

После отжига по режиму № 4 эффект формирования структуры зернистого перлита не достигнут.

Результаты исследования:

При апробации результатов исследований проведен сфероидизирующий отжиг бунтов катанки д.6,5 в штатной проходной печи KL-11 по режиму № 2. После отжига получены следующие результаты:

- размер зерен не превысил 2 баллов по всем образцам;
- толщина обезуглероженного слоя – 0,24 мм;
- твердость составила 184–190, что с запасом удовлетворяет требованиям ГОСТ 801.

Внедрение режима сфероидизирующего отжига № 2 позволит снизить затраты при проведении сфероидизирующего отжига на 101 руб./т.

#### Л и т е р а т у р а

1. Астапенко, И. В. Анализ влияния гомогенизирующего отжига блюмов подшипниковых марок стали на качество проката / И. В. Астапенко, С. А. Савченко // Современные проблемы машиноведения : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – С. 100–102.
2. Савченко, С. А. Оценка эффективности режимов гомогенизирующего отжига подшипниковых марок сталей на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / С. А. Савченко, В. И. Возная, И. В. Астапенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2021. – № 2 (85). – С. 52–61.
3. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец [и др.] // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2021. – № 77 (7). – С. 804–810. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-7-804-810>
4. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путеев [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>
5. Особенности формирования мелкодисперсной структуры бунтового проката подшипниковой стали / С. А. Савченко [и др.] // Черные металлы. – 2024. – № 4. – С. 32–38. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.04.05>

## РЕЦИКЛИНГ ШЛАКОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. В. Синенький

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. А. Жаранов

*Представлены результаты исследований возможностей рециклинга металлосодержащей части шлаков сталеплавильных печей. Установлено, что наиболее перспективной технологией, позволяющей обеспечить комплексную переработку и рециклинг с максимальной эффективностью в условиях нашей страны, является строительство специализированных участков переработки и рециклинга с применением в качестве базового агрегата ротационных печей.*

**Ключевые слова:** шлаки, рециклинг, экология, утилизация, металлосодержащие, моделирование, анализ.

В условиях все возрастающего мирового дефицита на металлические шихтовые материалы и постоянного увеличения их стоимости работы, связанные с утилизацией и рециклингом отходов, имеют не только национальную, но и общемировую актуальность.

В тех странах, где имеется полнопрофильное металлургическое производство, часть железосодержащих отходов перерабатывается в доменных печах и на горно-обогатительных фабриках. У нас в стране нет таких производств. Поэтому данная проблема актуальна для условий Республики Беларусь, металлургическое и литейное производство которой практически полностью зависит от импортируемых материалов. Переработка отходов в местах их образования позволила бы организовать замкнутые безотходные экологичные и рентабельные циклы производства металлоизделий. Однако рост объемов накопления продолжается, создавая не только экономические, но и экологические проблемы.

Цель работы – на основе анализа существующих способов переработки шлаков сталеплавильного производства, включая десульфурацию и дефосфорацию шлаков, оценить свойства и состав шлаков сталеплавильного производства. Для изучения химического состава исследуемых образцов шлака применялись методы атомно-абсорбционного и оптико-эмиссионного анализов, для исследования микроструктуры – металлографический анализ. Изучены основные направления использования составляющей шлаков, содержащей в составе компоненты черных металлов. К полезным действиям шлаков можно отнести их рафинирующее действие для очистки стали от фосфора и серы, которые оказывают негативное воздействие на качество конечной продукции. Шлаки способны защитить металл от окисления газами. Исходя из этого, к шлакам предъявляется ряд требований: шлаки должны обладать высокой рафинирующей способностью и низкой вязкостью, а также практически не оказывать влияния на материалы футеровки печи с точки зрения их совместного химического взаимодействия.

В целом по стране проблема утилизации шлаков решена не полностью: многие конструктивные разработки находятся в стадии решения. Разрабатываются технологии получения из шлаков абразивных материалов; отрабатываются методы сухой и мокрой грануляции жидких сталеплавильных шлаков. Особенно перспективна организация сухой грануляции, при которой одновременно можно решить две задачи: усиливая охрану водного бассейна, получать нагретый воздух.

Основными путями утилизации шлаков сталеплавильного производства являются:

- извлечение металла;
- получение железобитума для вагранок и аглодоменного производства;
- получение щебня для дорожного и промышленного строительства;
- использование основных шлаков в качестве известковых удобрений (шлаковой муки) для сельского хозяйства;
- использование фосфорсодержащих шлаков для получения удобрений для сельского хозяйства;
- вторичное использование конечных сталеплавильных шлаков.

При выплавке стали часть железа теряется со сталеплавильным шлаком, в котором содержание железа (как, например, в электросталеплавильных шлаках) достигает 35 % и более. Чтобы не терять это железо, необходимо извлекать его из текущих шлаков и перерабатывать шлаковые отвалы, тем самым пополняя ресурсы вторичных металлов и одновременно улучшая экологическую обстановку. Возврат в производство металлосоодержащих отходов позволит частично сократить затраты на приобретение шихтовых материалов, а также решить ряд экологических проблем, связанных с сокращением образования и переработкой уже накопленных отходов.

Трудности в переработке металлоотходов, в том числе окисленных и загрязненных, заключаются прежде всего в непригодности существующих традиционных плавильных агрегатов к переплавке таких материалов. Все известные в черной металлургии способы получения железа, которые могут быть использованы для рециклинга дисперсных отходов, предполагают обязательную подготовку сырья (в большинстве случаев его окускование) и восстановителей и рассчитаны на крупнотоннажное производство с объемом переработки не менее 500 тыс. т в год, при этом стоимость подготовки сырья составляет от 40 до 80 % стоимости готового продукта.

