

загрузкой окатышей при использовании электродов различной конструкции. Разработан алгоритм расчета и создана компьютерная программа, позволяющая рассчитать рациональный режим работы, а так же рациональную скорость загрузки металлизированных окатышей в ванну печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трахимович А.Е., Шалимов А.Г. Использование железа прямого восстановления при выплавки стали. – М.: Металлургия, 1982. – 248 с.
2. Федина В.В., Меркер Э.Э., Кочетов А.И. и др // Изв. вуз. Черная металлургия. 2003. № 11. С. 24 – 26.
3. Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Федина В.В. Совершенствование режима электроплавки металлизированного железорудного сырья в дуговой сталеплавильной печи. // Сб. тр. IV Междунар. научно-техн. конф., посвященной 120-летию

- И.П. Бардина «Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства» – Череповец, 2003. С. 48 – 51.
4. Егоров А.Е., Никольский Л.Е., О कोरोков Н.В. // Электротермия. 1962. № 9. С 27 – 31.
5. Ткачев А.С., Кожухов А.А., Сазонов А.В. Особенности теплообмена в дуговой сталеплавильной печи при работе на полых электродах. // Сб. тр. Всерос. научно-практич. конф. «Череповецкие научные чтения – 2010» – Череповец, 2010.
6. Ткачев А.С., Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В. Расчет распределения потоков излучения дуг в дуговой сталеплавильной печи при работе на полых электродах. // Сб. тр. III Всерос. научно-практич. конф. «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии 2011» – Новокузнецк, 2011.
7. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных печах и топках паровых котлов ТГТУ. – Тверь, 2003. – 348 с.

© 2013 г. А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер, И.В. Рябинин
Поступила 31 июня 2012 г.

УДК 669.018.8

А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер

Старооскольский технологический институт

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ НА ЭЛЕКТРОДАХ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов современных дуговых сталеплавильных печей методом математического моделирования при использовании электродов различной конструкции, а именно традиционных (сплошных) и полых (трубчатых). Установлено, что использование полых (трубчатых) электродов позволяет существенно улучшить тепловую работу водоохлаждаемых элементов дуговых сталеплавильных печей, снизить величину тепловых потерь на 120 кВт/м². Результаты моделирования на ЭВМ качественно согласуются с данными, полученными на физических моделях, что свидетельствует о перспективности применения полых (трубчатых) электродов в производственных условиях.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, электрод, водоохлаждаемый элемент.

ARC FURNACE WATER COOLED ELEMENTS HEAT WORK ESTIMATION AT DIFFERENT CONSTRUCTION ELECTRODES APPLICATION

Abstract. The article discusses the increase in efficiency of the water-cooled heat elements of modern electric arc furnaces using mathematical modeling using electrodes of different design, namely conventional (solid) and hollow (tubular). In the mathematical modeling showed that the use of hollow (tubular) electrodes can significantly improve the thermal performance of water-cooled elements arc steel furnaces, reduce the amount of heat loss of 120 kW/m². The results of computer simulations are in qualitative agreement with the data on physical models, thus promising applications of hollow (tubular) electrodes in a production environment.

Keywords: arc furnace, electrode, water-cooled element.

Для интенсификации выплавки стали в современных сверхмощных дуговых сталеплавильных печах (ДСП) применяется большой комплекс энергетических и технологических мероприятий, которые включают в себя тщательную подготовку металлошихты и рациональную загрузку ее в печь, использование кислорода для расплавления шихты, вспенивание шлака и увеличение активной мощности, вводимой в печь. Все эти мероприятия направлены, прежде всего, на уменьшение длительности и снижение степени облученности фу-

теровки излучением электрических дуг. В то же время рост вводимой в печь удельной электрической мощности до $1 \div 1,5$ МВт/т наряду с использованием альтернативных источников энергии приводит к значительному увеличению тепловых нагрузок на водоохлаждаемые элементы (ВЭ) футеровки ДСП, что приводит к повышению отказов в работе ВЭ.

Наиболее часто отказы в работе ВЭ связаны с их прожогом вторичными электрическими дугами, что в значительной степени является случайным фактором,

зависящим от качества, размера кусков и расположения в печи металлошихты. В то же время длительный перегрев наружной поверхности ВЭ так же приводит к выходу из строя водоохлаждаемых элементов печи [1].

Как показывает анализ научно-технической литературы [1, 2] и результаты математического моделирования, применение полых (трубчатых) электродов позволяет повысить коэффициент мощности $\cos\varphi$ в период расплавления и улучшить работу ДСП в период жидкой ванны за счет создания более направленного теплообмена от электрических дуг на металлическую ванну.

В связи с этим, на основе методики расчета теплообмена в рабочем пространстве ДСП, изложенной в работах Макарова А.Н., выполним оценку эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов печи при использовании полых (трубчатых) электродов в сравнении с типовым электродами.

