



УДК 669.117.56.

О НОВОМ ПОДХОДЕ К КОНСТРУКЦИИ КАМЕРНЫХ ПЕЧЕЙ ЭШП

Л. Б. Медовар, А. А. Троянский, В. Я. Саенко,
Б. Б. Федоровский, А. К. Цыкуленко, А. Д. Рябцев,
В. И. Ус, В. М. Журавель, В. А. Зайцев, В. Л. Петренко

Рассмотрены проблемы реконструкции стандартных печей ЭШП для повышения экономичности и качества металла. Приведены данные о концепции и конструкции новой камерной печи ЭШП фирмы «ALD»

Problems of reconstruction of ESR furnaces for improving the economic efficiency and quality of metal are considered.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; короткая сеть; электромагнитное поле; электрододержатель; высокоазотистые стали; суперсплавы

Конструирование и изготовление печей ЭШП сосредоточено в нескольких признанных центрах. За рубежом это американская компания «Consarc», германская фирма «ALD» и австрийская «INTECO». Достоверные данные о конструкторских центрах ЭШП в Японии и Китае, как и в некоторых других странах, где создаются отдельные более или менее удачные образцы печей ЭШП, практически отсутствуют. В бывшем СССР принципиальные конструкторские решения большинства печей ЭШП создавали в основном в ИЭС им. Е. О. Патона, а также с участием ВНИИЭТО и новосибирского «Сибэлектротерма», на котором изготовлено большинство печей ЭШП, эксплуатирующихся до сих пор на территории СНГ.

Новые печи ЭШП, введенные в эксплуатацию в последние годы, — это печи камерного типа, предназначенные для получения слитков высоколегированных сталей и суперсплавов. Следует отметить, что первая в СССР и мире промышленная печь ЭШП была камерного типа и создали ее еще в 1957 г., т. е. за год до ввода в действие промышленных печей ЭШП на Новокраматорском машиностроительном заводе и запорожской «Днепропетстали».

Основные конструктивные особенности первых печей ЭШП, созданных еще в начале 1960-х гг., не изменялись до настоящего времени. Более того, многие печи тех лет, оснащенные современными системами управления, успешно используются и сегодня для производства сталей и сплавов самого ответственного назначения.

Однако для устаревшего парка печей ЭШП в Украине, сосредоточенных преимущественно на «Днепропетстали» и «Азовстали», требуется не просто переоснащение современными системами управления, а коренная реконструкция. Устаревшая конструкция этих печей, в частности короткой сети, токопроводов и электрододержателей, предопределяет не только повышенный удельный расход электроэнергии, значительно превышающий 1100... 1200 кВт·ч на 1 т металла слитка, что свойственно большинству западных печей, но и дополнительные затраты по переделу. Например, большой расход шлака, почти вдвое превышающий соответствующие общемировые показатели, низкие коэффициенты заполнения, значительная продолжительность процесса и существенный расход материалов при сварке электродов с инвентарными головками и др. — все это, наряду с наличием других факторов, привело к потере конкурентоспособности украинского электрошлакового металла. Уникальные мощности ЭШП на заводах Украины сегодня практически не загружены. В развитых же странах в течение последних 10 лет ежегодный прирост производства металла ЭШП составляет в среднем 5%.

Таким образом, реконструкция печей ЭШП украинских заводов назрела и должна осуществляться с учетом новейших достижений. Наиболее интересные конструктивные решения в современных печах ЭШП, по нашему мнению, связаны с реализацией двух идей, возникших в разные годы в ИЭС им. Е. О. Патона: выполнение ЭШП с питанием печи от двух трансформаторов и внедрение способа получения немецкими исследователями фирмы «Крупп» высокоазотистых сталей путем ЭШП под избыточным давлением азота. Первая была освеще-



на в многочисленных публикациях ранее. В данной статье мы хотим обратить внимание на новейшую камерную печь ЭШП, способную работать при давлении до 80 атм [1].

