

УДК 621.365.6

Исследование максимальной скорости нагрева и плавления материалов в топливных и электрических печах

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены ограничения скорости нагрева и плавления материалов в топливных и электрических печах, а также приемы по увеличению скорости нагрева при использовании комбинированных источников нагрева и за счет конструктивных параметров печей.

Текст доклада:

На первом этапе исследований были проанализированы удельные показатели мощности печей для плавки чугуна и стали. Было определено, что для современных сверхмощных электродуговых печей удельная мощность трансформаторов достигла 1100 кВ·А/т. Кроме того доля электрической энергии в современных металлургических электродуговых печах в настоящее время составляет 55-65%, а остальная энергия вносится посредством сжигания топлива и экзотермических реакций в ванне расплава. Для индукционных тигельных печей удельная активная мощность достигла 1000 кВт/т. Анализ характеристик печей показал, что за последние 60 лет удельная мощность источников энергии увеличилась более чем в 2 раза.

Исследование максимальной скорости нагрева и плавления материалов в печах различных типов показало:

- ограничением скорости нагрева в топливных печах является мощность источника теплоты (расход топлива) в сочетании с конечной температурой нагрева, так как топливный нагрев имеет низкий КПД в области высоких температур;
- при высокотемпературном нагреве ограничением скорости нагрева является адиабатическая температура горения топлива;
- при электродуговом нагреве обеспечивается высокая скорость нагрева поверхности вплоть до температур плавления, однако, как для завалки, так и для жидкого металла большое значение приобретает объемный теплоперенос за счет конвективной составляющей, в противном случае без интенсификации теплообмена при увеличении мощности источника может наблюдаться интенсивный угар и испарение металла;
- высокую скорость нагрева можно получить при индукционном способе нагрева, ограничением скорости в данном варианте может являться

ограничение мощности источника питания, высота мениска в индукционных тигельных печах, выдавливание металла из канала в индукционных канальных печах и более интенсивный износ тигля при циркуляции металла;

- для индукционных печей скорость нагрева также зависит от правильного подбора размерных параметров печи и ее частоты в зависимости от применяемой металлошихты;

- при нагреве и плавлении металла в печах сопротивления скорость нагрева зависит от начальной температуры печи во время посадки металла, от мощности нагревателей и их температуры, при этом существенным ограничением является температура нагревателей и, следовательно, доступный для изготовления нагревателей сплав.

Повысить скорость и экономичность нагрева и плавления возможно при использовании комбинации различных источников нагрева, что в настоящее время используют на практике, применяя например отдельные внешние установки предварительного нагрева и дуплекс процессы, либо в одном агрегате, например в высокоомощной электродуговой печи.

В процессе выполнения работы были проведены расчеты скорости нагрева при различных способах нагрева, а именно газовом, электродуговом, индукционном и комбинацией этих способов.

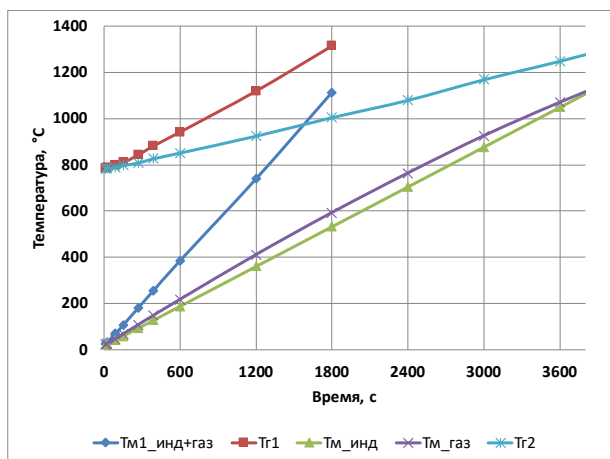
Рассмотрим нагрев медной пластины толщиной 100 мм до температуры плавления меди в тоннеле с идеальной теплоизоляцией.

