСТ 2409-67) путем насыщения водой под вакуумом. Были получены следующие значения открытой пористости для брикеттов в сравнении с обычными железорудными материалами:

Брикеты при давлении прессования, МПа	Пористость, %
50 (500 кгс/см ²)	31,70-32,88
160 (1600 кгс/см ²)	26,73-29,24

Сравнительные железорудные материалы:

Железорудный материал	Пористость, %
Окатыши ССГОК	21,80-28,40
Агломерат	8,60-15,70
Железная руда	19,30-19,70

Как видно, брикеты имеют существенно более высокую пористость, чем обычные железорудные материалы. Следует предположить, что брикеты также будут иметь и более высокую восстановимость.

Термостойкость – способность выдерживать без разрушения нагрев до температур, имеющих место в верхней части шахты доменной печи, является важнейшим параметром годности железорудного сырья к плавке. Испытания термостойкости брикетов с использованием извести-связки проводили в печи Таммана, имеющей графитовый нагреватель сопротивления и достаточно хорошо имитирующей восстановительные условия верха шахты доменной печи. Нагрев осуществляли до 600°C. Брикеты считались термостойкими, если после нагрева и выдержки при максимальной температуре в течение 20-30 минут сохраняли свою форму (не разрушались). Были испытаны разные брикеты: «сырые» (сразу после пресса), подвергнутые упрочнению сушкой и вылеживанием в течение 5 суток на воздухе. Во всех случаях брикеты сохранили свою форму и даже имели достаточно высокую остаточную прочность:

Вид брикетов	Сопротивление раздавливанию, МПа	Примечание
«Сырые»	2	Видны трещины
Упрочненные сушкой	2-3	Видны трещины
Упрочненные вылеживанием	2-6	Трещин нет

При испытании на «сбрасывание» брикеты разрушались с первого раза, но без образования сколько-нибудь значительного количества пылевидной фракции.

Определение термостойкости железорудных брикетов, изготовленных с использованием углеродосодержащего связующего, проводили на специальной установке лаборатории металлургии чугуна, где они подвергались продувке газом-восстановителем в течение 40 минут при температуре 500°C. Брикеты (как обычные, так и офлюсованные известняковой крошкой) показали высокую термостойкость и не только сохранили форму, но и имели весьма высокую остаточную прочность:

состав брикетов (по шихте)	сопротивление раздавливанию, МПа
100% руда + 6% фусы	50-100
(90% руда + 10% известняк) + 6% фусы	50

Опытно-промышленную апробацию технологии получения брикетов для доменной плавки и самих брикетов проводили в доменном цехе «БМК». Брикетирование выполняли на оборудовании отделения брикетирования экспериментальной установки по получению губчатого железа. Смесь исходной шихты готовилась в бегунковом смесителе модели 15101 (литейный чашечный). Масса одной порции смеси составляла 300 кг. Прессование выполняли на гидравлическом горизонтальном прессе модели Б 6238. Брикеты цилиндрической формы диаметром 150 мм и высотой 120-130 мм весили 3-4 кг. Состав рудной части шихты брикетов был следующий: 55% железной окалины и 45% колошниковой пыли. Расход извести-связки от рудной массы шихты составлял 20%. Всего было переработано 21 т железосодержащих отходов и получено порядка 25 т брикетов. Было установлено, что брикеты необходимой «сырой» прочности получают при сравнительно низких давлениях – не более 60 МПа. При падении в коробку брикеты, как правило, не разбивались. Повышение давлений прессования свыше 100 МПа (до 230) сопровождалось, из-за эффекта перепрессовки, появлением трещин на цилиндрической поверхности брикетов и понижением их прочности. Послепрессовое упрочнение брикетов производили путем их выдержки в коробках в течение 7-10 суток. После перегрузки их на платформу (думпкар) партия брикетов состояла в основном из целых кусков. Даже после

выгрузки брикетов на эстакаде рудного двора доменного цеха с большой высоты они сохранили кусковатость (не менее 10 мм) и практически не содержали вредной пылевидной фракции.

Загрузка брикетов в доменную печь была выполнена концентрированно (за время не более 4-х часов). Рудная часть шихты в этот период состояла из двух вагонеток с окатышами и одной – с брикетами. Заводской контроль за работой доменной печи в период проведения эксперимента не показал ухудшения хода доменной плавки и увеличения выноса пыли. Состав чугуна на протяжении всего его выпуска в период проплавки брикетов соответствовал действующим на БМК требованиям.

Учитывая положительные результаты экспериментов и истощение запасов собственных кусковых руд Туканского месторождения, на БМК в 2001 году было принято решение о строительстве промышленной фабрики и организации на базе собственных железосодержащих отходов, рудной мелочи и порошковых руд производства 80-100 тыс. т рудных брикетов. Для получения рудных брикетов в проекте фабрики предусматривалась установка высокопроизводительных (до 50 т/ч) вальцевых прессов фирмы «Спайдермаш» (Екатеринбург). Опытно-промышленный вариант этих прессов с бандажами классической конструкции (для получения подушкообразных брикетов) и желобчато-зубчатыми прошел всесторонние и успешные испытания на «БМК».

Выводы

1. Как метод подготовки к доменной плавке железорудного сырья брикетирование имеет по сравнению с традиционными способами окускования (агломерацией и окатыванием) ряд преимуществ: простота и технологическая гибкость процесса окускования; высокое качество рудных брикетов как шихты; низкие капвложения и расходы по переделу; безотходное и экологически чистое производство.

2. Предлагаемые технологии «холодного» брикетирования с использованием недорогих и полезных для доменной плавки связующих – известь и углеродосодержащие, низкотемпературной упрочняющей обработкой обеспечивают получение брикетов недорогих и необходимого для доменной плавки качества.

Библиографический список

1. Рутковский В.В. Разработка технологии получения офлюсованных углеродосодержащих брикетов с высокими металлургическими свойствами. Автореф. дис. ... Днепропетровск, 1985. 26 с.
2. Тюренков Н.Т. Брикетирование руд. М: Metallurgizdat, 1948. 128 с.

Т.М. Насыров, В.Н. Летимин

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

ОТХОДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРОБЛЕМА ИХ УТИЛИЗАЦИИ

На ММК в настоящее время ежегодно газоочистками сталеплавильных и доменных цехов улавливается свыше полумиллиона тонн шламов и пылей. Главной объективной причиной неудовлетворительного использования их в собственном производстве металлургических предприятий является высокое содержание в них цинка. Существует два способа рециклинга железо-цинкосодержащих пыли и шлама в процессы выплавки стали: путем вдувания их в металл струей газа-носителя и в окускованном виде. Наиболее эффективным способом окускования последних является их брикетирование с предварительным обесцинкованием.

Ключевые слова: утилизация, рециклинг, брикетирование, обесцинкование.

Большие успехи на Южном Урале достигнуты в уменьшении загрязнения атмосферы, количество промышленных выбросов за последние 20 лет сократилось в два раза. Значительно хуже обстоит дело с нейтрализацией вредного влияния на окружающую среду (почву и воду) твердых технологических отходов, которые образуются на металлургических предприятиях в огромных количествах и утилизируются неудовлетворительно. Так, только в Уральском регионе их ежегодное воспроизводство превышает в настоящее время 120 млн т, из которых 75% приходится на Южный Урал. На данный момент на предприятиях Челябинской области уже накопилось 4 млрд т промышленных отходов, которые могут быть пущены на переработку. В целом, в Российской Федерации уже накоплено порядка 100-120 млрд т твердых отходов и ежегод-

но дополнительно воспроизводится еще 5-7 млрд т. Из них в настоящее время, в той или иной степени, используется 2 млрд т (в основном это сталеплавильные и доменные шлаки). Остальные мелкие и особенно мелкодисперсные (например, железосодержащие шламы и пыли газоочисток сталеплавильных и доменных цехов) по разным причинам утилизируются неудовлетворительно и в основном идут в отвалы, шламонакопители и различные отстойники или подвергаются захоронению. Это сопровождается не только потерей ценного сырья для собственного металлургического и других производств, но и приводит к изъятию из оборота больших площадей, загрязнению окружающей среды и, как следствие, к дополнительным экономическим потерям (по данным зарубежных источников более 100 \$ на тонну отходов).

На ММК в настоящее время ежегодно газоочистками сталеплавильных и доменных цехов улавливается свыше полумиллиона тонн шламов и пылей, из которых утилизируется в аглодоменном производстве не более 50%. Сталеплавильные шламы и пыли, наиболее богатые железом, идут в полном объеме в шламонакопители или подвергаются захоронению. К настоящему времени только в левобережномшламоотстойнике и гидроотвале накопилось порядка 4 млн т богатых железом (50-60% Fe) шламов и в шламохранилище №2 – свыше 12 млн т с содержанием 30% Fe.

Главной объективной причиной неудовлетворительного использования железосодержащих шламов и пыли в собственном производстве металлургических предприятий является высокое (с тенденцией увеличения) содержание в них цинка. Содержание последнего выше 0,3-0,5% делает невозможным их использование в доменной плавке (в производстве железорудных окатышей и агломерата для нее). В то же время количество цинка в шламах (пыли) кислородно-конвертерных цехов уже сейчас превышает 1,0%. Особенно много цинка (до 20-35%) накапливается в пыли газоочисток электросталеплавильных цехов. Наибольшее применение в практике обесцинкования железосодержащих пылей и шламов перед их использованием в аглодоменном производстве получили пирометаллургические способы, сочетающие процессы твердофазного восста-

новления оксидов углеродосодержащими материалами (кокс или уголь) с возгонкой металлического цинка, свинца и других летучих примесей (аналог способа «Вельц-процесс» в цветной металлургии). Достоинством пирометаллургических способов обесцинкования пылей и шламов металлургических предприятий является возможность получения высокой степени удаления цинка и свинца (до 75-90%) с одновременным получением металлизированного железосодержащего продукта для производства чугуна и стали. Но у них имеются крупные недостатки: сложность технологической схемы и систем улавливания пыли; большие капитальные затраты, энергоемкость и расходы по переделу; высокая пирофорность (до самовозгорания) получаемого металлизированного продукта (губчатого железа); возможность загрязнения окружающей среды и, зачастую, достаточно высокое остаточное (превышающее допустимые 0,5%) содержание цинка в железосодержащей части продукта и серы. Из-за этого в большинстве случаев пирометаллургические процессы обесцинкования пылей и шламов нерентабельны и существуют за счет дотаций, выделяемых на защиту окружающей среды. По данным крупнейшей сталелитейной компании «Гамбургерштаальверке» (г. Гамбург, Германия), предварительное обесцинкование тонны пыли с получением чернового цинкового концентрата (до 32% Zn) обходится ей в 100 евро.

