
УДК

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОРЦИЙ ШИХТЫ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ПЕРЕД ЭЛЕКТРОПЛАВКОЙ

А. А. Иващук

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

Научный руководитель В. А. Жаранов

Представлены результаты исследований, направленных на повышение энергоэффективности электроплавильных печей за счет оптимизации подготовки шихты. Показано, что перспективным направлением является совершенствование управления процессом подогрева шихты с применением экспресс-методов волновой диагностики ее слоя.

Предложено использование нейросетевых методов моделирования для прогнозирования влияния различных параметров шихты на эффективность подогрева и, как следствие, на энергоэффективность и качество конечного продукта электроплавки. Описаны этапы анализа шихты, выбор и обучение нейронной сети, а также применение разработанной модели для выбора оптимальных режимов предварительного подогрева. Отмечено, что данный подход обеспечивает создание экономичных и точных систем управления теплофизическими параметрами подготовки материалов перед электроплавкой. Выделено, что реализация предложенных решений способствует снижению энергопотребления при сохранении высокого качества конечного продукта.

Ключевые слова: металлический лом, сталеплавильные процессы, предварительный подогрев, управление, моделирование, оптимизация.

A METHOD FOR ANALYZING CHARGE PORTIONS TO SELECT OPTIMAL PREHEATING MODES PRIOR TO ELECTRIC MELTING

A. A. Ivashchuk

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Scientific supervisor V. A. Zharanov

The article presents the results of research aimed at increasing the energy efficiency of electric melting furnaces by optimizing charge preparation. A promising direction for improving charge preheating process control using express-methods of wave diagnostics of the charge layer is shown.

The use of neural network modeling methods is proposed to predict the impact of various charge parameters on preheating efficiency and, consequently, on the energy efficiency and quality of the final electric melting product. The article describes the stages of charge analysis, neural network selection and training as well as the application of the developed model to selecting optimal preheating modes. This approach enables the creation of cost-effective and precise systems for controlling the thermophysical parameters of material preparation prior to electric melting. Implementation of the proposed solutions helps reduce energy consumption while maintaining high end-product quality.

Keywords: scrap metal, steelmaking processes, preheating, control, modeling, optimization.

Лом в качестве шихтового материала широко применяется в плавильных процессах, где его доля варьируется в зависимости от технологии. В дуговых электропечах (ДСП) он служит основным сырьем, частично или полностью заменяя чугун. К шихтовым материалам, загружаемым в печь, предъявляются строгие требования:

- определенный химический состав – минимальное содержание вредных примесей (серы, фосфора) и контролируемое количество легирующих элементов для их эффективного использования;
- оптимальные физические характеристики – насыпная плотность и габаритные размеры кусков, обеспечивающие равномерное плавление и энергоэффективность процесса.

При производстве качественных сплавов особенно важно ограничивать примеси цветных металлов (меди, цинка, олова и др.), которые ухудшают механические свойства готовой продукции.

Сбор и переработка металлолома имеют стратегическое значение для экономики, поскольку:

- лом относится к возобновляемым ресурсам, а его использование снижает зависимость от добычи первичного сырья;
- переплавка лома требует меньших энергозатрат по сравнению с производством стали из руды, что сокращает выбросы CO_2 ;
- рациональное использование вторичного сырья соответствует принципам ресурсоэффективной экономики.

Таким образом, максимальное вовлечение лома в металлургический цикл способствует ресурсосбережению и повышению экологической устойчивости отрасли.

Предварительный подогрев шихты перед электроплавкой является важным этапом металлургического производства, позволяющим снизить энергопотребление, уменьшить длительность плавки и повысить качество конечного продукта. Он обеспечивает экономию в $\sim 200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на 1 т. Выбор оптимальных режимов подогрева требует комплексного анализа состава и свойств шихтовых материалов (рис. 1). В данном проекте рассматривается методика анализа порций шихты, включая химический, гранулометрический и термографический анализ, а также моделирование тепловых процессов для определения наилучших параметров подогрева с использованием нейросетевых регрессионных моделей.

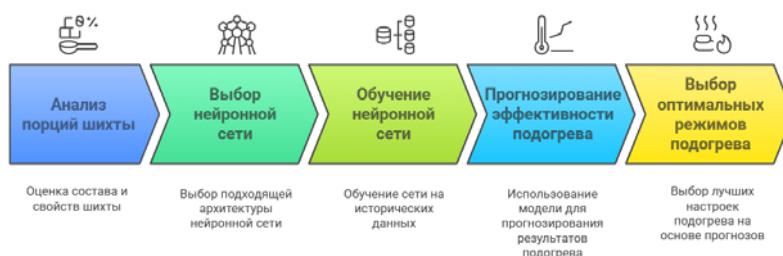


Рис. 1. Методология анализа шихты для оптимизации предварительного подогрева

Наиболее эффективный способ сокращения затрат электроэнергии – предварительный подогрев шихты. Данный способ позволяет также ускорить процесс плавки.

Подогрев шихты осуществляется несколькими способами:

- нагрев газовыми или газокислородными горелками в рабочем пространстве печи;
- в камерных, шахтных или проходных газовых печах;
- в стационарных или вращающихся электрических печах;
- нагрев в специальных установках, конструктивно совмещенных с плавильной печью, за счет тепла отходящих газов;
- в загрузочных корзинах на автономных установках.