Отметим, что ЭШП под давлением (ЭШПД) в камерных печах является основным процессом производства высокоазотистых сталей (со сверхравновесным содержанием азота). Применению ЭШПД для производства высокоазотистых сталей посвящено несколько докладов очередной Седьмой конференции по высокоазотистым сталям [2]. Особый интерес вызвало сообщение специалистов известной немецкой печестроительной фирмы «ALD» (широко известной ранее как «Leibold Hereus») и итальянского Исследовательского центра материалов о новой камерной печи ЭШП, в конструкции которой реализованы некоторые весьма интересные идеи.

Техническая характеристика печи

Диаметр кристаллизатора, мм.....	208, 160
Длина слитка, мм.....	до 1000
Масса слитка, кг.....	до 250
Давление.....	от $1 \cdot 10^{-3}$ мбар до 70 (80) бар
Ток комбинированного источника питания (постоянный и переменный пониженной частоты — 5 Гц), кА.....	до 8

В печи можно реализовать следующие технологические процессы:

- стандартный ЭШП;
- стандартный ВДП;
- ЭШП в инертном газе;
- ЭШП под давлением.

Кроме того, печь расположена за защитной бетонной стеной, что соответствует требованиям безопасности при плавке титана.

Авторы обосновали создание новой исследовательской печи тем, что на промышленных печах ЭШПД (печь на давление до 40 бар дочерней «крупновской» фирмы VSG и печь на давление до 16 бар австрийской фирмы «Böhler») по-прежнему существуют проблемы с получением гомогенных слитков. Связано это с тем, что легирование азотом производится твердыми частицами нитрида кремния, а достичь их равномерного распределения по жидкометаллической ванне слитка, сечению и длине готового слитка не просто. Поэтому необходимо совершенствовать технологию на лабораторной установке с достаточно продолжительным временем выплавки слитка. Особенности конструкции этой печи не раскрываются. Однако об основных принципах, заложенных в ее конструкции, можно судить на основании опубликованных сведений о технологии ведения ЭШП на этом агрегате.

Технологическая схема получения слитка выглядит так: после откачки рабочей камеры до давления менее 1 мбар и заполнения азотом до небольшого заданного избыточного давления процесс начинают на сухом старте с непрерывной подачей 50... 100 % шлака на постоянном токе. После наведения шлаковой ванны ток переключается на переменный.

Отметим, что в прошлом уже создавали печи с источником пониженной частоты, но это не привело к существенному повышению экономичности за счет снижения реактивных потерь.

Возврат к применению трансформатора пониженной частоты в комбинации с источником постоянного тока представляется нам весьма интересным в связи с двумя обстоятельствами. Во-первых, при стандартном ЭШП на переменном токе до конца не используются рафинирующие возможности шлака. Во-вторых, гидродинамика шлаковой и металлической ванны при ЭШП на переменном токе даже при полностью коаксиальном токоподводе отрицательно сказывается на качестве металла слитка. Можно полагать, что при плавке на переменном токе пониженной частоты гидродинамика ванны имеет более благоприятный характер. Однако это предположение требует дополнительных исследований.

Не менее интересен процесс сварки электродов, реализованный на этой печи. Поскольку в качестве электродов использовали литые электроды диаметром 90... 150 мм, отливавшиеся и из металла вакуумно-индукционной плавки, следовало решать проблему сварки электродов из отдельных частей. Для этого использовали ту же технику, что и для сварки электрода с электрододержателем. Сварку производили прямо в печи в режиме ВДП.

Выполнены исследования слитков, выплавленных из составных электродов, сваренных из трех частей, результаты которых показали высокую однородность слитков, постоянство параметров переплава.

Данные о новой печи ЭШП позволили дополнить некоторые базовые подходы к проблеме реконструкции отечественных печей ЭШП и повышения экономической эффективности производства электрошлакового металла. Во-первых, следует определить новый уровень требований к качеству металла ЭШП. Анализ отечественного и зарубежного сортамента позволяет подтвердить вывод специалистов ИЭС о необоснованно большом количестве низколегированной конструкционной стали ЭШП на отечественных предприятиях. С учетом среднемировой себестоимости передела на уровне около 3000 грн за 1 т переплавляемого металла, очевидно, что переплаву целесообразно подвергать лишь материалы, стоимость которых существенно выше, например суперсплавы или материалы, которые в силу их природы (системы легирования) не могут отливаться в слитки или непрерывно-литые заготовки из-за склонности к ликвации и трещинообразованию. Для расширения сортамента металла ЭШП за счет более сложнотеллегированных сплавов и увеличения развеса слитков высоколегированных сталей и сплавов требуется обеспечение симметричности электромагнитного поля в жидкометаллической части слитка ЭШП, что обеспечит более или менее симметричную гидродинамическую ситуацию в твердофазной области формирующегося слитка.



