



УДК 669.117.56

О РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ ЭШП

**Л. Б. Медовар, В. А. Лебедь, А. П. Стовпченко,
Д. В. Коломиец, Б. Б. Федоровский, В. А. Рябинин,
С. С. Казаков, И. Н. Логозинский, А. Г. Федьков,
С. В. Давыдченко, В. В. Стеценко**

Обсуждены возможные направления реконструкции печей ЭШП применительно к условиям украинских заводов. Указаны пути достижения качества и технико-экономических показателей переплава, соответствующих современным требованиям.

Discussed are the possible trends in reconstruction of ESR furnaces as-applied to conditions of Ukrainian plants. The ways are shown for attaining the quality and technical economical characteristics of remelting in compliance with modern requirements.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; симметричный токоподвод; смена электродов; система управления; качество слитка

В 1958 г. новый металлургический процесс — электрошлаковый переплав (ЭШП), созданный в лаборатории Института электросварки, впервые в мире был внедрен в промышленность на заводе «Днепро-спецсталь». Сегодня ЭШП — это основа специальной электрометаллургии, к которой относят также вакуумно-дуговой, плазменно-дуговой и электронно-лучевой переплавы, а также вакуумно-индукционную плавку. Приоритет отечественных изобретений, в том числе в области металлургии, пытаются оспаривать. Были такие попытки и с ЭШП, но в 1969 г. в США на первой странице обложки октябрьского номера металлургического журнала «Iron Age» появилось красноречивое признание: «ЭШП из СССР» на фоне печей ЭШП типа Р-951 конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона (рис. 1).

ЭШП был отмечен Ленинской премией 1963 г.* Тогда же, с момента продажи лицензии во Францию, началось победное шествие ЭШП по миру. В те далекие годы завод «Днепро-спецсталь» был безусловным мировым лидером в области техники

и технологии ЭШП. Во многом это лидирующее положение было основано на тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими центрами всей страны



Рис. 1. Печи ЭШП типа Р-951 на обложке журнала «Железный век» (США) с надписью ЭШП из СССР

* Лауреатами Ленинской премии стали Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б. И. Максимович (ИЭС) Ю. А. Шульге (ЗМСИ), В. С. Кульгын (завод «Электросталь»), П. П. Менушенков (ЗМЗ) и Н. Ф. Трегубенко (завод «Днепро-спецсталь»).

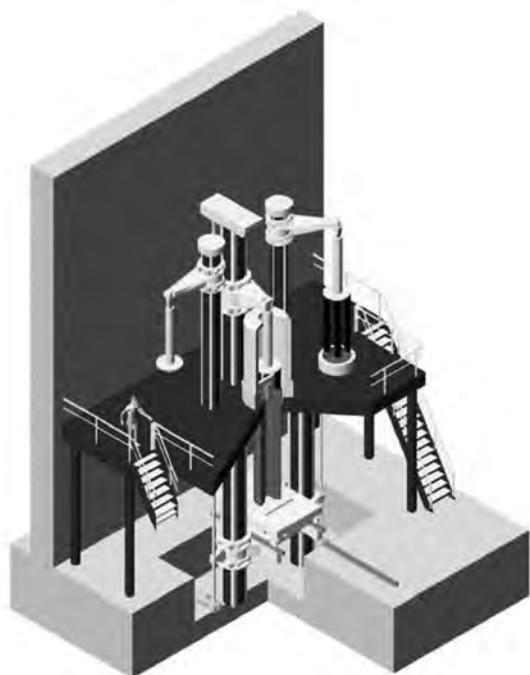


Рис. 2. Общий вид 10-тонной печи ЭШП со сменой электродов и защитной атмосферой

и с Институтом электросварки, где не прекращалось его развитие под руководством академиков Б. Е. Патона и Б. И. Медовара.

Однако за годы реформ ситуация изменилась: резко уменьшилось производство металла ЭШП не только в Украине, но и в России, прежде всего из-за сокращения оборонных заказов. В остальном мире с окончанием гонки вооружений и холодной войны производство металла ЭШП, как, впрочем, и всей специальной электрометаллургии, сократилось на четверть. Однако сейчас оно постоянно увеличивается в среднем на 5 % ежегодно [1]. По некоторым данным, на пике гонки вооружений общемировое производство металла ЭШП составляло не более 1 млн т. Ныне оно возросло втрое. Время подтвердило достоинства ЭШП и его технические возможности. В целом логика развития ЭШП лежит в русле основного стратегического направления развития металлургии — увеличения доли металла особо высокого качества в общем объеме производства.

