

Рис. 3

Проведенные численные исследования математического описания образования плавильной пыли показывают, что значительно увеличить размер частиц плавильной пыли в процессе ее образования невозможно, так как это обусловлено закономерностями процессов испарения и конденсации паров жидкости. Для повышения эффективности ее улавливания пылеочистными аппаратами различного типа необходимо использовать различные способы ее коагуляции: на каплях жидкости, в электростатическом, магнитном и акустическом полях. Для улучшения улавливания выбросов плавильной пыли следует усовершенствовать конструкцию укрытия печей и не допускать образования неорганизованных выбросов в атмосферу в периоды наиболее интенсивного пылевыведения, а также использовать газоочистное оборудование, рассчитанное на улавливание пыли размеров менее 1 мкм, и применять способы коагуляции частиц пыли.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ШИХТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ ЕМКОСТИ

**Н. О. Магомедов**

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

Научный руководитель В. А. Жаранов

Дуговые печи обладают высокой производительностью и возможностью получать металл высокого качества из различной шихты. Однако 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. На рис. 1 представлены лишь некоторые из наиболее значимых мероприятий, внедрение которых привело к сокращению удельных затрат электроэнергии при дуговой плавке в 2,5 раза, расхода электродов в 4,3 раза, продолжительности плавильной кампании почти в 5 раз. При всей условности приведенных зависимостей, интерполированных до 2025 г., можно заметить, что если технологические возможности плавки – показателями чего являются производительность (длительность кампании) и удельный расход электродов – близки к максимально возможным для ЭДП, то в отношении удельных затрат электроэнергии перспективы далеко не исчерпаны.

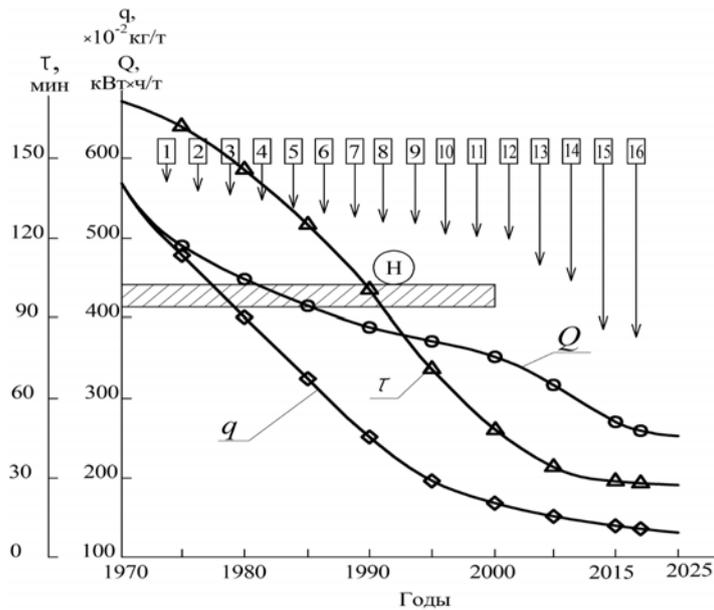


Рис. 1. Влияние методов интенсификации на основные технико-экономические параметры выплавки стали в электродуговых печах:

$\tau$  – продолжительность плавки;  $q$  – удельный расход электродов;  
 $Q$  – удельный расход электроэнергии;  $H$  – суммарная энтальпия жидких стали и шлака, кВт; 1–16 – методы интенсификации, соответственно:  
 применение кислорода, жидкая завалка, внепечная обработка, водоохлаждаемые панели, повышение мощности трансформаторов (сверхмощные печи), компьютеризация (АСУ ТП), вспененные шлаки, газоокислородные горелки, донный выпуск, печь-ковш, эркерный выпуск, подогрев скрапа (сушка), фурмы-манипуляторы, донная продувка, высокотемпературный подогрев шихты, комплексные плавильные агрегаты с непрерывным подогревом шихты

Теоретически наиболее эффективным способом сокращения затрат электроэнергии является предварительный подогрев шихты. Он обеспечивает экономию до 200 кВт·ч на тонну выплавляемой стали. Предварительный нагрев лома перед нагревом позволяет увеличить энтальпию металлической шихты в десять раз и, следовательно, резко снизить потребление энергии при плавке. Данный способ позволяет также ускорить процесс плавки.

Было предложено множество различных способов и устройств, использующих топливо и тепло отходящих газов для подогрева скрапа перед плавкой. Но лишь некоторые из них были реализованы на практике в промышленных масштабах. Несмотря на разнообразие конструкций, все они были основаны на одном из двух принципиально разных способов нагрева: либо нагрев всей кучи лома в емкости большого объема, либо нагрев относительно тонкого слоя лома на конвейере.

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

Использование для подогрева шихты в бадьях отходящих печных газов создает дополнительные трудности из-за нестабильности режимов работы печи, колебаний

температуры и расходов газов (рис. 2). На входе в бадью параметры газового потока необходимо стабилизировать по температуре во избежание перегрева и коробления корпуса, а при понижении температуры отходящих газов включать газовые горелки для интенсификации подогрева шихты.

