



22. *Стомахин А. Я.* О взаимодействии металлического расплава с азотом в электрической дуге // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1970. — № 4. — С. 87–90.
23. *Поведение азота по ходу выплавки качественных сталей в различных сталеплавильных агрегатах* / С. С. Морозов, Ю. В. Кряковский, А. А. Сафронов и др. // Там же. — 1987. — № 5. — С. 28–32.
24. *Рябцев А. Д., Троянский А. А.* Производство слитков титана, хрома и сплавов на их основе в камерных печах под «активными» металлосодержащими флюсами // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2001. — № 4. — С. 6–10.
25. *Линчевский Б. В.* Термодинамика и кинетика взаимодействия газов с жидкими металлами. — М.: Металлургия, 1986. — 222 с.
26. *Рябцев А. Д.* Установка для электрошлакового переплава высокорекреационных металлов и сплавов под активными кальцийсодержащими флюсами в контролируемой атмосфере или вакууме // Сб. науч. тр. ДонГТУ Металлургия. — Донецк: ДонГТУ, 1999. — Вып. 14. — С. 58–60.
27. *Использование термораспепленного графита в качестве тепло- и газонезолирующего покрытия при электрошлаковом переплаве сталей и сплавов* / А. А. Троянский, А. П. Ярошенко, М. В. Савоськин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1999. — № 3. — С. 9–15.
28. *Могутнов Б. М., Томили И. А., Шварцман Л. А.* Термодинамика сплавов железа. — М.: Металлургия, 1984. — 208 с.
29. *Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов* / В. А. Григорян, А. Я. Стомахин, А. Г. Пономаренко и др. — М.: Металлургия, 1989. — 288 с.
30. *Свойства элементов: справ. изд. в 2-х кн.* / Под ред. М. Е. Дрица. — Книга 2. — М.: Металлургия, 1997. — 448 с.
31. *Рудницкий Л. А.* Некоторые поверхностные и объемные свойства твердых тел в терминах электроотрицательности // Журн. физ. химии. — 1979. — Т. LIII, № 12. — С. 3003–3010.
32. *Ашкрофт Н., Мермин Н.* Физика твердого тела. — М.: Мир, 1979. — 2 т.
33. *Кубашевски О.* Диаграммы состояния двойных систем на основе железа. — М.: Металлургия, 1985. — 184 с.

Донецкий национальный технический университет

Поступила 10.09.2002

УДК 669.187.526.002.5

## ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ СТАЛЬНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

**В. И. Дубоделов, В. К. Погорский, В. К. Шнурко,  
П. И. Загоровский, В. Б. Шабанов, О. В. Свиридов,  
В. Е. Панченко, В. Г. Гапонов**

Рассмотрены различные типы оборудования для разлива стали. Предложено использовать магнитодинамическую установку для перегрева и разлива железоуглеродистых сплавов в качестве звена технологической схемы электрошлаковой наплавки прокатных валков.

Different types of equipment for steel casting are considered. The use of a magnetodynamic unit for overheating and casting of iron-carbon alloys as a link in the technological diagram of the electroslag cladding of mill rolls is offered.

**Ключевые слова:** магнитодинамическая установка; электрошлаковая наплавка; жидкий металл; прокатный валок; сталь; нагрев металла; разлива стали

Электрошлаковая наплавка стальных деталей жидким металлом относится к одной из наиболее эффективных технологий в спецэлектрометаллургии [1]. Реализация данного способа в промышленных условиях требует применения устройств для управляемой подачи жидкого присадочного металла в кристаллизатор. Анализ процесса электрошлаковой наплавки стальных деталей показывает, что заливочное оборудование должно отвечать следующим требованиям: полезная ёмкость не менее массы металла одного слоя наплавки; возможность длитель-

ной выдержки и при необходимости подогрева расплава до температуры 1550... 1600 °С; обеспечение непрерывной или периодической порционной подачи расплава в кристаллизатор с заданным расходом.

В сталеплавильном производстве жидкую сталь разливают в основном ковшами с применением стопорных устройств или шибера для управления расходом расплава и отсечки струи. Такое оборудование для технологии с длительным циклом разлива стали небольшими порциями (1... 10 кг) и расходом (0,1... 5 кг/с) непригодно, так как обеспечить выполнение этих условий с помощью названных выше исполнительных механизмов весьма трудно.