Ввиду несовершенства и неэкономичности существующих методов обесцинкования железо-цинкосодержащих пыли и шламов, а также быстрого развития электросталеплавильного производства и ужесточения требований к экологии в 70-х годах прошлого столетия была предложена идея и позднее реализована программа рециклинга (возврата) железо-цинкосодержащих пылей и шламов в собственное производство металлургических предприятий без предварительного их обесцинкования. Основным объектом рециклинга являются сталеплавильные агрегаты, где по причине окислительного характера процесса вредного влияния цинка (как в доменной печи) не наблюдается. Как показала практика, возврат пыли и шламов газоочисток металлургических цехов в сталеплавильные процессы позволяет увеличить в них содержание цинка в 6-10 раз (до

50-65%). На заводах фирм «Крупп» и «ДДС» (Германия) такая пыль окусковывается и в качестве сырья отправляется на заводы цветной металлургии.

Существует два способа рециклинга железо-цинкосодержащих пыли и шлама в процессы выплавки стали: путем вдувания их в металл струей газа-носителя и в окускованном виде. Рециклинг пыли сухих газоочисток электродуговых печей путем ее инъекции в собственный процесс выплавки стали на 100- и 140-тонных ДСП используется фирмами «КЕР» (Германия), «DDS» (Дания) и «К^о Стил Ширнес» (Англия). Учитывая ненадежность пневмосистем транспортировки и ввода пыли в металл струей газа-носителя, фирмой «Стелко» (Канада, 1993-94 гг.) были проведены исследования по ее подаче в плавильный агрегат в окускованном виде. На заводах фирмы в Хилтоне было переработано 50 тыс. т пыли в конвертерах вместимостью 150 т и в Лейк-Эри – 30 тыс. т шламов собственных газоочисток – в 230-тонных. Предварительно пыль и шлам были подвергнуты окускованию, соответственно, брикетированием и методом экструдированного прессования. Транспортировка и загрузка окускованных материалов не вызвала никаких организационных затруднений. Экструдированный материал подавали в цех в мешках, а брикеты – конвейерами и загружали по-разному: с ломом в завалку или через верхний бункер, до и после слива чугуна или вместе с сыпучими. В процессе окускования для компенсации тепловых потерь в смесь для получения экструдированного материала добавляли углеродосодержащую колошниковую пыль и шлам доменного производства (по 17% каждого) и брикетов – коксовую мелочь (22%). При любом варианте подачи в конвертер окускованных материалов выбросов во время плавки не было. Уровень содержания кислорода в камине системы отвода газов остался на безопасном уровне. Содержание серы и фосфора в металле было на обычном уровне. Замкнутый цикл переработки электропечной пыли осуществляется в настоящее время на заводах фирм «Bethlehem Steel», «Badcock and Wilcox», «Empire-Detroit Steel», «LASCO», «ARMCO», где электропечная пыль добавляется в шихту в виде окатышей или брикетов. Фирма “Crucible Steel” (США) повторно использует всю пыль, образующуюся в электросталеплавиль-

ном цехе на заводе в Мидленде. На этом заводе выплавляют легированную сталь. Рециркуляция пыли способствует более полному использованию легирующих элементов, присутствующих в шихтовых материалах.

Эффективно возврат железоцинкосодержащих шламов и пылей в сталеплавильное производство может быть осуществлен за счет изготовления на их основе углеродосодержащих шлакообразующих и оксидо-угольных окускованных материалов. Первые позволяют радикально улучшить процесс шлакообразования и, как следствие, повысить стойкость футеровки плавильных агрегатов, улучшить процессы десульфурации и дефосфорации и увеличить выход годной стали на 1-2%. Шлакообразующие материалы в виде брикетов были испытаны в мартеновских и двухванных печах (ММК – 1961 и 1988 гг., завод им. Дзержинского и «Азовсталь») и конвертерах (заводы им. Петровского, «Криворожсталь» и ММК – 1995 г.). Исследования, выполненные Волгоградским государственным техническим университетом, и опытные плавки на металлургических предприятиях «Красный Октябрь» и Белорусском металлургическом заводе показали, что железосодержащие оксидо-угольные материалы (брикеты) могут быть эффективно использованы в электросталеплавильном производстве как заменители дефицитных и дорогих чугуна и стального лома.

Как шлакообразующие, так и оксидо-углеродистые предварительно окускованные материалы необходимого состава можно получить только брикетированием. Отсутствие эффективного производства брикетов на металлургических комбинатах на основе мелких отходов (хотя попытки делались давно и везде) является основным препятствием на пути внедрения рециклинга железоцинкосодержащих отходов в практику сталеплавильного производства.

В МГТУ в результате многолетней работы, в основном на ММК и БМК, создана оригинальная и эффективная технология производства самых различных брикетов (шлакообразующих и оксидо-углеродистых) из самых различных материалов и мелких отходов, в том числе с высокой степенью увлажнения (до 20% влажности – частично обезвоженные шламы). Технология прошла опытно-промышленную проверку на штемпельных прессах огнеупорного производства

ММК (1961, 1988 и 1995 гг.), штемпельных и вальцевых прессах отделения брикетирования доменного цеха БМК (1991 и 2001 гг.). Вариант утилизации цинко- и железосодержащих шламов металлургических цехов с получением шлакообразующих брикетов для сталеплавильного производства в 1984 году прошел экспертизу в головном, тогда по улавливанию и утилизации пылей металлургических предприятий, институте «ВНИИПИчерметэнергоочистка» (г. Харьков) и получил одобрение. Магнитогорский Гипромез дважды (1984 и 1991 гг.) делал проектную проработку организации производства шлакообразующих брикетов на основе мелких отходов (по технологической схеме МГТУ) в пристрое к зданию вакуум-фильтрационной установки (ВФУ) ГОП ММК. Оценка показала, что капиталовложения на реализацию проекта (организацию производства 600-800 тыс. т брикетов) не превысят 60-80 млн руб., при сроке окупаемости не более одного года. Организация участка (отделения) брикетирования, кроме утилизации железосодержащих шламов, позволит вернуть в производство и утилизировать с большим эффектом другие мелкие отходы. Более того, 26.06.1995 г. на заседании технического совета ММК было принято решение «...о применении на ОАО «ММК» технологии производства шлакообразующих брикетов... в программе строительства 3-го конвертера...». На БМК в 1995 году по нашей технологии была начата реконструкция огнеупорного цеха с целью организации производства в нем 1 млн т рудных брикетов на основе отсевов рудной мелочи и порошковых охристых руд Туканского месторождения и мелких отходов металлургического передела. Но по ряду объективных и субъективных причин на тот момент проекты не были реализованы.

Реализация природоохранных мероприятий требует, как показала мировая практика, значительных материальных и финансовых затрат и зачастую является для металлургических предприятий убыточным делом. Учитывая это, впервые Министерством промышленности Челябинской области была разработана программа «Переработка отходов Челябинской области» на 2012-2015 гг., которая предусматривает создание благоприятных условий для привлечения отечественных и зарубежных инвестиций в сферу переработки отходов и сти-

мулирование создания новых конкурентоспособных производств для решения этой задачи. Законодательному собранию области рекомендовано рассмотреть вопрос о внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» по экономическому стимулированию природоохранных мер для промышленных предприятий, а областному правительству проработать вопрос предоставления для этого инвестиционных кредитов и налоговых льгот. В частности, было предложено затраты на реализацию природоохранных мероприятий включить в счет всей суммы платы за негативное воздействие на окружающую среду.

В настоящее время в Челябинской области и, в частности, в Магнитогорске, где работа была начата раньше всех (в 1960 г.), сложились благоприятные условия для решения проблемы утилизации вредных отходов металлургических предприятий и ликвидации загрязнения ими окружающей среды: имеются необходимые кадры (научный потенциал) с многолетним опытом работы и конкретные научно-технические разработки, которые прошли опытно-промышленную проверку и проектно-конструкторскую проработку, определены пути финансирования. Осталось немного, но без чего нельзя решить эту перзревшую проблему, это – «политическая» воля.

Т.М. Насыров, В.Г. Дружков

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

**ПОЛУЧЕНИЕ АГЛОМЕРАТА ИЗ МИНИОКАТЫШЕЙ
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ
ФГБОУ ВПО «МГТУ ИМ. Г.И. НОСОВА»**

В лабораторных условиях ФГБОУ ВПО МГТУ им. Носова проведены исследования по получению гибридного агломерата по японской технологии. Результаты исследований дают возможность увеличения высоты спекаемого слоя.

Ключевые слова: окомкование, спекание, гибридный агломерат.

Ввиду истощения крупных месторождений железных руд в Уральском промышленном регионе с его мощным металлургическим производством проблема снабжения металлургических заводов относительно дешевым и качественным железорудным сырьем в настоящее время существенно обострилась. Здесь имеется ряд значительных и не разработанных месторождений бедных руд.

При обогащении таких руд получают фракцию 0,074 мм. Поэтому решение проблем окускования тонкодисперсных материалов является важным процессом в условиях современной экономики.

Основным продуктом окускования тонкоизмельченных концентратов являются окатыши. Однако они обладают достаточно серьезным недостатком – низкой горячей прочностью. На некоторых аглофабриках мира тонкий концентрат спекают, получая агломерат – наилучшее сырье для доменных печей. Спекание тонкоизмельченного концентрата ограничено возможностями эксгаустеров, так как такое сырье имеет очень низкую газопроницаемость.

Япония и Украина являются «первооткрывателями» нового вида железорудного сырья – гибридного агломерата (агломератышей). Это сравнительно новый продукт окускования тонкодисперсного железорудного сырья, объединивший в своей технологии стадии процессов получения как агломерата, так и окатышей.

С 80-х годов прошлого века в Японии [1-4] начато производство гибридного агломерата по технологии HPS (Hybrid Pelletized Sinter). Гибридный агломерат получают в несколько стадий (рис. 1).