Сложившаяся ситуация и современные тенденции развития ЭШП. К сожалению, отечественные заводы вынуждены эксплуатировать печи ЭШП, конструкция которых создавалась на базе технологий пятидесятилетней давности. Ситуация, возможно, не менялась бы и далее. Однако в период общемирового кризиса 2008–2009 гг. на многих заводах обнаружили, что ЭШП весьма прибылен. Более того, в связи с ограничениями, накладываемыми старой конструкцией печей ЭШП и морально устаревшими системами управления, выяснилось, что некоторые стали и сплавы не могут быть получены без реконструкции имеющегося парка оборудования. Производители обратили внимание на резервы повышения экономичности ЭШП за счет сни-

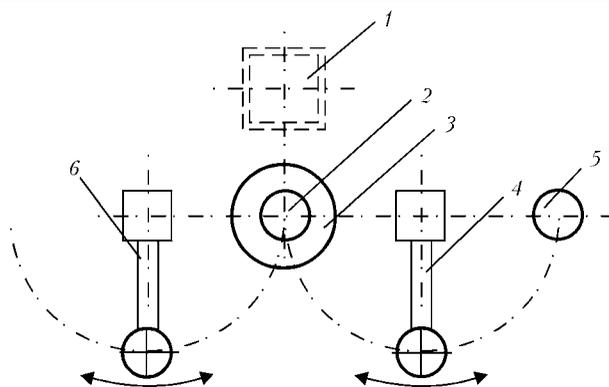


Рис. 3. Схема реализации смены электродов на стандартной печи ЭШП: 1 — колонна печи; 2 — расходный электрод; 3 — кристаллизатор; 4 — поворотный манипулятор для установки электродов; 5 — место печи подогрева концов электродов перед плавкой; 6 — поворотный манипулятор для снятия огарков электродов

жения удельного расхода электроэнергии и шлака, а также применения более дешевых шлаков. Все это было положено в основу разработки направления и путей реконструкции существующего в СНГ парка печей ЭШП.

Задачи технического перевооружения и модернизации связаны с совершенствованием и развитием технологических процессов ЭШП, определяющих изменения конструкции печей. Новые печи ЭШП, введенные в эксплуатацию в последние годы во всем мире, в основном камерного типа, предназначены для получения слитков высоколегированных сталей и суперсплавов [2–5]. Практически все они имеют систему смены расходных электродов по ходу переплава. Схематически такая конструкция (ИЭС им. Е. О. Патона и инженеринговой компании «Элмет-Рол») представлена на рис. 2.

Камерные печи ЭШП позволяют вести переплав как в защитной атмосфере, так и при повышенном давлении, например в азоте для получения высокоазотистых сталей, в том числе со сверхравновесным содержанием азота. Появившееся сравнительно недавно сообщение о создании печи ЭШП с рабочим давлением 8 МПа [6] позволило уточнить требования к современным печам ЭШП и подходы к реконструкции старых [7]. Особого внимания заслуживают разработки ЭШП с двухконтурной схемой питания (ЭШП ДС), позволяющей существенно расширить возможности управления затвердеванием слитков. Однако эта система применима только при коротком токоведущем кристаллизаторе и вытяжке слитка [8].

Технические аспекты реконструкции печей ЭШП. Несмотря на специфику разных заводов выработанные подходы и рекомендации могут быть использованы различными предприятиями, планирующими выйти на новый уровень технологии и качества слитков ЭШП. При этом следует определить новый уровень требований к качеству металла ЭШП и перспективный марочный сортамент. Сравнение отечественного и зарубежного сортаментов стали, производимых способом ЭШП, позволяет утверждать,



что количество высоколегированных сталей и суперсплавов у нас недостаточное. Преобладает выплавка низколегированных конструкционных сталей. Вызвано это тем, что в чертежах многих изделий указано применение металла ЭШП. Сегодня требуемое качество для этих сталей может быть обеспечено и без ЭШП. Однако инерция сильна, а времени и денег на изменение документации нет. Поэтому и встречается сегодня выпуск металла ЭШП даже и не низколегированного, а углеродистого сортамента, например такого, как хорошо известная сталь 22КШ.

Необходимо также определить возможности реализации современных технических решений в условиях конкретного предприятия и выделить те, которые позволят максимально использовать существующее оборудование. Чаще всего трансформатор и металлоконструкции печи могут быть сохранены практически полностью (после их ревизии), а короткая сеть — лишь частично. Система управления должна быть заменена. Из технических решений, направленных на улучшение показателей печи, можно выделить следующие.

