

ции в некоторых областях имеет место развившаяся пластическая деформация, тогда как в смежных областях материал еще находится в состоянии упругой деформации. Разница в локальных значениях относительного удлинения или относительного сдвига может достигать значения одного порядка и больше.

Макродеформация рассматриваемой зоны металла имеет зависимость:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{пл} i \delta + \varepsilon_{упр} (1 - i \delta),$$

где ε_c – макродеформация рассматриваемой зоны металла; $\varepsilon_{пл}$ – пластическая деформация рассматриваемой зоны металла; $\varepsilon_{упр}$ – упругая деформация рассматриваемой зоны металла; i – число зон пластичности на 1 см длины поверхности; δ – размер этих зон в направлении действующего напряжения.

Таким образом, возможно рассчитать макродеформации локализованной зоны исследуемого образца и аналитически проанализировать возможную величину остаточных напряжений. При необходимости проанализировать распределение остаточных напряжений возможно использовать метод микроиндентирования.

По результатам исследований определены причины необходимости контроля остаточных напряжений в проволоке, а также описаны способы возможного анализа величины остаточных напряжений.

Литература

1. Tensile straightening and roller straightening of fine drawn wire / Kazunari Yoshida, Hiroyuki Sato, Tsuyoshi Sugiyama // Journal of the Iron and Steel Institute of Japan. – 2009. – № 11. – С. 788–793.
2. Проявление эффекта Баушингера при знакопеременной деформации / Р. Р. Адигамов [и др.] // Izvestiya. Ferrous Metallurgy. – 2022. – Vol. 65, N 7. – P. 455–466.
3. Буркин, С. П. Остаточные напряжения в металлопродукции : учеб. пособие / С. П. Буркин, Г. В. Шимов, Е. А. Андрюкова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 248 с.

ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МАТЕРИАЛОВ К ПЛАВКЕ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

А. А. Иващук

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

Научный руководитель В. А. Жаранов

Представлены результаты исследований и разработки энергосберегающих технологий для электроплавильных печей. Перспективы повышения эффективности управления процессом подогрева шихты могут быть реализованы за счет экспресс-методов волновой диагностики слоя шихты. Нейросетевое моделирование с построением регрессионных моделей процессов подогрева шихты позволяет создать экономичные модели управления теплофизикой подготовки материалов для электроплавки.

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

Лом в качестве шихтовых материалов используется в сталеплавильных процессах в различном соотношении с чугуном, а в дуговых сталеплавильных агрегатах он является основным сырьем. К загружаемым в печь материалам предъявляются следующие требования: определенность химического состава, насыпная плотность и габаритные

размеры кусков скрапа. С точки зрения химического состава желательно, чтобы в ломе было минимальное количество вредных примесей серы и фосфора и чтобы имеющиеся примеси легирующих элементов использовались с наибольшей пользой. При выплавке качественных сталей действуют жесткие требования по ограничению примесей цветных металлов.

Сбор и переработка вторичного лома носит государственный характер. Лом является возобновляемым сырьевым материалом и его необходимо использовать как можно в большем количестве, поскольку это позволяет получить экономию энергии на производство сырьевых ресурсов.

При замене природного сырья в производстве металлов необходимо учитывать не только экологически вредные выбросы в собственно металлургическом производстве, но и экологический ущерб, наносимый окружающей среде самими процессами добычи сырья, подготовки его к металлургическому переделу, а также затраты на создание и функционирование очистных сооружений. При использовании лома в качестве сырья для выплавки стали требуются минимальные затраты на экологические мероприятия.

В связи с развитием электрометаллургии стала более актуальной тема разработки энергосберегающих технологий для электроплавильных печей. Несмотря на высокую производительность и определенные достоинства таких печей, они используют весьма дорогой энергоноситель – электричество. Так как в процессе работы печи образуется пыль, вредные вещества, высокотемпературные газы, необходимо осуществлять природоохранные мероприятия, что означает затрату еще большего количества электроэнергии.

Наиболее эффективным способом сокращения затрат электроэнергии является предварительный подогрев шихты. Он обеспечивает экономию в $\sim 200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на 1 т. 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. Экономический эффект при этом обуславливается двумя факторами. Стоимость единицы тепловой энергии (1 кДж), полученной от сжигания природного газа, в семь раз меньше, чем от преобразования электроэнергии. Второе – КПД нагрева шихты за счет продувки составляет 65–70%, что примерно втрое превышает эффективность нагрева шихты в электропечах и, следовательно, суммарные затраты тепла существенно ниже.

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. Процессы тепловой обработки дисперсных материалов отличаются от аналогичных процессов сплошных сред тем, что слой, состоящий 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.

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.