Согласно японской технологии сначала проводится предварительное окомкование тонкодисперсных концентратов в гранулы (миниокатыши) крупностью 5-10 мм в тарельчатых грануляторах. Затем в барабанном окомкователе на полученные гранулы накатывается тонкоизмельченное твердое топливо (коквик или уголь). Далее полученный полупродукт отправляется на агломерационную машину конвейерного типа на спекание [5, 6]. Спекание производится на агломашине, отличающейся от обычной наличием зоны сушки перед зажигательным горном.

Предварительное окомкование тонкоизмельченных концентратов позволило увеличить высоту спекаемого слоя за счет улучшения газопроницаемости спекаемого слоя, а накатывание топлива на поверхность миниокатышей достичь частичного плавления кальциевого феррита и получить конечную структуру гибридного агломерата, состоящую главным образом из магнетита с высокой восстановимостью.

Анализ применения гибридного окускованного сырья в Фукуяма и Курасики (Япония) при выплавке чугуна подтвердил, что по своему гранулометрическому составу оно близко к стабилизированному агломерату. Даже при наличии в гибридном агломерате 7-8% мелочи крупностью 0-5 мм проплавка его в доменной печи приводит к увеличению производительности ее и снижению расхода твердого топлива [4]. По данным исследования полученный в лаборатории гибридный продукт содержит 61,9% $Fe_{общ}$; 25,0% – FeO ; 7,8% – SiO_2 ; 5,87% – CaO ; После длительного хранения прочностные

характеристики материала находились на уровне ДСТУ 3200-95: прочность на удар $M^{+5} = 75,0\%$, прочность на истирание $M^{-5} = 6,5\%$ [9].

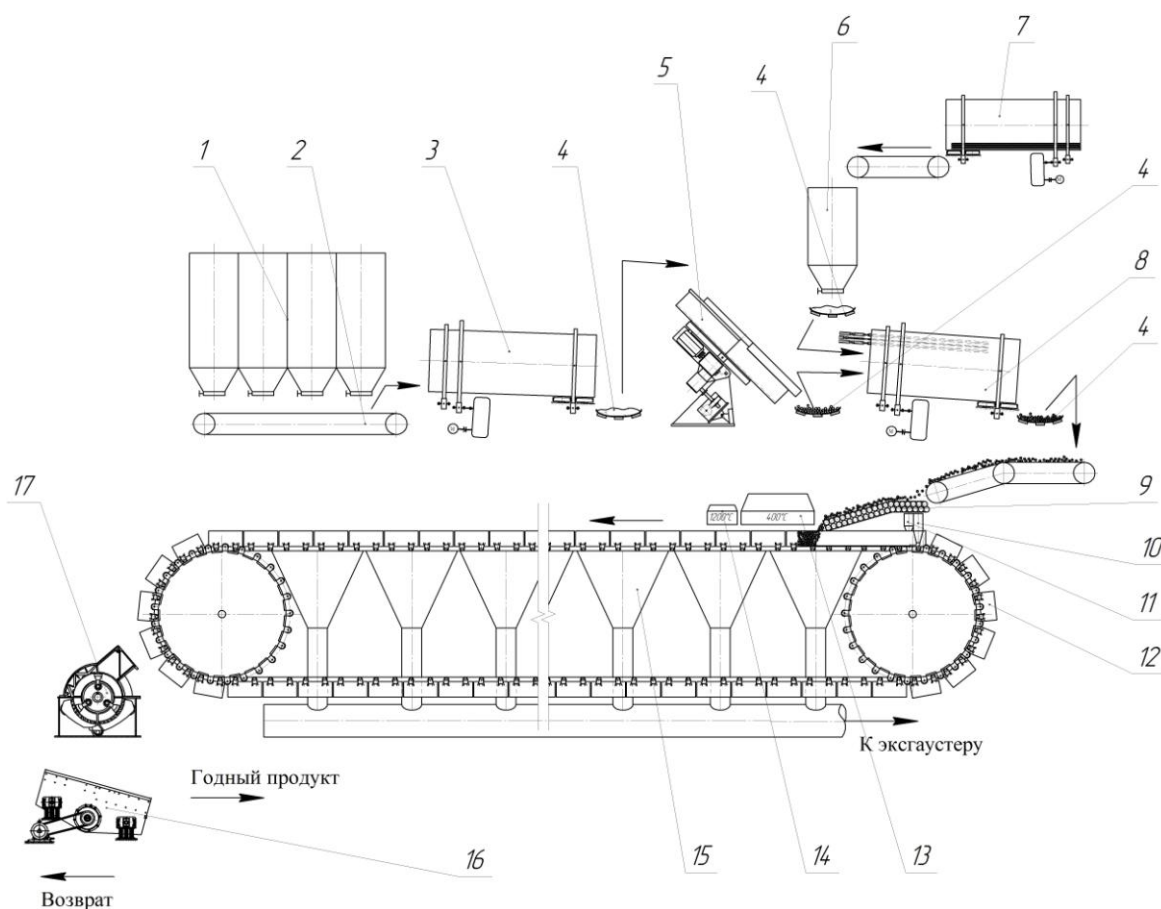


Рис. 1. Технологическая схема промышленного оборудования для производства агломерата процессом НПС: 1 – шихтовые бункеры; 2 – сборочный транспортер; 3 – смесительный барабан; 4 – ленточный транспортер; 5 – тарельчатый гранулятор; 6 – коксовая (угольная) мелочь; 7 – стержневая мельница; 8 – барабанный окомкователь; 9 – роликовый укладчик; 10, 11 – бункера донной и бортовой постели; 12 – паллета; 13 – зона сушки; 14 – зажигательный горн; 15 – вакуум-камера; 16 – грохот; 17 – роторная дробилка

Украинская технология производства гибридного агломерата существенно отличается от японской. Первая стадия производства агломератышей по украинской технологии заключается в производстве сырых окатышей высокой и низкой основности. После дозировки по массе 50 на 50 процентов последние смешиваются и загружаются на обжиговую машину. В

зоне обжига в высокоосновных окатышах образуется жидкой фазы более 20% от объема окатышей [10]. Капиллярные силы не в состоянии удержать расплавы внутри окатыша, они выходят на поверхность, смачивают низкоосновные окатыши и образуют мениски. В зоне охлаждения расплавы кристаллизуются, образуя спеки. Недостатком украинской технологии, по нашему мнению, является то, что основным железорудным минералом таких агломератышей является гематит. А, значит, при восстановлении в шахте доменных печей возможно разбухание и разрушение их как у традиционных окатышей.

В России проводятся первые шаги на пути к данной технологии: на ОАО «НЛМК» введен узел комбинированного способа окомкования шихты барабанный-тарельчатый смесители [7].

В 2013 году в лаборатории подготовки сырья ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» была проведена серия опытов по получению гибридного агломерата из концентрата ОАО «ММК» по японской технологии.

Технология производства гибридного агломерата включала в себя: измельчение железорудного, угольного сырья, известняка и коксика; рассеивание по фракциям; дозирование и смешивание компонентов шихты; окатывание шихты до получения миниокатышей (гранул) в лабораторном тарельчатом грануляторе; накатывание твердого топлива на миниокатыши; рассеивание полученных гранул по крупности; проверка прочностных характеристик миниокатышей; сушка гранул оптимальной крупности; спекание миниокатышей на лабораторной аглочае; испытание полученного гибридного агломерата на прочность и истираемость; исследование микроструктуры полученного продукта.

Выявлено оптимальное время окомкования тонкого концентрата без накатывания коксика на поверхность и при накатывании его.

Опытным путем был выявлен рациональный размер миниокатышей (рис. 2) при высоте спекаемого слоя 240 мм. Увеличить высоту слоя не позволяли параметры установки.



Рис. 2. Полученные в лабораторном грануляторе миниокатыши

Полученные миниокатыши подвергали упрочняющей сушке в сушильном шкафу при температуре 300°C в течение 1 ч. Еще горячие высушенные миниокатыши загружали в спекательную чашу лабораторной агломерационной установки.

Полученный продукт по макроструктуре напоминал «гроздь винограда» (рис. 3, 4). Была проведена серия опытов по проверке гибридного агломерата на холодную прочность и истирание.

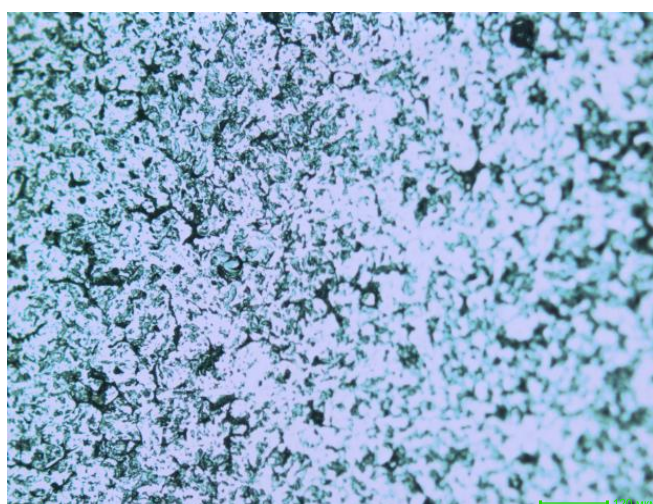
Были изготовлены аншлифы полученного гибридного агломерата и сделаны фотографии микроструктуры (рис. 5). В дальнейшем планируется изучение фазового и химического состава полученного гибридного агломерата.



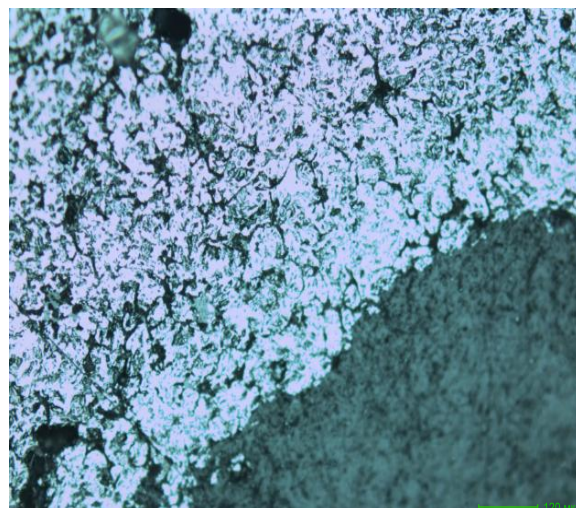
Рис. 3. Гибридный агломерат
с оптимальным расходом
твердого топлива



Рис. 4. Гибридный агломерат
с избытком твердого топлива



а



б

Рис. 5. Микроструктура гибридного агломерата, полученного в лабораторных условиях ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»: а и б – соответственно низ и середина агломерационной чаши

Библиографический список

1. Progress of granulation technology for sinter mixture at JFE Steel / T.Higuchi, N. Oyama, T. Kamino, K. Yamashita // Zairyo to Pros-esu=CAMP ISIJ. 2010. №1. P. 125-128.