Для анализа эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов рассмотрим условия их эксплуатации в период жидкой ванны для 150-т ДСП [3]. Для охлаждения ВЭ наиболее часто используется техническая вода оборотного цикла. Вода на охлаждение панели подается обычно с температурой 30 °С и рабочим давлением 0,5 МПа. Расход воды на охлаждение панели составляет 400 м³/ч.

Эффективность тепловой работы ВЭ достигается в первую очередь отводом проходящего теплового потока циркулирующей с расчетной скоростью водой без существенного перегрева наружной, обращенной в рабочее пространство печи поверхности трубы, а также самой воды. Наиболее оптимальным является нагрев воды в контуре охлаждения ВЭ до температуры 50 ÷ 55 °С, что при использовании оборотного цикла водоснабжения предотвращает выпадение солей жесткости на внутренней поверхности трубы и ухудшение условий теплопередачи.

Для расчета процесса переноса теплоты от электрических дуг к поверхности водоохлаждаемой панели воспользуемся схемой, представленной на рис. 1.

Величину результирующего теплового потока ($q_{рез}$), поглощаемого водоохлаждаемым элементом и теряемого с охлаждающей водой, можно определить, исходя из следующего выражения:

$$q_{рез} = q_{пад} - q_{эф}, \quad (1)$$

где $q_{пад}$ – величина падающего теплового потока на поверхность водоохлаждаемых элементов стен и свода ДСП; $q_{эф}$ – эффективный тепловой поток, Вт.

Величину падающего теплового потока на поверхность водоохлаждаемых элементов стен и свода ДСП определим путем разбиения поверхности стен и свода печи на сектора с использованием методики, разработанной Макаровым А.Н.

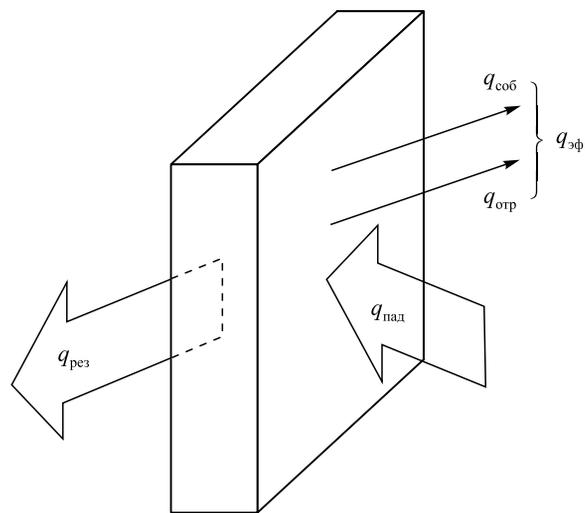


Рис. 1. Схема теплообмена в рабочем пространстве печи

Величина эффективного теплового потока $q_{эф}$ складывается из величины отраженного $q_{отр}$ и собственного теплового потока $q_{соб}$ и рассчитывается в соответствии с формулой

$$q_{эф} = q_{соб} + q_{отр}. \quad (2)$$

Величину плотности отраженного потока $q_{отр}$ можно найти по формуле [3]

$$q_{отр} = (1 - \varepsilon)q_{пад}, \quad (3)$$

где ε – степень черноты поверхности.

Величину теплового потока, которую излучает поверхность водоохлаждаемого элемента $q_{соб}$, можно определить из выражения

$$q_{соб} = 5,67\varepsilon(T/100)^4, \quad (4)$$

где T – температура поверхности, К.

Поскольку результирующий тепловой поток поглощается поверхностью водоохлаждаемого элемента и уносится охлаждающей водой, величину ($q_{рез}$) можно представить в виде

$$q_{рез} = \frac{cG(t_B^{вых} - t_B^{вх})}{F}, \quad (5)$$

где c – теплоемкость воды, кДж/кг·°С; G – расход воды, кг/с; $t_B^{вх}$ – температура воды на входе в водоохлаждаемый элемент, °С; $t_B^{вых}$ – температура воды на выходе из водоохлаждаемого элемента, °С.