На практике используемое программное обеспечение для расчета параметров процесса нагрева шихты требует ввода значительного количества исходных данных о материале, теплоносителе и условиях осуществления процесса. При использовании нейронных сетей можно ограничиться только наиболее важными параметрами, которые могут быть получены в лабораторных условиях предприятия и даже при этом можно получить качественно обученную нейронную сеть, позволяющую определять рациональные режимные параметры. В этом и есть основная особенность нейронных сетей, а именно обучаться и выявлять скрытые закономерности между потоками входных и выходных данных.

На кафедре «Металлургия и технологии обработки материалов» ГГТУ им. П. О. Сухого разработана экспериментальная установка (рис. 1) для исследования качества и процессов предварительного подогрева шихтовых материалов, адаптированная к применению в небольших литейных цехах. Она позволяет совместить исследование волновой проницаемости шихты с использованием подогретой шихты для плавки в индукционных и дуговых электропечах малой емкости (от 500 кг до 3 т).

В результате решения задачи 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. При поисковой оптимизации после анализа более 200 архитектур нейронных сетей была получена регрессионная модель. Использование аппарата теории нейронных сетей на практике в промышленных теплообменных аппаратах видится перспективным, поскольку он может быть использован для поиска оптимальных режимов нагрева, при которых нейросеть способна рассчитать такое управляющее воздействие на различных участках промышленного аппарата, при котором кинетика нагрева материала будет осуществляться по желаемой траектории. Наряду с поиском оптимальной траектории термообработки материала использование нейросетей позволяет повысить универсальность используемого математического и программного обеспечения для расчета режимных параметров процесса.

Перспективы повышения эффективности управления процессом подогрева шихты могут быть реализованы за счет экспресс-методов волновой диагностики слоя шихты, из потока, поступающих на подогрев шихтовых материалов. Для этого составлена программа испытаний, включающая в себя:

- 1) акустические исследования слоя шихтовых материалов перед подогревом;
- 2) исследования оптической проницаемости и светопоглощения слоя шихты;
- 3) выявление изменения электромагнитной проницаемости шихты.

Полученные результаты могут быть использованы для управления процессом предварительного нагрева шихты с целью обеспечения максимальной эффективности процесса.

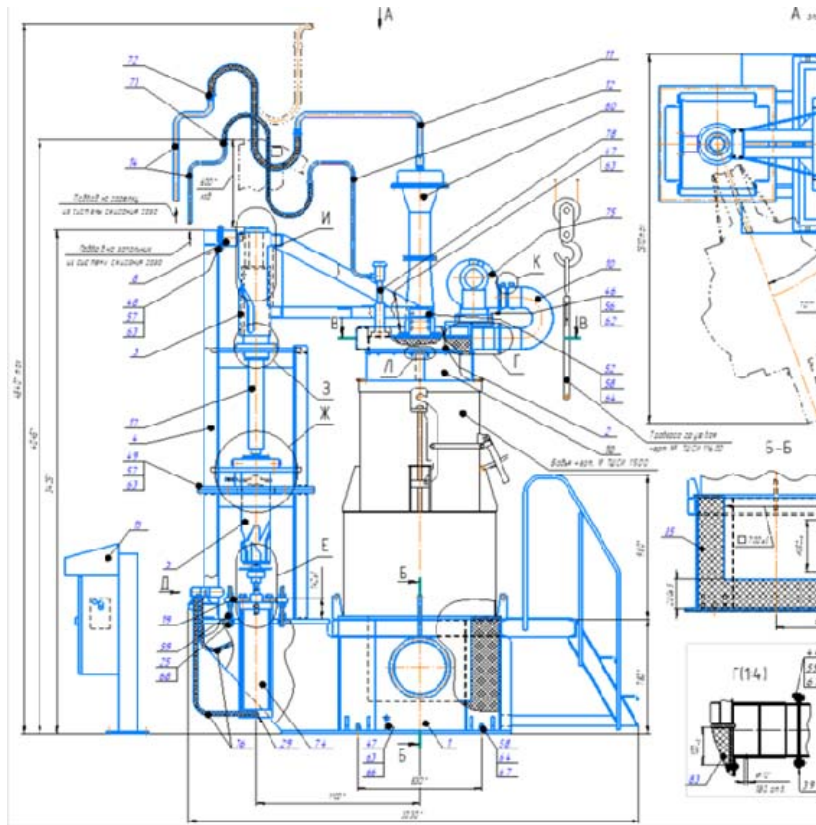


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования качества и процессов предварительного подогрева шихтовых материалов

В итоге можно отметить, 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.

НАПРЯЖЕНИЕ ВОЛОЧЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ВОЛОКИ

Д. А. Лысенко

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

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

При проектировании и совершенствовании процессов волочения металлической проволоки и прутков необходимо иметь возможность аналитического расчета значения усилия волочения. Традиционно при расчете величины усилия волочения основное внимание уделяется определению усилия волочения через основную деформирующую зону волокна. Однако