

результатирующего радиационного потока на поверхность тела (знак « - » указывает на то, что внешние нормали к поверхности излучающей среды и материала противоположны).

Таким образом, зная теплофизические свойства материала тела, его геометрические размеры и распределение температур в начальный момент времени (5), а также граничные условия (6), можно для каждого момента времени процесса нагрева рассчитать распределение температур  $T_m(\vec{r}, \tau)$  во всех точках интересующего тела согласно уравнению теплопроводности (4).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стальной слиток: в 3 т. Т. 3. Нагрев / В.И. Тимошпольский [и др.]; под общ. ред В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. Мн.: Бел. наука, 2001. 879 с.

2. Тимошпольский, В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня / В.И. Тимошпольский. Мн.: Навука і тэхніка, 1995. 256 с.

3. Разработка физико-математической модели радиационного теплопереноса в печах с учетом геометрии стальных заготовок. Сообщение 1. Теоретические основы и методы решения физико-математической модели / В.И. Тимошпольский [и др.] // Литье и металлургия. 2004. № 4. С. 23 – 30.

4. Разработка физико-математической модели радиационного теплопереноса в печах с учетом геометрии стальных заготовок. Сообщение 2. Расчет спектрального коэффициента поглощения печной среды / В.И. Тимошпольский [и др.] // Литье и металлургия. 2004. № 4. С. 31 – 34.

5. Kissel, R. // Heurtey bul. inform. 1978. № 69. P. 15 – 20.

6. Ключников, А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей / А.Д. Ключников. М.: Энергия, 1974. 344 с.

7. Тринг, М. Наука о пламенах и печах / М. Тринг; пер. с англ. В.В. Мурзакова. М.: Металлургиздат, 1958. 482 с.

8. Винтовкин, А.А. Горелочные устройства промышленных печей и топок (конструкции и технические характеристики): справочник / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, Т.В. Калинова. М.: Интермет Инжиниринг, 1999. 560 с.

9. Андрианов, В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В.Н. Андрианов. М.: Энергия, 1972. 231 с.

УДК 669.187

В.А. МАТОЧКИН, канд. техн. наук, Д. Н. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук,  
В.Н. ПРОХОРЕНКО, А.А. КОЗЛОВ, С.А. ЛАШКЕВИЧ (РУП «БМЗ»)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

В связи с ростом выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) проблема качества графитированных электродов приобретает важное значение, особенно вследствие распространения дуговых печей постоянного тока. Значительное снижение

длительности плавки на трехфазных печах позволило уменьшить удельный расход электродов на 34% [1].

Суммарный расход графитированных электродов складывается из торцового и бокового расходов, торцовых поломок и поломок свечи. Торцовый и боковой расходы составляют 90...93% суммарного расхода. Основной расход графитированных электродов определяется общим временем плавки, работой печи под нагрузкой, подводимой мощностью (соотношение напряжений и силы тока), диаметром и длиной электродов и удельной скоростью окисления. Чтобы снизить боковой расход электродов, необходимо стремиться к уменьшению площади поверхности электродов и снижению ее температуры. Лучшим решением этой задачи является снижение температуры электрода, т.е. использование струйного водяного охлаждения электродов. При расходе воды 3 м<sup>3</sup>/ч на каждый электрод расход снижается на 10...15% [2]. Защитные покрытия поверхности электродов после нескольких лет испытаний распространения не получили.

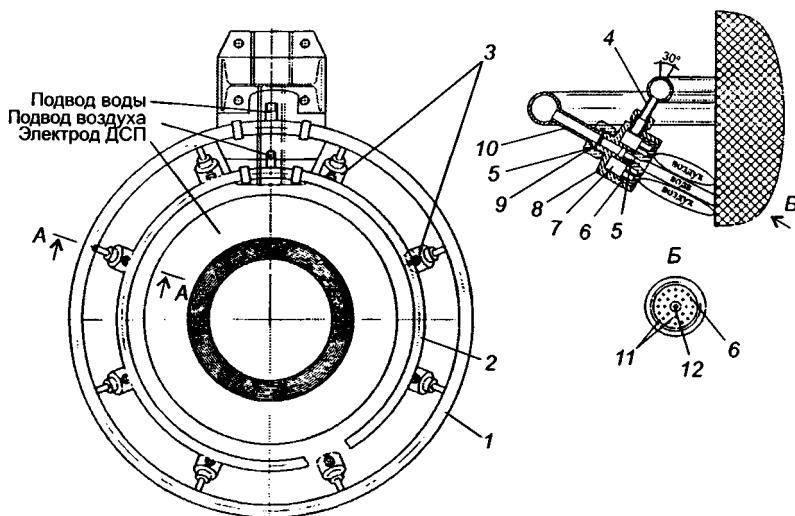
При охлаждении графитированных электродов на ДСП принята система для охлаждения электродов с использованием кольцевого струйного водяного охлаждения.