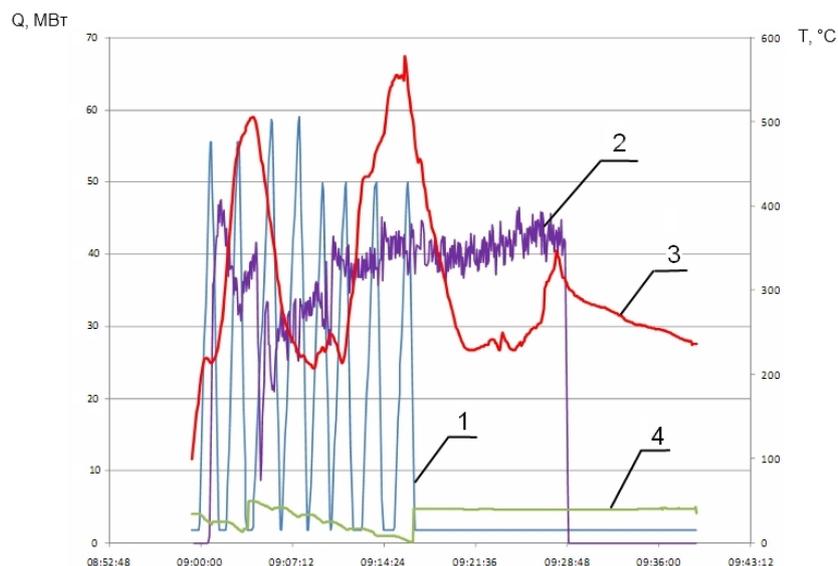


Рис. 2. Изменения температурного режима по ходу плавки (координаты: потребляемая мощность – время):  
 1 – загрузка очередной порции 20 т; 2 – потребляемая мощность; 3 – температура отходящих газов;  
 4 – масса шихты в шахте подогревателя

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.

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. Задача описания течения газов описывается законами неразрывности, сохранения моментов и энергии. Эти законы выражаются в виде дифференциальных уравнений в частных производных.

Исследования температурного режима нагреваемого слоя шихты показали, что имеется близкое совпадение характера процесса и распределения температур в слое кускового материала и нагреваемой сплошной заготовке при идентичных коэффициентах теплопроводности. Это позволяет сделать предположение об использовании уравнения Фурье для описания процесса подогрева шихты в слое, где решающую роль играет конвекция.

В этом случае для упрощения расчетов коэффициент теплового сопротивления можно принять постоянным в диапазоне температур процесса.

В общем виде уравнение Фурье–Кирхгофа для сплошной среды имеет вид:

$$\frac{Dt}{d\tau} = a\nabla^2 t,$$

где  $\frac{Dt}{d\tau}$  – полная производная температуры;  $\nabla^2 t$  – оператор Лапласа;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho},$$

где  $\lambda$  – необходимо в данном случае отнести ко всему слою, также как коэффициент теплоемкости  $c$  и плотности  $\rho$ .

Коэффициент теплопроводности можно рассчитать как суммарный, состоящий из парциальных вкладов металла и газовой прослойки. В этом случае мы получим значение, крайне близкое к экспериментальному. Для определения диаметра элементов слоя можно использовать статистические данные по результатам типичных засыпок из шихтовых материалов.

После преобразований получим выражение для текущей температуры:

$$t = \frac{\Delta T_{\text{и}}}{2\sqrt{\pi a_{\text{пр}} \tau}} \exp\left(-\frac{(x-h)}{4a_{\text{пр}} \tau}\right) dh,$$

где  $\Delta T_{\text{и}}$  – температура источника, в данном случае – газов на входе в слой;  $h$  – высота слоя.

Исследования процесса нагрева шихты в слое за счет продувки горячими газами производится на основе теории подобия, которая предполагает в качестве обязательного условия равенство критериев модели и реального процесса (прототипа), обуславливающих тепло- и массообмен. По результатам расчетов строятся картины распределения температур по слою шихты.

## **ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ РИХТОВАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В УЗЛЕ НАМОТКИ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА НА ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ**

**Ю. В. Мартьянов, В. М. Рудницкий**

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

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Повышение прямолинейности тонкой проволоки и металлокорда является на сегодняшний день актуальной задачей метизного производства в связи с необходимостью повышения технологичности производства, снижения брака при производстве и повышения конкурентоспособности. В современном метизном производстве для повышения прямолинейности проволоки и металлокорда используются рихтовальные устройства. Рихтовальное устройство работает по принципу знакопеременного изгиба, снижая уровень внутренних остаточных напряжений в проволоке. Таким образом снижается релаксация остаточных напряжений, что приводит к повышению прямолинейности металлокорда [1]. Роликовая рихтовка одинаково эффективна для твердых