Наиболее надежным и наименее дорогостоящим способом предварительного нагрева шихты при электроплавке является подогрев вне печи в загрузочных бадьях на автономной установке, отапливаемой природным газом.

Большое значение для эффективного хода процесса нагрева шихты в автономных установках с использованием стандартных загрузочных корзин имеют показатели движения газового потока сквозь слои шихтовых материалов (рис. 2). Процессы тепловой обработки дисперсных материалов отличаются от аналогичных процессов сплошных сред тем, что слой, состоящих из отдельных частиц, имеет ячеистую нестабильную структуру различной плотности. При температурах выше 800–900 °С мелкий лом интенсивно окисляется из-за очень большой площади поверхности. Это снижает эффективность плавки и может создать опасные ситуации при загрузке лома в печь. Специфика стального лома, используемого в ЭДП, создает определенные трудности при его предварительном нагреве, особенно экстремально высокотемпературном. Эффективность предварительного подогрева зависит от множества факторов, связанных с составом и свойствами шихты, а также от параметров самого процесса подогрева. Традиционные методы оптимизации часто оказываются неэффективными из-за сложности и нелинейности взаимосвязей между этими факторами. В связи с этим применение нейросетевых методов моделирования представляется перспективным подходом для решения данной задачи.

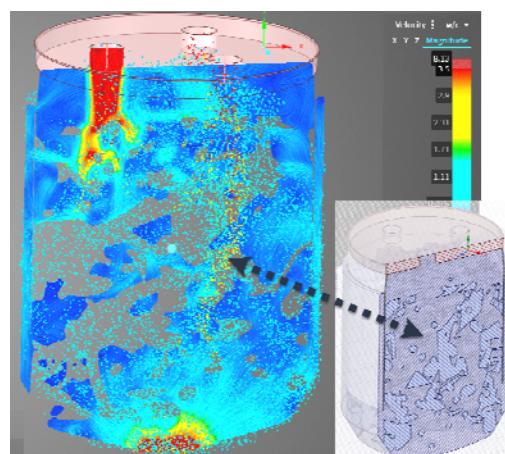


Рис. 2. Моделирование движения газового потока сквозь слои шихтовых материалов

Актуально использование новых подходов к определению режимных параметров процессов подогрева шихты. В настоящее время хорошо зарекомендовал себя математический аппарат, основанный на теории нейронных сетей, который не требует практически никаких ограничений на схематизацию процесса. Данный подход эффективно используется для управления сложными нелинейными объектами, аппроксимации функций при решении многочисленных инженерных и научных задач моделирования, при решении оптимизационных задач и др.

После обучения нейронной сети она может быть использована для выбора оптимальных режимов предварительного подогрева для конкретной порции шихты.

Ввод данных о шихте: в базу данных вводятся параметры анализируемой порции шихты:

- Прогнозирование режимов подогрева: нейронная сеть прогнозирует оптимальные параметры предварительного подогрева.

- Верификация результатов: прогнозируемые режимы подогрева могут быть верифицированы с помощью физического моделирования или экспериментальных исследований.

- Корректировка модели: при необходимости модель может быть скорректирована на основе результатов верификации.

В результате решения задачи (рис. 3) построения регрессионной модели расчета продолжительности нагрева с целью достижения заданной средней температуры была получена трехслойная модель, позволяющая с высокой точностью (погрешность по тестовым наборам данных не более 10 %) оценивать технологические аспекты предварительной термообработки материала перед плавкой в электрических печах.

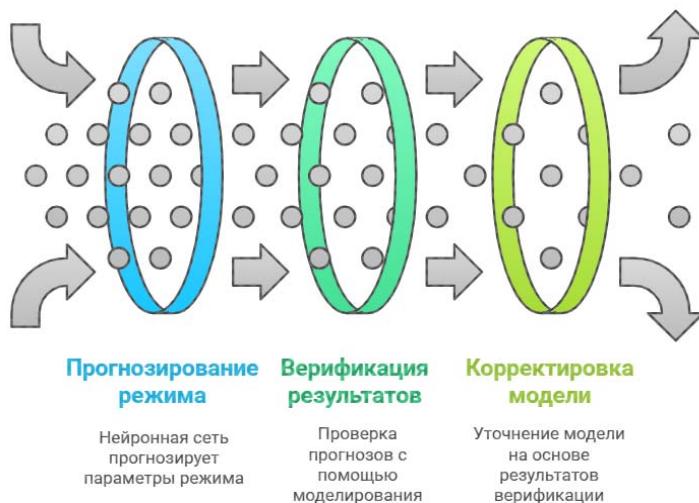


Рис. 3. Процесс оптимизации режима предварительного подогрева

Предложенная методика анализа порций шихты и применения нейросетевых методов моделирования представляет собой перспективный подход к оптимизации режимов предварительного подогрева перед электроплавкой. Она позволяет учитывать множество факторов, влияющих на эффективность подогрева, и автоматизировать процесс выбора оптимальных режимов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение базы данных, совершенствование архитектуры нейронной сети и разработку методов интерпретации результатов моделирования. Это даст возможность повысить точность прогнозирования и эффективность применения методики в промышленных условиях.

Таким образом, можно сказать, что применение предварительного подогрева шихты позволяет увеличить производительность печей на 25–35 % и сократить время расплавления металлозавалки в 2–2,5 раза, а также обеспечить их окупаемость в течение 6–9 месяцев, что говорит о рациональности использования этой технологии.