© В. И. ДУБОДЕЛОВ, В. К. ПОГОРСКИЙ, В. К. ШНУРКО, П. И. ЗАГОРОВСКИЙ, В. Б. ШАБАНОВ, О. В. СВИРИДОВ, В. Е. ПАНЧЕНКО, В. Г. ГАПОНОВ, 2002



Наиболее полно указанным требованиям отвечают электротехнологические агрегаты, в том числе магнитодинамического типа, которые широко применяются в литейном производстве при изготовлении отливок из цветных сплавов и чугуна [2].

Известные магнитодинамические установки, используемые для подогрева и разливки жидкого чугуна, могут служить основой для создания аналогичного оборудования для разливки стали. В некоторых случаях, в частности, при разливке высокоуглеродистых легированных марок стали с температурой ликвидус 1450... 1500 °С, они могут применяться без существенных конструктивных изменений.

При отработке процесса электрошлаковой наплавки стальных прокатных валков диаметром 700... 800 мм технологическая схема предусматривала применение электрошлаковой печи, магнитодинамической установки для выдержки и подогрева расплава и промежуточного желоба для подачи жидкого металла в кристаллизатор\* (рисунок).

Для практической реализации наплавки валков с учетом требований технологии, химического состава присадочного расплава и температуры его разливки использовали магнитодинамическую установку типа МДН-6ч-3,0-2.

Выбор данного оборудования был обусловлен тем, что полезная емкость тигля установки гарантировала необходимый запас жидкого металла, мощность индуктора позволяла производить его нагрев и длительную выдержку при температуре 1500... 1550 °С, а электромагнитные системы обеспечивали расход металла при разливке до 5... 7 кг/с. Кроме того, такое устройство позволяло при необходимости корректировать химический состав расплава путем ввода ферросплава и шихтовых материалов. Установка указанной модификации была оснащена индукционной частью, которая включала индуктор, электромагнит, огнеупорный блок с Ш-образным каналом и два сливных носка.

Опыт применения магнитодинамических установок для разливки низкоуглеродистой стали показал, что их работоспособность главным образом зависит от стойкости огнеупорной футеровки [3]. Поэтому при проведении экспериментов наряду с изучением особенностей работы электромагнитных систем такого оборудования, применяемого для наплавки прокатных валков, особое внимание уделяли вопросам технологии изготовления, стойкости и продолжительности работы футеровки.

При отработке технологии электрошлаковой наплавки стальных прокатных валков с рабочим слоем из быстрорежущей стали [4] футеровку рабочего слоя тигля и канала установки изготавливали из муллито-корундовой массы с высоким содержанием оксида алюминия. Перед запуском такого устройства его футеровку разогревали до

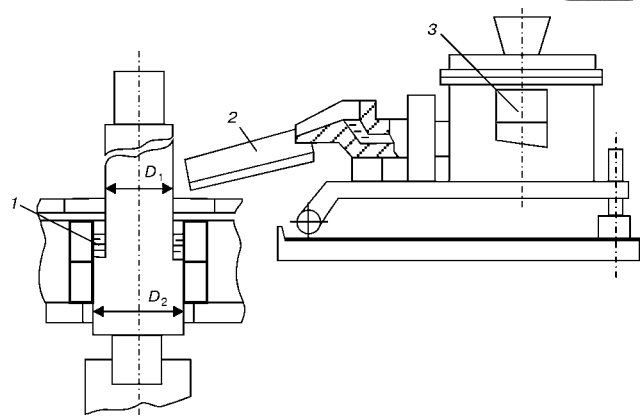


Схема размещения оборудования при электрошлаковой наплавке прокатных валков: 1 — электрошлаковая печь; 2 — желоб для подачи расплава в кристаллизатор; 3 — магнитодинамическая установка

900... 1000 °С с помощью газовых горелок, установленных в тигель. Разогрев футеровки канала происходил за счет инъекции перегретого воздуха из рабочего пространства тигля в полость канала. С целью уменьшения тепловой нагрузки, исключения термоудара на еще не спекшийся рабочий слой футеровки запуск установки производили на железоуглеродистом расплаве с высоким содержанием углерода и кремния.

Исходный металл плавил в дуговой печи. При температуре расплава в печи 1550 °С его сливали в ковш со стопором и подавали к магнитодинамической установке. В тигель установки заливали 2000 кг расплава, при этом температура его снижалась на 100... 150 °С. Включали индукторы для подогрева металла. Через 20... 30 мин температура металла в установке стабилизировалась, а затем возрастала в результате индукционного нагрева его в каналах и передачи тепла в тигель за счет магнитогидродинамических и конвективных потоков в системе канал — тигель установки.