2. The improvements of granulation technique for sintering efficiency developing / S.Kawachi, S. Kasama // Zairo to Prosesu=CAMP ISIJ. 2010. №1. P. 121-124.
3. Development of sinter mixture granulation at Nisshin Steel Kure works / O.Tadashi, Y. Sassa, S. Naoya et al. // Zairo to Prosesu=CAMP ISIJ. 2010. №1. P. 117-120.
4. Нива Я. Промышленное производство окускованного рудного доменного сырья с массовым использованием руды с низким содержанием пустой породы // Экспресс-обзор. Новейшие зарубежные достижения. 1993. №6.
5. Суліменко С. Енергозберігаюча технологія керованого рідкофазного спікання гібридного залізорудного матеріалу для доменного переділу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпропетровськ, 2010.
6. Инадзumi Т. Новейшие достижения в агломерации железных руд // Тэцу то хаганэ. 1996. Т 82. №12. С. 965-974. Яп.
7. Исаенко Г. Совершенствование технологии комбинированного окомкования, загрузки, зажигания и спекания агломерационной шихты, Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Липецк., 2011.
8. Близнюков А.С. Развитие процесса окомкования аглошихты в Японии // Новости черной металлургии за рубежом. 2011. №1. С. 14-20.
9. Влияние гибридного совмещения методов интенсификации агломерационного процесса на показатели спекания и качество агломерата / С.Е. Сулименко, Н.В. Игнатов, В.В. Бочка, В.Н. Ковшов, Е.Е. Вылупко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. №12. С. 3-6.
10. Бережной Н.Н., Федоров С.А., Билоус В.Н. Исследование получения прочного окускованного сырья с самоплавкой пустой породой из высококремнеземистых железорудных концентратов // Повышение эффективности работы доменных печей. 1983. С. 11-15.

В.А. Бигеев, Ю.А. Колесников, Д.С. Сергеев
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

ОБЗОР ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ, ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

В статье рассмотрены различные методы улавливания и преобразования железосодержащих, пылевидных отходов металлургического производства с удалением из них цветных металлов и последующим повторным использованием.

Ключевые слова: металлургическая пыль, техногенные отходы, применение вторичного сырья, окружающая среда, переработка, газоочистка.

В числе главных производственных задач современного времени стоит комплексное использование сырья различных металлургических переделов. Представлен обзор вариантов применения железосодержащих отходов, образующихся на металлургическом производстве.

Комплексное применение техногенных отходов металлургических предприятий приобретает особую значимость в свете роста проблем окружающей среды и снижения содержания главных компонентов исходного сырья. Приоритетным направлением полноценного использования сырья в металлургии является оптимальная полнота извлечения главных и сопутствующих элементов, утилизация отходов обогащения различных видов руд. Помимо всего прочего, металлургия – весьма ресурсо- и энергоемкая отрасль. К сожалению, даже при наличии технологии извлечения ценных компонентов железной руды большинство полезных материалов сбрасывается в отвалы. Помимо основных компонентов руд (Fe, Mn, Cr) также встречаются Ti, W, Ni, Zn, Co, Cu и т.д. [1].

Реализация большинства металлургических процессов идет со значительным пылеобразованием. Пыль нужно улавливать и подвергать утилизации, из-

влекать содержащиеся в ней металлы, поддерживать должный уровень защиты окружающей биосистемы. С этой целью используют комплексы мокрого и сухого пылеулавливания. Одной из проблем является присутствие цинка и свинца, ухудшающих ход технологических процессов и качественных показателей.

Пыль может применяться в металлургическом переделе в качестве одного из шихтовых компонентов. Увы, повышенное количество цинка и свинца ухудшает качество стали и чугуна, нарушает рабочий ход печей, происходит увеличение концентрации данных металлов внутри печей при повторном использовании.

США имеет несколько вариантов отделения и утилизации цветных металлов из металлургической пыли. Одно из решений основано на различии в хрупкости, твердости, прочих свойствах соединений железа, свинца и цинка. Пыль, вылетающая из металлургических агрегатов, последовательно накапливается в электрофильтрах, далее в скрубберах мокрой очистки (после частичного удаления влаги) поступает в дробилку (селективное дробление). Готовый мелкодисперсный продукт состоит главным образом из соединений цинка и свинца, а более укрупненный, в основном, из оксидов железа. С целью сортировки продукта по размерам используют специализированные вакуумные сепараторы, осаждающие более мелкие частицы. Крупные же поступают в фильтры-прессы, после проходят сушку и агломерацию, возвращаясь в металлургический передел. Из сепараторов осажденные крупницы цветных металлов направляются на вторичное использование.

Чтобы провести удаление оксида цинка из колошниковой пыли, реализуют ее смешивание с отработанным травильным раствором. Большая часть оксида цинка растворяется, переходя в сульфат и хлорид цинка. Осадок оксида железа и менее 0,5 мас. % оксида цинка затем используют в шихте для окускования.

Различные опыты с выщелачиванием кислот (азотной, уксусной, серной и т.д.) водными растворами показали способность водных растворов серной кислоты растворять практически полностью весь цинк колошниковой пыли с уче-

том его определенного содержания (около 120 г/л). С меньшим содержанием понижается растворение цинка и начинается нежелательное растворение железа. Водный раствор уксусной кислоты (250 г/л), легко восстанавливаясь, переводит в себя около 90% свинца, 75% цинка. Весьма перспективен двухстадийный процесс выщелачивания: на первом этапе свинец экстрагируется водным раствором уксусной кислоты; на втором этапе проходит выщелачивание цинка водой [2].

В США на обогатительных фабриках отходы используются либо отдельно, либо вместе с концентратами и рудой. К примеру, на заводе фирмы «Bethlehem Steel» все отходы предприятия утилизируют на аглофабрике; на заводе фирмы «Inland Steel» весь агломерат спекают из одних сталеплавильных отходов. Также разработан процесс комплексной подготовки железосодержащих пылей, шламов коксовой мелочи, а также замасленной окалины методом комплексного брикетирования со связующей добавкой каменноугольного пека. В шихте доменных печей используются брикеты в количестве до 105 кг/т шихты.

Фирма «Pelletech» использует сталеплавильную и колошниковую пыль совместно с мелкодисперсной окалиной, негашеной известью (от 4 до 5% по массе), а также кварцевой мукой в количестве от 1 до 2 мас. %. Компоненты смешивают с водой, выдерживая несколько часов и обеспечивая этим условия для гидратации извести. После описанных этапов идет гранулирование и сушка полученных окатышей, применяемых в домне, в количестве 10% от массы шихты.

На территории Германии был создан процесс преобразования и утилизации пылей электрофильтров металлургических предприятий. Из электрофильтров пыль равномерно поступает в бассейн, наполненный водой, в который вводят щелочь, дозируемую таким образом, чтобы $pH = 9,3-9,8$. Такие условия переводят соли свинца и цинка в нерастворимые соединения. Создаваемая однородная суспензия поступает в смеситель, где разбавляется водой в соотношении 1:2. Уровень pH понижают дополнительным вводом щелочи до 8,7-9,0. В про-

цессе последующего осветления (длительность 30-60 мин) и обезвоживания шлама в пресс-фильтре образуется кек с влажностью около 40%, содержащий 8-12% свинца и 25-35% цинка. Применяется на заводах цветной металлургии.

Заводы «August Thyssen-Hutte AG» (Германия), «British Steel» (Англия) и др. транспортируют сухую сталеплавильную пыль на усреднительные склады, где проводят ее утилизацию вместе с окалиной в количествах до 100 кг/т агломерата. Шламы подают в барабаны-окомкователи.

Существует разновидность процесса Midrex, совместно разработанная компаниями «Kobe Steel» и «Midrex corporation» – процесс получения губчатого железа Fastmet, впервые реализованный в 1995 году на заводе японского города Какогава. Исходные сырьевые материалы – железорудный концентрат и восстановители (коксовая мелочь, измельченный уголь). Этот процесс прямого восстановления железа позволяет утилизировать пыли электросталеплавильного, доменного и кислородно-конвертерного производства.

Аналогично может быть использован процесс Itmk3, разработанный «Kobe Steel» (Япония). Он является разновидностью процесса Fastmet, который, в свою очередь, также является разновидностью процесса Midrex. Главной отличительной чертой процессов является температурный режим ПВП (печи с подвижным подом), а также вид готового полупродукта. Аналогично большинству процессов, осуществляемых в ПВП, Itmk3 позволяет улавливать цинк из перерабатываемых материалов на уровне 95%.

Перспективен процесс PRIMUS, созданный фирмой «PAUL WURT» и реализуемый в цилиндрической, вертикальной, мультикамерной печи с располагающимися друг над другом стационарными подами (тип этажерки). Исходными шихтовыми материалами выступают мелкодисперсная железная руда или металлургические отходы (конвертерные, доменные шламы, пыль ДСП, прокатная окалина) и углесодержащие материалы в качестве восстановителя. Энергия для процесса вырабатывается благодаря теплу, выделяющемуся при полном дожигании СО и летучих веществ угля. Цинк и свинец сырьевых мате-

риалов восстанавливаются, испаряются и окисляются в потоках газа, улавливаясь в системе газоочистки с рукавными фильтрами [3].

Анализ показывает, что основным вектором применения мелкодисперсных отходов металлургического производства является замыкаемый цикл использования внутри предприятия с возможным извлечением цветных металлов.

Внедрение новых технологических этапов, дающих максимальный энергосберегающий, природоохранный эффект и экономию ресурсов, может быть достигнуто за счет грамотно-выстроенной, комплексной системы преобразования различных видов сырья, а также эволюции согласованности уровней технологической инфраструктуры.