Таким образом, относительная простота реализуемого в настоящее время способа охлаждения графитированных электродов заключается в его низкой эксплуатационной стойкости.

При эксплуатации такой системы охлаждения отверстия кольца со временем зарастают мелкодисперсной пылью, уменьшая удельный расход охлаждаемой жидкости; при этом изменяется угол струи, что приводит к уменьшению расхода воды и снижению охлаждения графитированного электрода.

Струя охлаждающей жидкости отбивается от горячего электрода и попадает на свод печи, уменьшая стойкость свода. Отверстия в кольце обладают низкой работоспособностью из-за запыления их накипью, солями, оксидами и закисью железа, содержащимися в воде. В результате этого снижаются эффективность охлаждения, стойкость и срок службы электродов.

Для решения задач качественного охлаждения электродов специалистами РУП «БМЗ» выполнен комплекс работ, позволивших обосновать возможность существенного улучшения эффективного охлаждения графитированных электродов. Основу комплекса работ составило принципиальное решение, предусматривающее воздушную защиту водяной струи от разбрызгивания [3]. Суть данного решения заключается в том, что образуется кольцо воздуха, которое и защищает струю воды, а это препятствует разбрызгиванию водяной струи, защищая сопла от мелкодисперсной



**Рис. 1.** Система охлаждения графитированных электродов:  
 1 – коллектор для распределения воздуха; 2 – коллектор для подачи охлаждающей воды; 3 – форсунки для охлаждения графитированного электрода; 4 – патрубки соединительные для подачи воздуха на форсунки; 5 – канал для подачи охлаждающей воды; 6 – сопло форсунки; 7 – камера распределения воздуха; 8 – корпус форсунки; 9 – прокладка; 10 – патрубки соединительные для подачи воды на форсунки; 11 – отверстия для подачи воздуха для образования воздушного защитного потока; 12 – отверстие для подачи воды на графитированный электрод

пыли, и исключает отбивание охлаждающей жидкости от горячего электрода.

На рис. 1 показана схема устройства для охлаждения графитированных электродов дуговой сталеплавильной печи и схема форсунки. Устройство работает следующим образом. Вода поступает из системы охлаждения элементов печи по трубопроводу, попадает в коллектор 1, из которого по трубкам 10 направляется непосредственно к форсункам 3, а от них – на охлаждение электродов.

Воздух поступает из общей системы снабжения цеха по трубопроводу к коллектору 2, а затем через соединительный патрубок 4 – на форсунку, где при выходе и образует кольцо, которое защищает струю воды от разбрызгивания.

Струя, взятая в воздушное кольцо, обеспечивает всему объему воды возможность испариться на электродах, не попадая на футеровку малого свода и в печь, а главное – защищает водяное сопло от исходящих газов и мелкодисперсной пыли.

Использование данного устройства позволит обеспечить эффективное охлаждение графитированных электродов, снизить расход электроэнергии и электродов на 10...15%, увеличить стойкость ма-

лого свода и срок службы медных держателей электродов, уменьшить технологические простои за счет добавления части электродов на фазу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лопухов, Г.А. Состояние и тенденции развития электросталеплавильного производства / Г.А. Лопухов // Электromеталлургия. 2000. № 7. С. 35 – 37.
2. Лопухов, Г.А. Эффективные технологии электросталеплавильного производства / Г.А. Лопухов // Новости черной металлургии за рубежом. 1997. № 3. С. 38 – 54.
3. Патент РБ № 1500. Устройство для охлаждения графитированных электродов / В. Н. Прохоренко, В. А. Яцко. № U 20040005; заявл. 08.01.04; опубл. 15.04.2004 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2004. № 2.

УДК 621.74

А.Б. СТЕБЛОВ, д-р техн. наук,  
Д.В. ЛЕНАРТОВИЧ (БНТУ)

## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Рентабельность машиностроительных предприятий во многом зависит от стойкости деформирующего инструмента. В настоящее время для штампов горячего деформирования используются стали с химическим составом, соответствующим ГОСТ 5950–73 «Сталь инструментальная легированная», к которым предъявляются требования по обеспечению следующих физико-механических свойств: высокие твердость, износостойкость, теплостойкость, сопротивление смятию, вязкость, прочность, пластичность при нормальных и повышенных температурах.

Стали для штампов горячего деформирования используются в штамповочных молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах и т.д. Скорость деформирования металла в высокоскоростных молотах и гидравлических прессах достигает 30 м/с. Основные особенности работы инструментов для горячего деформирования – высокий разогрев штампов в процессе работы, одновременное воздействие циклически изменяющихся температур и давлений, большие удельные давления на инструмент.

Базовой для штампов горячего деформирования является сталь 5ХНМ. Она используется для штампов скоростной штамповки, вставок для ковочных машин, крупногабаритной оснастки ударного действия, молотовых штампов. Для крупногабаритной горячедеформирующей оснастки ударного действия применяются азоти-