Универсальным решением проблемы рециклинга дисперсных металлоотходов, получаемых в процессах переработки шлаков, может служить технология плавки в ротационных наклоняющихся печах (РНП) (рис. 1), которые предназначены только для работы на дисперсной шихте. Исследования показали, что этот тип печей, сравнительно недавно появившийся в литейной практике и, как правило, используемый для плавки цветных сплавов, может быть успешно адаптирован к переработке железосодержащих отходов и плавке чугуна и стали.

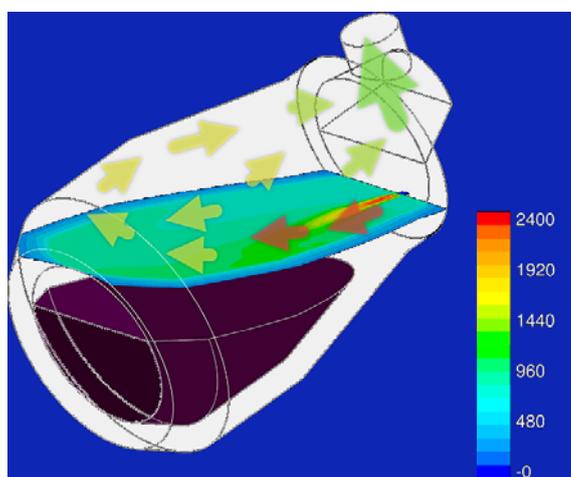


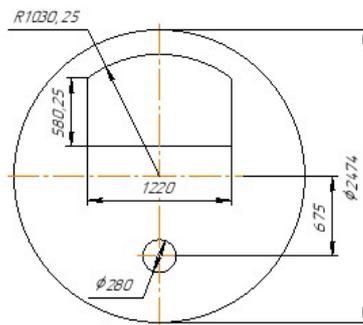
Рис. 1. Траектории движения газовых потоков в объеме рабочего пространства РНП с цветовым кодированием температурных потоков в сечении

Металлоотходы процессов рециклинга шлаков представляют собой весьма разнородные материалы как по составу, так и по уровню загрязненности. Наибольшие трудности при переработке представляют оксидные железосодержащие отходы типа ржавчины, окалины и т. п. На базе РНП, как показали результаты исследований, может быть реализован малотоннажный, эффективный, не требующий значительных инвестиций, рециклинг дисперсных железосодержащих отходов без их предварительной обработки и подготовки, отличающийся высокой интенсивностью, гибкостью, высокой удельной производительностью, обеспечивающий в одном агрегате плаку, полное восстановление и доводку расплавов с получением высококачественных шихтовых материалов и даже марочных литейных сплавов.

В качестве восстановителей в этом процессе могут также использоваться отходы углеродосодержащих материалов и недорогое местное сырье (торф, лигнин). В качестве топлива – природный газ, жидкое топливо. В качестве присадок – отходы цветных металлов (например, алюминия), в качестве флюсов – известняк и доломит, а также сортированные шлаковые отходы (основные шлаки) металлургии.

Моделирование можно разбить на два этапа: на первом этапе определялось расположение гоелки, для этих целей использовался ППП SolidWorks FlowSimulation.

На втором этапе моделировался процесс горения и движения газового потока в ротационной печи. Наиболее рациональным при заданном направлении вращения печи является расположение газо-воздушной горелки внизу слева, т. е. со стороны, где слой материала минимален. При этом пламя практически не испытывает никакого сопротивления со стороны материала, обеспечивается максимальная настильность пламени, поток по дуге омывает всю поверхность материала, максимально передавая тепло и проникая глубоко в слой между его частицами.



Параметры моделирования

$$F_{\text{сеч.гор}} = 0,06 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{сеч.дымосос}} = 0,87 \text{ м}^2$$

$$\text{Расход топлива} - 750 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$T_{\text{вх}} = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$$

*Траектории движения и скорости потоков*

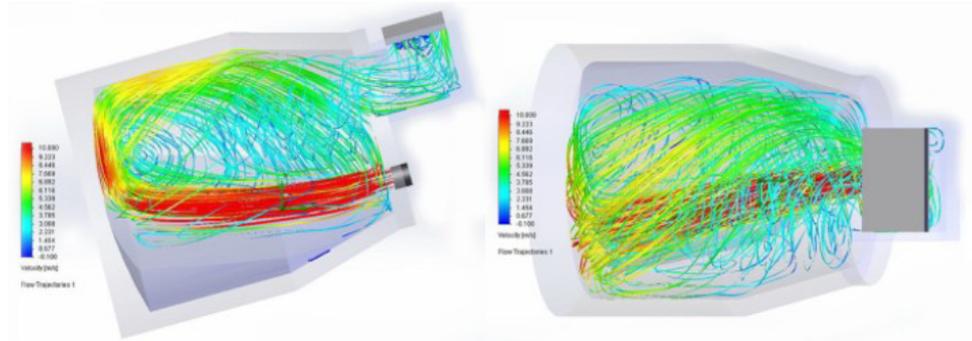


Рис. 2. Усовершенствованная параметрическая модель для газодинамического анализа и результаты моделирования в виде траекторий движения частиц газового потока

В масштабах Беларуси переработка только вновь образующихся железосодержащих отходов позволит ежегодно возвращать в производство до 150–200 тыс. т чугуна и стали.

#### Литература

1. Worldsteel Association Steel Statistical Yearbook 2011. – Brussels : Worldsteel Committee on Economic Studies, 2011. – 120 p.
2. Алямовский, А. А. A60 SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 658 с.
3. Шмитц, К. Роторно-поворотная барабанная печь: современная технология в производстве вторичного алюминия / К. Шмитц. – Нидерцир, 2009. – 12 с.