Библиографический список

1. Андоньев С.М., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Харьков: Металлургия, 1998. 246 с.
2. Лебединец Ю.П. Опыт организации работ по утилизации и размещению промышленных отходов // Сталь. 1999. № 6. С. 87-90.
3. Абильтграад. О., Педпрсен Ж., Оверграад Ж. Снижение пылевых выбросов в атмосферу при выплавке стали в электродуговых печах // Новости черной металлургии за рубежом. 1996. № 2. С. 68-69.
4. Троянский А.А., Клягин Г.С., Ростовский В.И. Технология рециклинга пылевыноса сталеплавильных агрегатов с извлечением цветных металлов // Сталь. 2002. № 8. С. 119-122.

Д.А. Спиридонов, Е.В. Ишкова

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УСТРАНЕНИЯ ИЗГИБА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ПОЛОСЫ В ПРОЦЕССЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ

В работе представлен обзор способов предотвращения изгиба переднего конца холоднокатаной полосы при асимметричной прокатке, а также описаны факторы, влияющие на направление изгиба. Предлагается использовать смещение рабочего вала по направлению процесса прокатки для устранения нарушения прямолинейности концов полосы на выходе ее из валков.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, рассогласование скоростей рабочих валков, смещение рабочего вала.

Актуальность

Для повышения конкурентоспособности отечественной листовой продукции на зарубежных рынках проблема совершенствования технологий формообразования листов является актуальной. Основная цель листопрокатного производства – улучшение качества продукции, повышение точности геометрических показателей листов и полос. Совершенствование технологии позволяет получать полосы и листы заданных геометрических размеров.

Состояние вопроса

Использование процесса асимметричной прокатки позволяет снизить давление металла на валки, уменьшить продольную разнотолщинность полосы и вследствие этого повысить геометрические показатели прокатываемого листа. Асимметрия может быть реализована в виде рассогласования скоростей рабо-

чих валков или использования валков разного диаметра. В случае, если неправильно подобраны коэффициенты асимметрии, такой процесс может нежелательно повлиять на полосу, в частности, в виде избыточного изгиба полосы после выхода ее из очага деформации в вертикальной или горизонтальной плоскости, нарушая тем самым её прямолинейность.

Постановка задачи

Исследование способов управления формой полосы при асимметричной прокатке и предотвращение изгиба полосы после выхода из очага деформации.

Результаты исследования

Рассогласование скоростей рабочих валков позволяет повышать эффективность процесса прокатки, эта разность скоростей рабочих валков заключается в коэффициенте асимметрии [1]. В случае, когда нейтральный угол равен нулю и образуется только одна зона отставания, в очаге деформации образуется область, в которой силы контактного трения направлены в противоположные стороны. Однако при высокой разнице рассогласования скоростей прокатки валков может возникнуть случай, когда сильное отклонение от горизонтальной оси не позволит листу войти во вторую клеть, нарушая тем самым собственно процесс прокатки. Разница скоростей влияет на прямолинейность полосы, полоса изгибается на валок меньшего диаметра, а при разнице в обжатиях изгиб полосы будет в сторону валка большего диаметра. Различие продольных скоростей металла по толщине полосы в плоскости выхода из очага деформации влияет на направление изгиба. В процессе прокатки в клетях, где диаметры рабочих валков равны между собой, но существует разность окружных скоростей рабочих валков, изгиб полосы на выходе из очага деформации будет зависеть от коэффициента рассогласования окружных скоростей валков и коэффициен-

та, характеризующего отношение опережения на валках, с разницей в скоростях (рис. 1):

$$K_i = \frac{1 + i_1}{1 + i_2}; \quad (1)$$

$$K_v = \frac{V_{B1}}{V_{B2}}, \quad (2)$$

где K_i — коэффициент опережения валков;

K_v — коэффициент асимметрии, степень рассогласования скоростей;

V_{B1} и V_{B2} — скорость верхнего и нижнего рабочего валка.

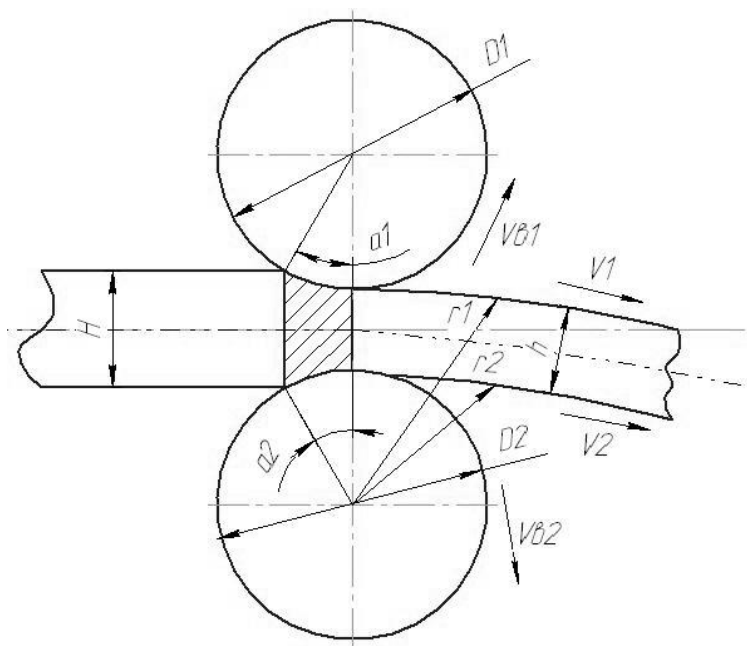


Рис.1. Схема прокатки с рассогласованием скоростей

Изгиб полосы на выходе металла из валков может быть направлен как в сторону большего рабочего валка, так и меньшего, в зависимости от преобладания определенных факторов [2].

Длина верхней поверхности листа:

$$L_1 = V_1 t, \quad (3)$$

нижней

$$L_2 = V_2 t, \quad (4)$$

где V_1 и V_2 – скорость верхней и нижней поверхности листа;

t – время.

С учетом последних выражений получим:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{V_1}{V_2}, \quad (5)$$

где r_1 и r_2 – радиус изгиба полосы со стороны верхней и нижней поверхности полосы,

Поделив радиусы изгиба полосы на выходе из валков со стороны верхней и нижней поверхности, получим:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{V_{B1}(1+i_1)}{V_{B2}(1+i_2)} = K_V \frac{(1+i_1)}{(1+i_2)}; \quad (6)$$

$$K = K_V \frac{(1+i_1)}{(1+i_2)}; \quad (7)$$

$$K = K_V K_i; \quad (8)$$

$$V_1 = V_{B1}(1+i_1); \quad (9)$$

$$V_2 = V_{B2}(1+i_2), \quad (10)$$

V_1 и V_2 – продольная скорость полосы на выходе из валков со стороны верхней и нижней поверхности.

$$i_1 = \frac{(1-e_1)R_1\gamma_1}{h_1}; \quad (11)$$

$$i_2 = \frac{(1-e_2)R_2\gamma_2}{h_1}, \quad (12)$$

где e_1 и e_2 – величина уширения в очаге деформации со стороны верхнего и нижнего валков,

γ_1 и γ_2 – величины критических углов со стороны верхнего и нижнего валков.

Как следует из приведенных равенств, изгиб полосы на валок зависит от соотношения коэффициентов K_V и K_i .

Изгиб полосы будет происходить на валок с меньшей окружной скоростью, если коэффициент $K_V > 1$, а $K_i < 1$.

Изгиб полосы будет происходить на валок с большей окружной скоростью, если коэффициент $K_V > 1$, а $K_i > 1$.

Для случая асимметричной прокатки, когда оба рабочих валка являются приводными и имеют разный диаметр, проблема изгиба полосы может решаться путем задачи металла в очаг деформации под углом.

Основными геометрическими параметрами такого очага деформации являются (рис. 2):

- угол захвата на верхнем валке α_{0B} ;
- угол захвата на нижнем валке α_{0H} ;
- длина контактной поверхности на верхнем валке l_B ;
- длина контактной поверхности на нижнем валке l_H ;
- текущая высота очага деформации h .

Для определения этих параметров получены следующие соотношения:

$$\alpha_{0B} = \sqrt{\frac{h_0 \cos \theta - h_1}{R_B}}; \quad (13)$$

$$\alpha_{0H} = k_R \left(\alpha_{0B} - \frac{h_0}{R_B \sin \theta} \right); \quad (14)$$

$$l_B = R_B \alpha_{0B}, \quad (15)$$

$$l_H = R_H \alpha_{0H}, \quad (16)$$

$$h = h_1 + \frac{1}{2} R_B \left(\frac{k_R + 1}{k_R} \right) a^2, \quad (17)$$

где h_0 и h_1 – соответственно начальная и конечная толщина полосы;

θ – угол входа полосы в очаг деформации;

R_B – радиус верхнего вала;

R_H – радиус нижнего вала;

$k_R = \frac{R_B}{R_H}$ – коэффициент геометрической асимметрии;

α – угловая координата сечения очага деформации.

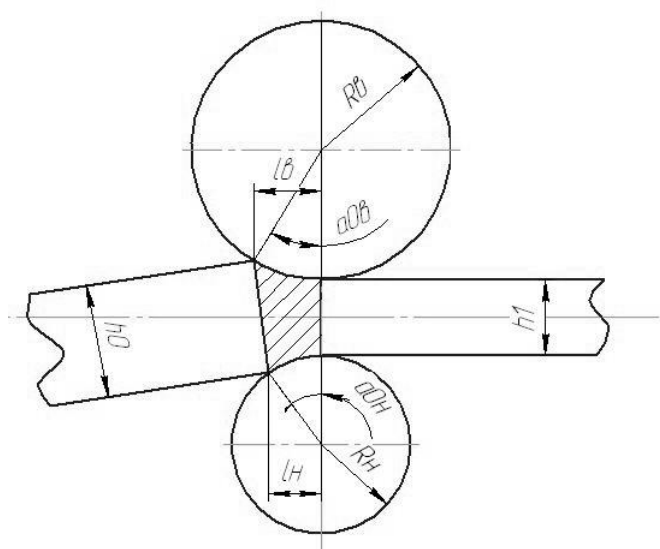


Рис. 2. Схема прокатки с разными диаметрами рабочих валков

Отклонение заднего конца полосы от прямолинейного состояния, его поворот в вертикальной плоскости произойдут в том случае, если продольная скорость верхней и нижней поверхности полосы станут неодинаковыми. Если продольная скорость полосы на входе в валки по верхней поверхности будет больше, чем по нижней поверхности, то задний конец полосы как жесткое тело будет поворачиваться по часовой стрелке на угол.