Исходя из выражения (5) можно рассчитать температуру воды на выходе из водоохлаждаемого элемента по формуле

$$t_B^{вых} = t_B^{вх} + \frac{q_{рез}F}{cG}, \quad (6)$$

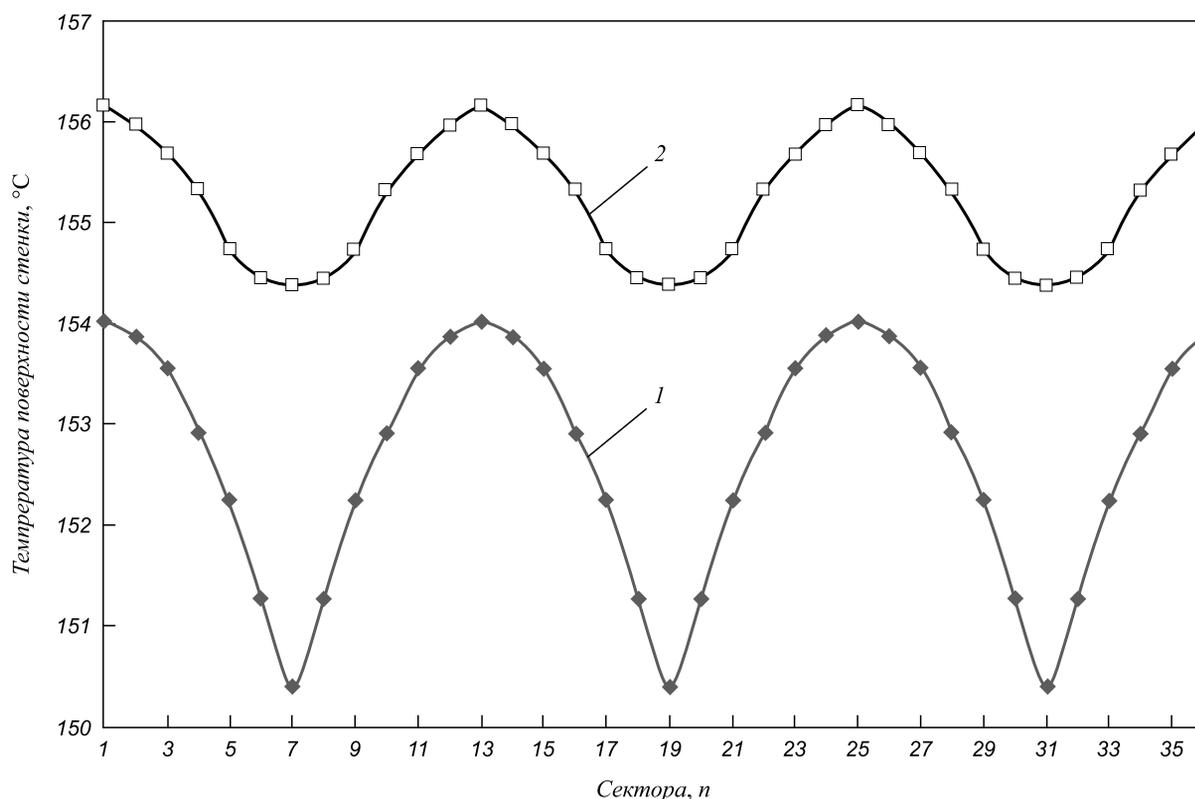


Рис. 2. Распределение температуры поверхности водоохлаждаемых элементов стен в ДСП:
1 – полый электрод; 2 – сплошной электрод

На основе системы уравнений (1) – (6) был составлен алгоритм, позволяющий рассчитать температуру поверхности водоохлаждаемых элементов и температуру охлаждающей воды.

В ходе расчета было установлено, что при использовании полых (трубчатых) электродов температура поверхности водоохлаждаемых элементов стен и свода ДСП снижается в среднем на 3 °C (рис. 2). Данный факт можно объяснить тем, что при использовании полых (трубчатых) электродов создается более направленный тепловой поток в сравнении с типовым (сплошным) электродом, т.е. большее количество тепла передается металлу, что позволяет снизить величину результирующего теплового потока на водоохлаждаемые элементы стен и свода ДСП на 7 – 10 % и улучшить условия тепловой работы водоохлаждаемых элементов. А именно снизить толщину слоя продуктов коррозии на внутренней поверхности труб, величину перегрева их рабочей поверхности и снять опасные термические напряжения, приводящие к развитию трещин и явлению малоциклового усталости. Кроме

того, снижение величины результирующего теплового потока также позволяет снизить температуру охлаждающей воды на выходе на 6 °C, что позволит снизить величину тепловых потерь с охлаждающей водой на 120 кВт/м².

Выводы. В результате математического моделирования было установлено, что использование полых (трубчатых) электродов позволяет существенно улучшить тепловую работу водоохлаждаемых элементов ДСП и снизить величину тепловых потерь на 120 кВт/м².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сосонкин О.М. // Сталь. 2001. № 11. С. 30 – 31.
2. Егоров А.Е., Никольский Л.Е., Окорочков Н.В. // Электротермия. 1962. № 9. С. 27 – 31.
3. Волос Д.И. Моделирование теплообмена излучением в свободном пространстве дуговой сталеплавильной печи. // Пятая Всероссийская межвузовская конференция молодых ученых. – Череповец, 2004.

© 2013 г. А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер
Поступила 23 июня 2012 г.