В первом случае нагрев осуществляется проходящими продуктами сгорания газа от горелки мощностью 100 кВт, за счет конвекции и излучения. Во втором случае нагрев осуществляется индуктором мощностью 100 кВт с КПД 60 % во всем интервале нагрева, т.е. активная мощность, идущая на нагрев, составляет 60 кВт. В третьем случае нагрев осуществляется одновременно потоком газа и за счет индукционного нагрева.

Коэффициент конвективной теплоотдачи рассчитывался с использованием теории подобия при заданном расходе продуктов сгорания и геометрических размеров тоннеля. Приведенный коэффициент излучения определяли исходя из степени черноты продуктов сгорания и эффективной длины луча для заданной геометрии.

Далее проводился расчет нагрева пластины решением задачи нестационарной теплопроводности при изменяющейся температуре газа в зависимости от теплового потока, падающего на поверхность металла. Индукционный нагрев моделировали, рассчитав глубину проникновения тока в медь и задавая в этом слое тепловыделение.

Результаты расчетов сведены вместе и представлены на рисунке 1.



$T_{m_инд}$ – температура металла при индукционном нагреве; $T_{m_газ}$ – температура металла при газовом нагреве; $T_{m1_инд+газ}$ – температура металла при одновременном индукционном и газовом нагреве; T_{r1} – температура продуктов сгорания газа при индукционно-газовом нагреве; T_{r2} – температура продуктов сгорания газа при газовом нагреве

Рисунок 1 – Результаты расчета зависимости температур от времени нагрева при индукционном, газовом и одновременном газовом и индукционном способе

Из рисунка 1 следует, что при выбранной мощности газовый нагрев обеспечивает более быстрый подъем температуры металла, но по мере увеличения температуры металла, растет температура уходящих продуктов сгорания, что снижает мощность, передаваемую металлу, и скорость нагрева падает. При мощности горелки 100 кВт и полезной мощности индуктора 60 кВт получаем в итоге практически равное время нагрева до температуры равной температуре плавления меди. Из полученных результатов также следует, что для данных условий время нагрева при одновременном газовом и индукционном нагреве сократилось в два раза.

Также в процессе выполнения работы были рассмотрены случаи нагрева и плавления алюминиевых сплавов в печах сопротивления.

На основе анализа результатов предложен подход увеличения скорости нагрева, заключающийся в разогреве тонкого слоя рабочего слоя кладки высокой огнеупорности за которым располагается толстый слой волокнистой теплоизоляции во время технологических пауз и отдаче тепла от этого слоя нагреваемому металлу. Аккумуляцию теплоты футеровкой с даль-

нейшей ее отдачей можно также использовать при недостаточных мощностях питающих электрических сетей.

Иллюстрация данного подхода представлена ниже.

Моделирование проводили, считая начальным тепловым состоянием камеры квадратного сечения (в первом случае 500x500 мм, а во втором 1400x1400 мм), ее состояние после разогрева в течение 4 часов при температуре внутренней поверхности 1000 °С. Далее нагрев алюминия сечением 150x150 мм проводили только за счет излучения от разогретой камеры.

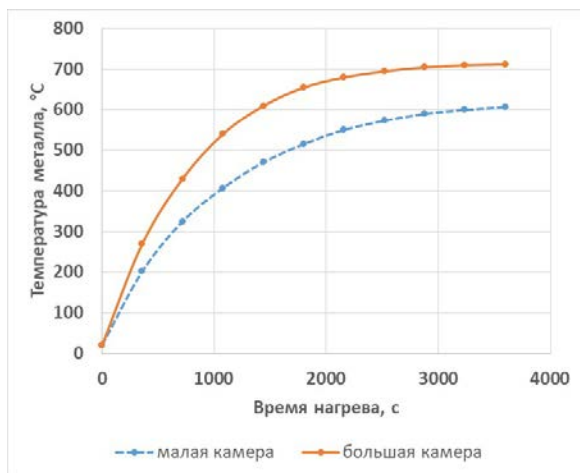


Рисунок 2 –Зависимость температуры нагреваемого металла от времени нагрева в камерах, различающихся по линейным размерам в 2,8 раза

Как следует из рисунка 2 температура 600 °С в случае камеры с большими размерами достигается в 2,3 раза быстрее.