Дифференциал угла поворота можно записать в виде:

$$d\theta = \frac{\Delta V_0 dt}{h_0}, \quad (18)$$

где $\Delta V_0 = V_{01} - V_{02}$ – разность продольных скоростей между верхней и нижней поверхностями полосы в плоскости входа в валки; t – время.

Продольные скорости на верхней и нижней поверхностях полосы в плоскости входа в валки могут быть записаны виде:

$$V_{01} = \frac{V_{11}}{\lambda_1}, \quad (19)$$

$$V_{02} = \frac{V_{12}}{\lambda_2}, \quad (20)$$

где λ_1 и λ_2 – вытяжка полосы.

С учетом последних равенств разность продольных скоростей между верхней и нижней поверхностями полосы в плоскости входа в валки может быть записана в виде:

$$\Delta V_0 = \frac{V_{11}}{\lambda_1} - \frac{V_{12}}{\lambda_2}, \quad (21)$$

С учетом опережений на верхнем и нижнем валках продольные скорости на верхней и нижней поверхностях полосы в плоскости выхода из валков могут быть записаны виде:

$$V_{11} = V_{B1}(1 + i_1), \quad (22)$$

$$V_{12} = V_{B2}(1 + i_2). \quad (23)$$

Подставляя величины продольных скоростей на верхней и нижней поверхности полосы в плоскости выхода из валков в выражение для ΔV_0 , получаем:

$$\Delta V_0 = \frac{V_{B1}(1 + i_1)}{\lambda_1} - \frac{V_{B2}(1 + i_2)}{\lambda_2}, \quad (24)$$

С учетом последнего выражения равенство для $d\theta$ будет иметь вид:

$$d\theta = \frac{\left(\frac{V_{B1}(1+i_1)}{\lambda_1} - \frac{V_{B2}(1+i_2)}{\lambda_2} \right) dt}{h_0}. \quad (25)$$

Анализируя поворот заднего конца полосы, отметим, что в разный момент времени поворот заднего конца полосы происходит вокруг некоторой точки на грани входа металла в очаг деформации. В общем случае координаты точки поворота изменяются по времени.

Смещение рабочего вала по направлению процесса прокатки, в котором скорость выхода металла из очага деформации меньше, позволяет устранять изгиб переднего конца полосы. Это объясняется тем, что направления изгибов из-за разницы скоростей выхода металла из очага деформации и из-за смещения вала по направлению прокатки противоположны и при определенной величине смещения, равной δ , компенсируют действие один другого. В результате передний конец полосы выходит из валков без изгиба (рис. 3).

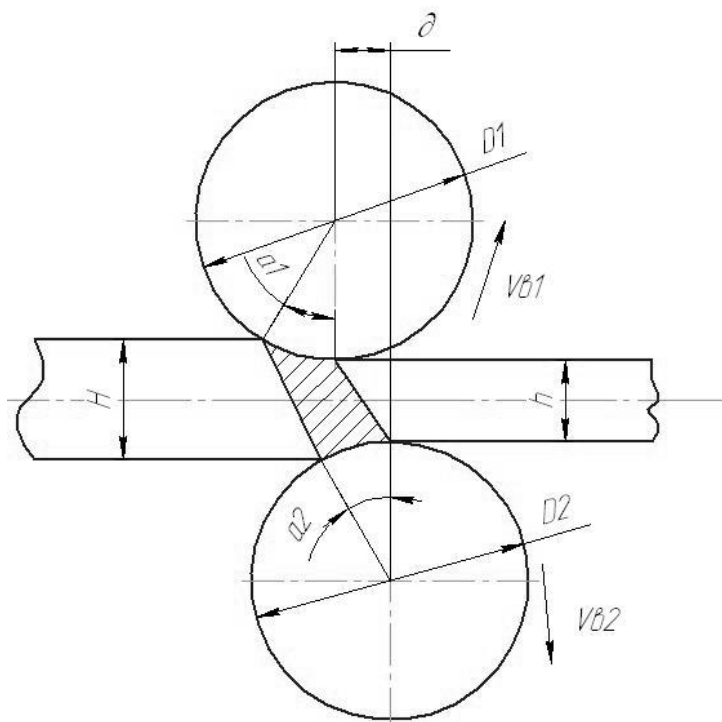


Рис.3. Схема прокатки со сдвигом валков

Необходимые величины смещения вала δ , при которых полностью устраняется изгиб переднего конца полосы определены экспериментально в зависимости от разности скоростей выхода металла из очага деформации. С увеличением разности скоростей необходимая величина смещения δ возрастает сначала прямо пропорционально, а затем по более сложной зависимости [3].

$$\delta = 24,12\Delta V \text{ при } \Delta V < 0,12; \quad (26)$$

$$\delta = 432,71\Delta V^2 - 86,83\Delta V + 7,09 \text{ при } \Delta V \geq 0,12, \quad (27)$$

где δ — величина смещения вала, мм;

ΔV — разность скоростей выхода металла из очага деформации, м/с.

Вывод

В случае разности диаметров рабочих валков из-за действия усилия прокатки валки будут прогибаться неодинаково, что снизит точность размеров прокатываемого металла, нарушится симметрия профиля поперечного сечения листов и нарушится планшетность из-за неравномерности вытяжек. Для задания угла входа и выхода полосы из очага деформации необходимо использовать дополнительные отгибающие ролики, расположенные перед каждой клетью, что приводит к большим затратам в плане реконструкции и энергообеспечения.

Использование клетки с возможностью сдвига рабочих валков позволяет уменьшить изгибы передних концов и упростить подачу полосы в валки следующей клетки. Благодаря регулируемости комплектов валков может быть установлен режим работы как со смещением рабочих валков, так и без смещения. В плане реконструкции клеть не требует больших затрат.

Библиографический список

1. Салганик В.М., Песин А.М. Асимметричная тонколистовая прокатка: Развитие теории, технологии и новые решения. М: МИСИС, 1997. С. 9-10.
2. Максимов Е.А. Изменение геометрии концов полосы при несимметричной прокатке // Оборудование. 2008. № 3. С. 50-53.
3. Пат. 1212636 СССР. Способ асимметричной прокатки полос / А.И.Трайно, А.Ф.Пименов, А.А.Кугушин, О.Н.Сосковец, И.И.Чепелян // Открытия. Изобретения. 1986. № 7.

В.Н. Петухов, Э.Ф. Буранова, С.К. Сибагатуллин
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Исследована возможность снижения зольности пылеугольного топлива при его подготовке более чем в 2 раза применением в качестве реагента-вспенивателя кубового остатка производства этилсиликата-32, а в качестве реагента-собираателя – термогазойля.

Ключевые слова: Пылеугольное топливо, кубовые остатки этилсиликата-32, гидрофобизационная способность, селективность, угольный концентрат.

Применение пылеугольного топлива является перспективным направлением совершенствования работы доменных печей Российской Федерации. Для достижения наилучших результатов в современных условиях при определяющей роли силового взаимодействия потоков шихты и газа необходимо улучшать качество как кокса, так и пылеугольного топлива [1]. Установлено, в частности, что оптимальная величина реакционной способности CRI [2] составляет 32,5%, а горячей прочности кокса CSR [2] – 52,0% [3]. В пылеугольном топливе содержание золы не должно превышать 9%. Внедрение технологии вдувания ПУТ с доведением его расхода до 140-160 кг/т чугуна позволило полностью отказаться от использования природного газа в доменной плавке, снизить расход кокса с 492 до 393 кг/т, повысить производительность с 7719 до 8779 т/сут. [4].

Нами исследовано влияние технических продуктов нефтехимии и нефтепереработки в качестве реагентов-вспенивателей на эффективность процесса флотации угольной мелочи Кузнецкого угольного бассейна с зольностью 18,4%. Подобран оптимальный реагентный режим. В качестве реагентов-

вспенивателей использовали технические продукты: КОБС (кубовый остаток бутиловых спиртов) и КО ЭТС-32 (кубовый остаток производства этилсиликата-32). Для проведения экспериментов выбран уголь ЦОФ «Беловская» зольностью 18,4%. Исследования провели при постоянном расходе реагента-собираателя термогазойля, который широко используется на углеобогатительных фабриках. Расход термогазойля составлял 1,88 кг/т.

Изучение влияния реагентов-вспенивателей при флотации связано с особенностями их группового химического состава. Например, в состав КОБС входит смесь 2-этилгексанола и других октиловых спиртов, альдегидов, ацеталей, эфиров и небольшое количество ненасыщенных углеводородов. Но если заменить атом углерода в бициклических ацеталях на атом кремния, то это приведёт к повышению флотируемости углей, так как наиболее высокой флотационной активностью обладают бициклические кремнийорганические соединения, содержащие в молекуле фенильный радикал, как в составе КО ЭТС-32, в который входят олигоэтоксисиланы, диметилизоалкилоксисиланы, тетраэтоксисилан, бис (триметилсилоксигексан).

В ходе исследования установлено, что повышение расхода реагента-вспенивателя приводит к закономерному повышению выхода концентрата. Так, например, увеличение расхода вспенивателя с 0,04 до 0,10 кг/т привело к увеличению выхода концентрата с 8,7 до 10,2%. Лучшие результаты получены при расходе реагента-вспенивателя 0,04 кг/т. При этом выход концентрата повышался на 1,2% (таблица).

Зольность отходов составила 71%, а извлечение горючей массы в концентрат 94,9%. Дальнейшее увеличение расхода вспенивателя, несмотря на некоторое повышение выхода концентрата, приводит к существенному повышению его зольности. Так, например, при расходе вспенивателя КО ЭТС-32 в количестве 0,1 кг/т зольность концентрата повысилась до 10,2% (рис. 1).

Основной причиной увеличения зольности концентрата при увеличении расхода вспенивателя КО ЭТС-32 следует считать возможность предварительного взаимодействия химических соединений, входящих в технический про-

дукт на минеральных компонентах, что обеспечивает повышенную гидрофобизацию минерализованных угольных зерен и перевод их в пенный продукт.