Решение этой задачи невозможно без прецизионного контроля заглубления расходоуемого электрода в шлак. Например, при ВДП контроль длины дугового промежутка осуществляется с точностью, ± 1 мм. На печах ЭШП при контроле заглубления электрода в шлак пока не может быть достигнута такая точность. Тем не менее на отечественных печах ЭШП до настоящего времени нет датчиков массы электрода, а контроль положения электрода в шлаковой ванне расчетным путем дает недопустимую погрешность. Более того, практика ведения ЭШП на почти вдвое завышенном количестве шлака и со значительным (иногда около 100 мм) заглублением электрода в шлак недопустима, поскольку не позволяет выплавлять целый ряд высоколегированных сплавов.

Именно в связи с качеством слитка необходимо добиться ведения переплава с как можно большим коэффициентом заполнения при минимально возможном заглублении электрода в шлак. Это означает, помимо всего прочего, что при реконструкции печей ЭШП следует учитывать целесообразность размещения электрододержателя на двухкоординатном суппорте, позволяющем системе управления осуществлять постоянное центрирование электрода в кристаллизаторе.

Таким образом, при планировании модернизации отечественных печей необходимо заменить короткую сеть, систему управления и (в ряде случаев) электрододержатели. Отдельного рассмотрения заслуживает возможность ведения ЭШП в контролируемой атмосфере. На наш взгляд, дело не в том, чтобы иметь возможность качественного переплава сплавов, содержащих легкоокисляемые легирующие элементы или требующих легирования азо-

том. Не менее важной является возможность простой реализации дугошлакового переплава со снижением расхода электроэнергии до уровня 800 кВт·ч на 1 т металла слитка.

Таким образом, времена, когда техника и технология ЭШП в Украине (и в России) были предметом пристального внимания со стороны зарубежных коллег, не ушли в прошлое полностью. Такие отечественные разработки, как дугошлаковый переплав, переплав по двухконтурной схеме, электрошлаковый переплав без расходоуемых электродов и получение биметаллов при ЭШП практически не имеют аналогов. В то же время, в конструкции стандартных печей ЭШП, практике стандартного ЭШП намечилось существенное отставание.

Авторы надеются, что навеянные немецкими и итальянскими коллегами размышления о конструкции современных печей ЭШП помогут отечественным металлургам в выборе направлений реконструкции имеющегося в их распоряжении оборудования для ЭШП. Основные подходы к созданию печей для получения слитков ЭШП прямо из жидкого металла без расходоуемых электродов авторы планируют представить в отдельной публикации.

1. *An advanced pressurized electroslag remelting process approach at laboratory scale* / Н. Scholz, U. Biebricher, A. Carosi, D. Pucci // Proc. of 7th Intern. conf. of high nitrogen steels 2004 (Ostend, Belgium, Sept. 19-22, 2004). — Ostend, 2004. — P. 317-322.
2. *Балицкий А. И.* Международная конференция по высокоазотистым сталям HNS-2004 (г. Остенд, Бельгия, 19-22 сент. 2004 г.): Информация // Современ. электроталлургия. — 2004. — № 4. — С. 52-53.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 18.04.2005

КУЗНЕЦЫ УРАЛА – 2005

Первая Российская научно-техническая конференция по кузнечно-штамповочному производству

12–15 сентября 2005 г.

Россия, г. Верхняя Салда

Организаторы:

- Правительство Свердловской области
- Международный союз машиностроителей
- Международный союз металлургов
- Союз кузнецов России
- Министерство промышленности, энергетики и науки Свердловской области

- Корпорация ВСМПО–АВИСМА
- Уральский государственный технический университет
- Институт машиноведения УрО РАН
- Уральское региональное отделение академии инженерных наук РФ
- Академия инженерных наук РФ
- Нефтегазтрубпром

www.midural.ru
www.ustu.ru
www.vsmppo.ru