После спекания рабочего слоя футеровки определяли особенности работы магнитодинамической установки на жидкой стали, в частности, характеристики электромагнитных систем, режимы нагрева и стабилизации температуры расплава, влияние технологических параметров на точность дозирования и стабильность химического состава.

Изучали характер изменения температуры металла в установке в зависимости от подводимой мощности. Установлено, что, изменяя суммарную мощность индукторов в пределах 110... 230 кВт, можно управлять температурой расплава в режимах выдержки и разливки, а также во время ввода в расплав легирующих элементов для корректировки его химического состава.

При наплавке опытной партии прокатных валков исходный расплав получали в дуговой печи и вводили легирующие элементы для доводки стали

\* Идея применения магнитодинамической установки в технологическом процессе электрошлаковой наплавки жидким металлом прокатных валков принадлежит академику НАН Украины Б. И. Медовару.



до требуемого по технологии химического состава. При температуре в печи 1600... 1620 °С жидкую сталь сливали в стопорный ковш и заливали в магнитодинамическую установку, откуда отбирали пробы на химический анализ расплава. При необходимости в тигель установки подавали ферросплавы для корректировки химического состава стали. Главные технологические параметры, которые должна обеспечить установка при наплавке валков — это стабильность химического состава, температуры разлива и массы выдаваемой порции присаживаемого расплава.

При подаче стали в кристаллизатор на электромагнитных системах установки поддерживали в основном постоянные электрические параметры. По мере выдачи расплава из установки его масса уменьшалась. Это приводило к некоторому повышению температуры металла. В случае необходимости температуру расплава корректировали путем изменения напряжения питания индукционной части на 30... 40 В.

Перед наплавкой валка производили тарировку доз расплава, сливаемых по каждому носку установки, устанавливали такие напряжения питания электромагнитных систем, которые обеспечивали минимальное отклонение массы дозы от заданной.

Согласно разработанной технологии наплавки стальных прокатных валков, расплав стали подавали в кристаллизатор с помощью магнитодинамической установки порционно с циклом выдачи дозы по заданной программе. Команду на выдачу дозы давал оператор с пульта управления, оснащенного компьютерной системой диагностики технологических параметров процесса наплавки валка. Величину дозы корректировал оператор, изменяя время дозирования. Подачу расплава в кристаллизатор производили по промежуточному желобу. При его чистке от скрапа переходили на резервный желоб. При этом включали напряжение на дополнительный

электромагнит. На поверхность стального валка в течение 3,0... 3,5 ч наплавляли 2,0... 2,2 т износостойкого материала. В нерабочие смены установка работала в режиме выдержки стали. При этом понижали напряжение на индукционной части установки и поддерживали температуру расплава в пределах 1450... 1480 °С.

Проведенный комплекс работ позволил определить рациональные технологические параметры процесса разлива быстрорежущих сталей и подтвердил работоспособность применяемой магнитодинамической установки. Это дало возможность создать эффективный отечественный комплекс электрошлаковой наплавки рабочих прокатных валков диаметром 700... 800 мм с длиной рабочей части 2000... 2500 мм и организовать серийный выпуск валков, износостойкость которых в 4... 4,5 раза превышает износостойкость валков, изготовленных по традиционной технологии [4, 5].

1. *К вопросу об электрошлаковой выплавке крупнотоннажных заготовок из высоколегированных специальных сталей и сплавов* / Б. И. Медовар, Л. Б. Медовар, А. К. Цыкуленко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1999. — № 2. — С. 26–30.
2. *Магнитодинамические насосы для жидких металлов* / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. — Киев: Наук. думка, 1989. — 256 с.
3. *Полищук В. П., Погорский В. К., Горн Р. К.* Испытание магнитодинамической заливочной установки для стали в промышленных условиях // Тез. докл. Двенадцатого рижского совещания по магнитной гидродинамике. — Саласпилс: Институт физики АН ЛатвССР, 1987. — Ч. IV «Прикладные вопросы».
4. *Создание комплекса ЭШН жидким присадочным металлом рабочих валков горячей прокатки для непрерывных широкополосных станов* / В. Б. Шабанов, О. В. Свиридов, Ю. Н. Белобров и др. // Автомат. сварка. — 1999. — № 3. — С. 51–54.
5. *Опыт изготовления и применения быстрорежущих валков ЭШН ЖМ* / Л. Б. Медовар, А. В. Чернец, Ц. Ф. Грабовский и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 3. — С. 3–9.

Физико-технологический ин-т металлов и сплавов  
НАН Украины, Киев  
Поступила 28.05.2002