Таблица

Результаты исследования влияния различных концентраций
реагента-вспенивателя на флотацию угля

Расход реагента			Продукт	Показатель флотации					
				Масса	γ	Зольность	$\sum \gamma$	$\sum Ad$	ξ
собира теля	вспени вателя	общий		г	%				
0,94	0,04	0,98	Концентрат 1	42,8	75,7	8,4	75,7	8,4	84,9
0,47		0,51	Концентрат 2	2,3	6,9	10,3	82,6	8,6	92,5
0,47		0,51	Концентрат 3	0,8	1,2	16,0	83,8	8,7	93,8
			Отходы	4,5	16,2	71,0	100	18,4	
			Исходный	50,0	100	18,4			
0,94	0,06	1,0	Концентрат 1	43,4	76,5	8,5	76,5	8,5	85,8
0,47		0,53	Концентрат 2	2,8	7,0	11,2	83,5	8,7	93,4
0,47		0,53	Концентрат 3	1,1	1,5	17,0	85,0	8,9	94,9
			Отходы	2,7	15,0	74,9	100	18,4	
			Исходный	50,0	100	18,4			
0,94	0,08	1,0	Концентрат 1	44,3	77,2	8,6	77,2	8,6	86,5
0,47		0,53	Концентрат 2	3,0	8,1	13,8	85,3	9,1	95,0
0,47		0,53	Концентрат 3	0,7	1,1	20,5	86,2	9,3	95,8
			Отходы	2,0	13,6	78,0	100	18,4	
			Исходный	50,0	100	18,4			
0,94	0,10	1,04	Концентрат 1	45,3	78,4	9,5	78,4	9,5	86,9
0,47		0,57	Концентрат 2	3,7	8,6	15,5	87,0	10,0	95,9
0,47		0,57	Концентрат 3	0,8	1,2	20,01	88,2	10,2	97,1
			Отходы	0,2	11,8	83,0	100	18,4	
			Исходный	50,0	100	18,4			

Реагенты: собиратель – термогазойль, вспениватель – ЭТС-32.

γ – выход концентрата; $\sum \gamma$ – суммарный выход концентрата; $\sum Ad$ – суммарная зольность; ξ – извлечение горючей массы в концентрат.

Исследования гидрофобизационной способности реагентов-вспенивателей КОБС и КО ЭТС-32 позволили установить, что в случае применения КО ЭТС-32 выход всплывшего продукта в аппарате Халлимонда непре-

рывно повышается с увеличением расхода КО ЭТС-32. При этом выход всплывшего продукта в случае применения КОБС значительно ниже (рис. 2).

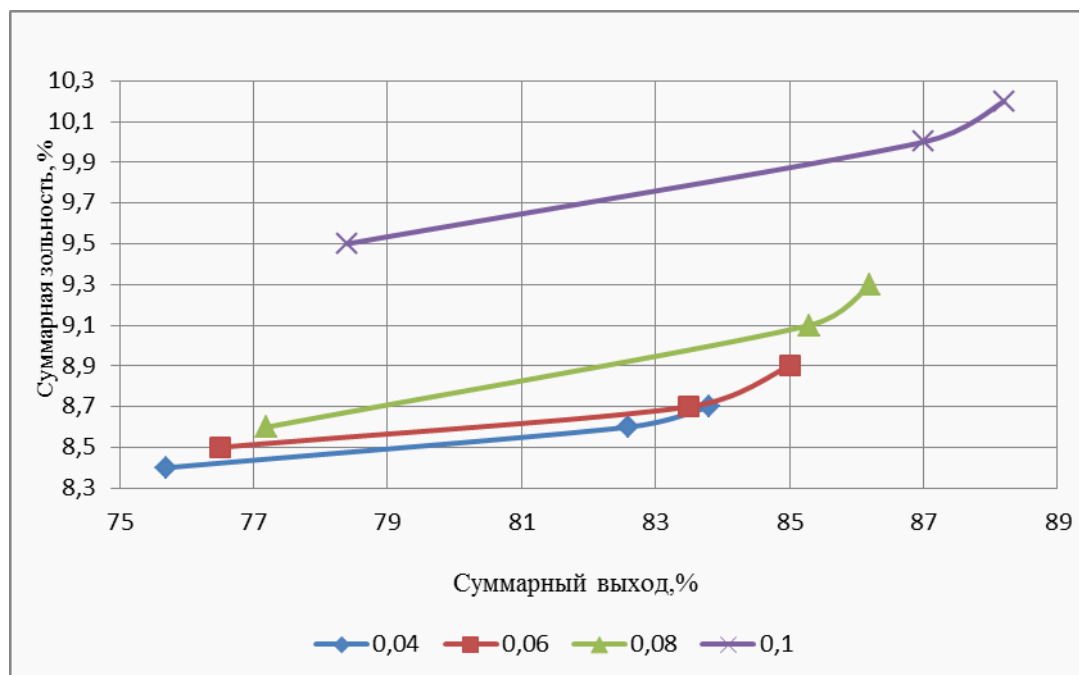


Рис. 1. Влияние различной концентрации КО ЭТС-32 на селективность процесса флотации

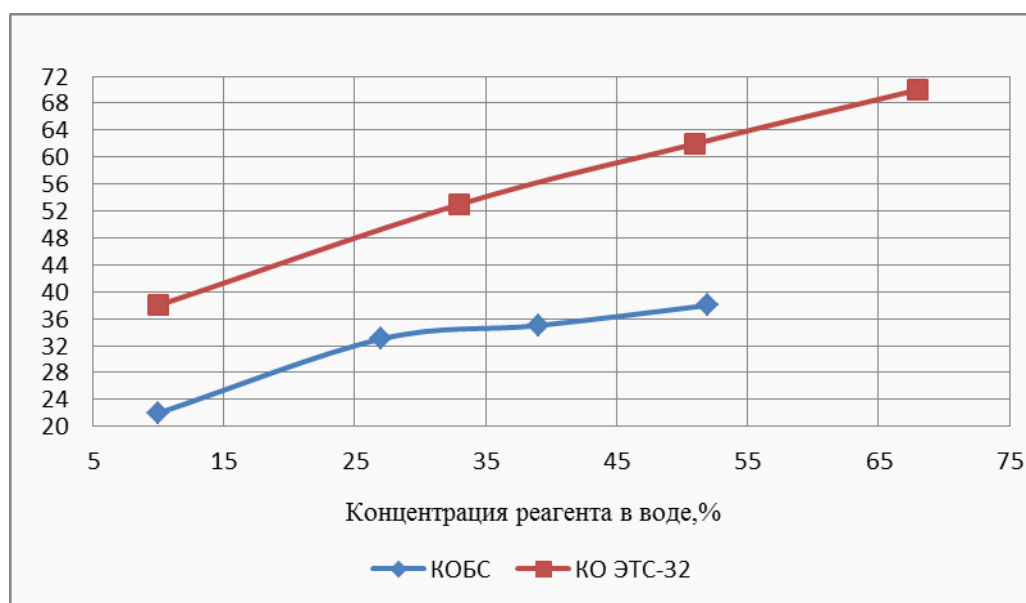


Рис. 2. Влияние реагентов-вспенивателей на их гидрофобизационную способность

Для получения наиболее высоких показателей продуктов флотации необходимо поддерживать расход реагента-вспенивателя ЭТС-32 около 0,04 кг/т,

что обеспечивает увеличение выхода концентрата и снижение его зольности по сравнению с традиционно используемыми реагентами-вспенивателями на углеобогачительных фабриках (см. таблицу).

Заключение

Выявленный реагентный режим обогащения с расходом технического продукта КО ЭТС-32 в количестве 0,04 кг/т, а термогазойля 1,88 кг/т обеспечивает получение из угля зольностью 18,4% концентрата в качестве пылеугольного топлива для доменных печей с зольностью 8,4% при суммарном выходе 75,7%.

Библиографический список

1. Стефанович М.А., Сибагатуллин С.К., Гушин Д.Н. Закономерности движения шихты и газа в доменной печи. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 161 с.
2. Сибагатуллин С.К., Харченко А.С. Качество шихтовых материалов доменной плавки, включающих титаномagnetиты и сидериты. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 150 с.
3. Кравец А.В., Мельников С.А.. Пути улучшения качества кокса и углей для приготовления пылеугольного топлива // Сталь. 2013. № 10. С. 21-24.
4. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива в доменном цехе ОАО «Запорожсталь» / В.И.Набока, А.П.Фоменко, С.Е.Сафонов, М.Е.Шарапов, В.В.Кравчук //Сталь. 2013. № 10. С. 8-12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D АТЛАСОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

На сегодняшний день система образования находится в состоянии непрерывной модернизации и компьютеризации. Цель данных процессов – это повышение качества и совершенствования образования, а также повышение профессионального уровня выпускников высших и средних специальных учебных заведений. В эпоху информатизации достижение этих целей невозможно без использования в образовательном процессе информационных и телекоммуникационных технологий. Более того, повышение качества образования сегодня определяется использованием новых активных методов обучения, когда происходит вовлечение ученика в образовательный процесс.

Активное применение информационных технологий способно резко повысить эффективность обучения молодых специалистов, ведь современное поколение, как никто знакомо с компьютерными средствами, новыми технологиями, а также средствами связи и интернета. Молодым специалистам уже не интересно изучать материал в традиционной форме, их все больше привлекают новые технологии, которые способны вовлечь в процесс обучения и сделать его необычным и интересным. К таким технологиям относятся средства электронного обучения, а именно: системы дистанционного обучения, электронные издания, образовательные порталы, а также одно из приоритетных направлений в последнее время – мультимедийные обучающие системы.

Направление «Мультимедийные обучающие системы» группа компаний «SIKE.Корпоративные системы» с 2006 года успешно разрабатывает и вводит в промышленную эксплуатацию обучающие системы, заслуживающие высокую оценку корпоративных и государственных заказчиков. «3D Атлас оборудова-

ния» - один из последних продуктов направления. Он предназначен для подготовки молодых специалистов горно-металлургической отрасли, обучающихся в ВУЗах и ССУЗах. 3D Атлас включает в себя трехмерные модели следующих промышленных агрегатов:

- доменной печи;
- дуговой сталеплавильной печи;
- агрегата печь-ковш (однопозиционный);
- кислородного конвертера с верхней продувкой;
- сортовой машины непрерывного литья заготовок;
- слабовой машины непрерывного литья заготовок;
- гидравлических элементов.

3D Атлас каждого агрегата показывает не только обобщенную конструкцию технологической установки, но и устройство ее отдельных узлов. В 3D Атласе собраны наиболее распространенные типы оборудования, показаны их различия, описаны их преимущества и недостатки. Такая подача информации направлена на формирование у ученика целостного представления о конструкции агрегата, его назначении и принципах работы.

Рассмотрим специфику 3D Атласа на примере агрегата «Дуговая сталеплавильная печь» (рис. 1).



Рис. 1. «Главное меню»

3D Атлас прост и удобен в эксплуатации: система устанавливается локально на компьютер, после чего пользователь проходит регистрацию.

Редактирование: справочник пользователей

ФИО* Петров Иван Иванович

Фамилия* Петров

Имя* Иван

Отчество* Иванович

Логин* Петров

Пароль* *

Пароль (подтверждение)*

(*) - Поле обязательно для заполнения

OK Отмена

Рис. 2. «Форма регистрации»

3D Атлас имеет два режима работы – «Демонстрация» и «Тестирование».

В режиме «Демонстрация» пользователю доступна конструкция технологической установки, реализованная посредством 3D-моделей. Трехмерная конструкция позволяет наглядно изучить устройство и назначение основных узлов и агрегатов оборудования (рис. 3).

Трехмерные модели агрегатов с максимальной точностью повторяют конструкцию реально существующих элементов оборудования. В процессе работы электронный атлас делает возможным тщательное изучение конструкции агрегата: 3D модель можно поворачивать, приближать, удалять, скрывать одни элементы установки, оставляя для детального рассмотрения другие, настраивать цвета.

В режиме «Тестирование» обучающемуся предлагается определить уровень полученных знаний по устройству изученного оборудования. Контрольные задания представлены в виде указательных вопросов - чтобы ответить на

вопрос, необходимо указать на модели спрашиваемую в задании деталь технологической установки. Такая нетрадиционная, нетекстовая форма контрольных заданий не только делает их выполнение интересным, но и максимально приближает пользователя к реальному поведению в производственной деятельности (рис. 4).



Рис. 3. «Дуговая сталеплавильная печь»

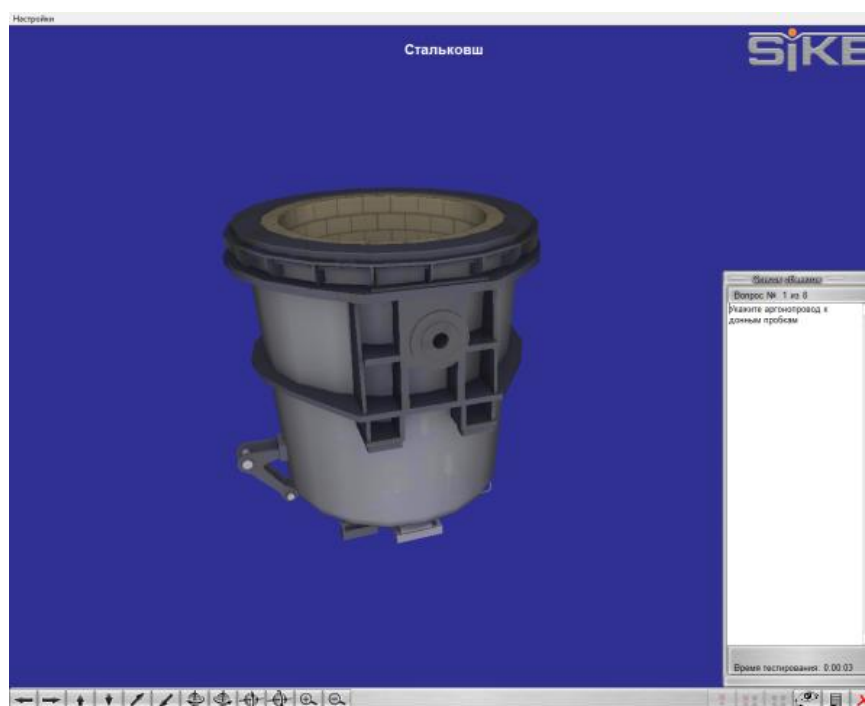


Рис. 4. «Тестирование»

По завершении тестирования пользователь может ознакомиться с результатами и оценить уровень своих знаний (рис. 5).

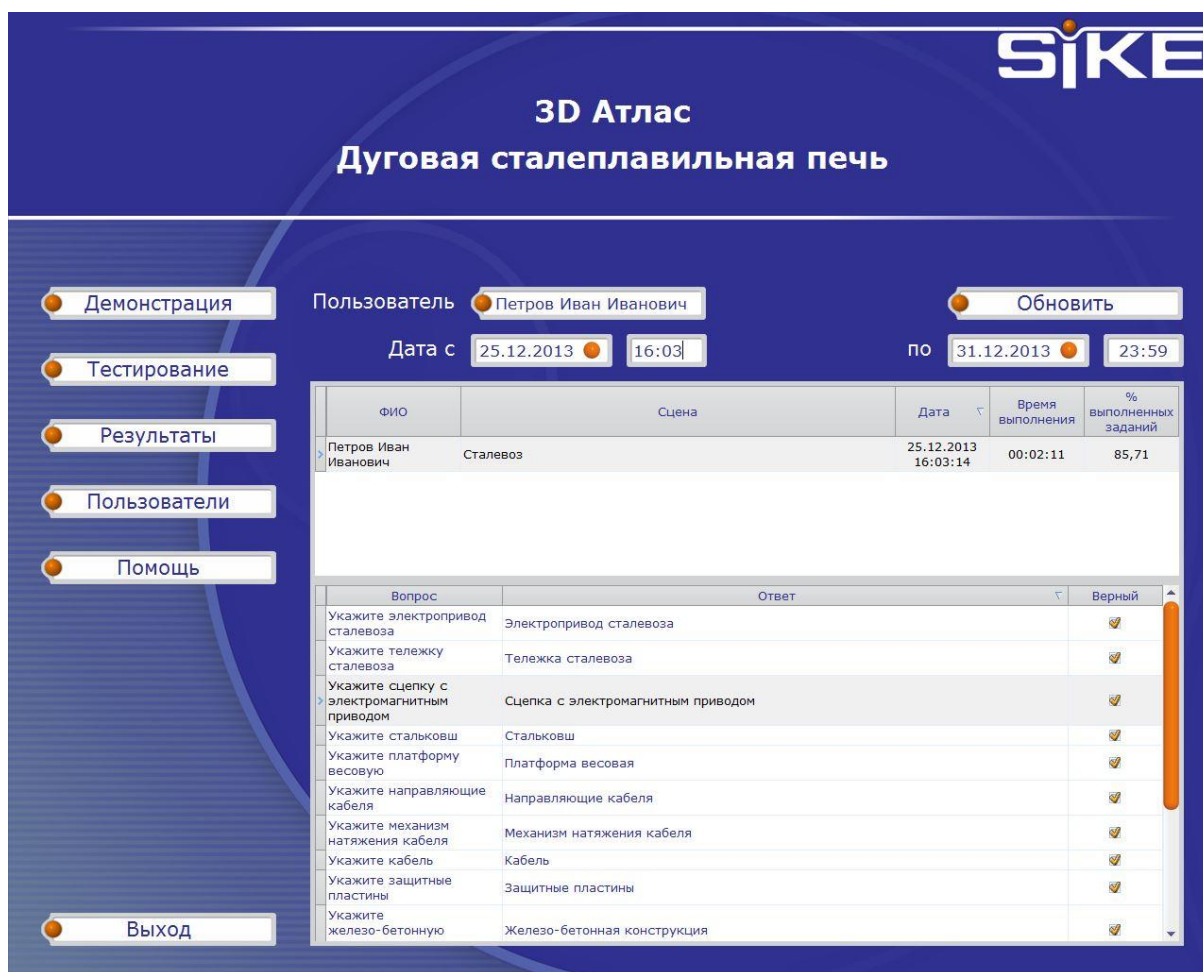


Рис. 5. «Результаты тестирования»

Результаты тестирования хранятся в системе по каждому пользователю, что позволяет отследить ход и динамику обучения.

Таким образом, к достоинствам 3D Атласа можно отнести:

- простоту и доступность представления сложной и большой по объему информации, что позволяет освоить устройство технологической установки в максимально короткие сроки.
- удобство работы: работа с электронным атласом может проходить в любом удобном для пользователя режиме: в компьютерном классе с преподавателем или самостоятельно в свободное время.

– возможность обучения с помощью 3D Атласа как опытных специалистов, работающих непосредственно на агрегате, так и тех, кто только начинает изучать основы технологических установок.

3D Атлас – современное средство обучения, обеспечивающее эффективную познавательную деятельность пользователей с учетом специфики предметной области, психологических особенностей восприятия и усвоения информации, развития умений работы с информацией.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бигеев Вахит Абдрашитович – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой металлургии черных металлов, директор института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298559.

Буранова Эльвира Фаритовна – студент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 89124705646. E-mail: elvira.buranova@mail.ru.

Губанов Сергей Александрович – студент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: производство толстого листа из высокопрочных сталей для труб большого диаметра. Тел. +7(982)3251425. E-mail: gybanov@inbox.ru.

Дружков Виталий Гаврилович – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: изучение процессов в горне доменной печи. Тел. 8(3519)228430.

Ишкова Елена Васильевна – студент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 89090939223. E-mail: lena.ishkova@mail.ru.

Колесников Юрий Алексеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)228464.

Летимин Владислав Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: брикетирование природного и техногенного сырья. Тел. 89028674501.

Насыров Тимур Мухтасарович – студент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: окускование природного и техногенного сырья для доменной плавки. Тел. 89517807047. E-mail: tim-urr@mail.ru.

Наумова Ульяна Валерьевна – специалист по разработке ИТ-проектов ООО «Корпоративные системы Плюс», г. Магнитогорск.

Петухов Василий Николаевич – докт. техн. наук, профессор кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Сергеев Дмитрий Станиславович – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)307519.

Сибэгатуллин Салават Камирович – докт. техн. наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Скарлыгина Надежда Владимировна – начальник бюро сопровождения и развития ИТ-проектов отдела обучающих систем ООО «Корпоративные системы Плюс», г. Магнитогорск.

Спиридонов Дмитрий Александрович – студент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 89507460734. E-mail: devildead13@mail.ru.

Чикишев Денис Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: производство толстого листа из высокопрочных сталей для труб большого диаметра. Тел. +79028958755. E-mail: chikishev_denis@mail.ru.