Смена электродов по ходу переплава позволяет увеличить развес слитка на существующей печи и снизить затраты на подготовку расходоуемых электродов. Для этого потребуется замена узла крепления и подачи электродов. На рис. 3 схематически показана реализация смены электродов по ходу переплава на печи ЭШП стандартной конструкции.

Создание симметричного токоподвода. На старых печах ЭШП токоподвод односторонний или, в лучшем случае, двусторонний, что приводит к выраженной асимметрии электромагнитного поля и течений шлака и металла, а в итоге, — к ликвации в сложнолегированных сталях и сплавах. Для расширения сортамента металла ЭШП и увеличения развеса слитков высоколегированных сталей и сплавов необходимо создать симметричное электромагнитное поле в жидкометаллической части слитка ЭШП. Результат моделирования электромагнитного поля на современной печи ЭШП при симметричном токоподводе с четырех сторон [9] показан на рис. 4. Такое решение делает гидродинамическую картину в двухфазной области формирующегося слитка более симметричной. Практически все современные печи ЭШП оборудуют токоподводами именно такого рода.

Защита плавильного пространства. ЭШП в контролируемой атмосфере позволяет переплавлять сложнолегированные сплавы, содержащие легкоокисляемые легирующие элементы или требующие легирования азотом. Кроме того, наличие камеры дает возможность реализовать ЭШП в дугошлаковом варианте [9], что экономит не менее 25... 30 % электроэнергии. Отметим, что средний уровень удельного расхода электроэнергии на современных печах ЭШП находится в пределах 1100... 1200 кВт·ч/т слитка, а на печах устаревшей конструкции — выше

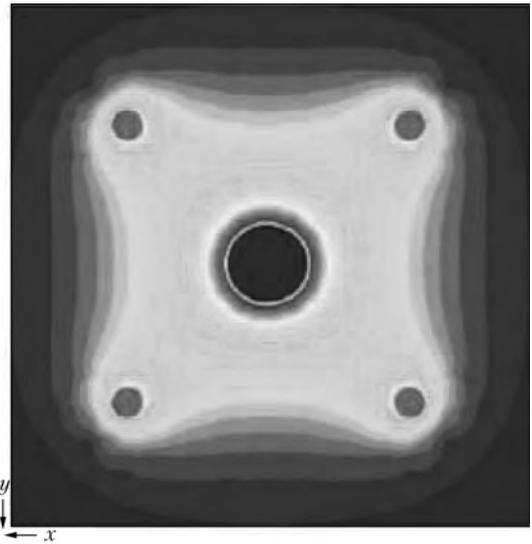


Рис. 4. Расчетная картина распределения электромагнитного поля при ЭШП с симметричным токоподводом [9]

1500... 1700 кВт·ч/т слитка, что означает потерю около 40 дол. США на каждой тонне слитка ЭШП.

Точное позиционирование электрода. При размещении электрододержателя на двухкоординатном суппорте система управления осуществляет постоянное центрирование электрода в кристаллизаторе, что улучшает симметрию тепловложения и гидродинамику в шлаковой и жидкометаллической ванне, а также металлургическое качество слитка. Кроме того, достигаются большие коэффициенты заполнения.

Достижение нового уровня качества слитка невозможно без создания современных систем управления печью. Это касается не обновления аппаратной части, а изменения идеологии и степени автоматизации управления печью. Так, необходим прецизионный контроль заглубления расходоуемого электрода в шлак. Например, при ВДП контроль длины дугового промежутка осуществляется с погрешностью ± 1 мм. Такая точность контроля заглубления электрода не может быть достигнута на старых печах ЭШП, где отсутствуют датчики массы электрода (слитка), а контроль положения электрода в шлаковой ванне проводится расчетным путем. Это дает недопустимо высокую погрешность и обуславливает ведение ЭШП на почти вдвое повышенном количестве шлака (обычно около 40 кг шлака на тонну слитка ЭШП при современном уровне 20... 25 кг/т) и со значительным (иногда около 100 мм) заглублением электрода, при котором невозможно выплавка чувствительных к сегрегации высоколегированных сталей и сплавов.

Таким образом, для обеспечения качества слитка необходимо вести переплав с как можно большим коэффициентом заполнения при минимально возможном заглублении электрода в шлак, а при планировании модернизации отечественных печей — как минимум реконструировать короткую сеть и создать новую систему управления.



Заключение

Времена, когда техника и технология ЭШП в Украине (и России) были предметом пристального внимания со стороны зарубежных коллег, не ушли в прошлое полностью. Такие отечественные разработки, как переплав по двухконтурной схеме, дугошлаковый переплав, ЭШП без расходоуемых электродов и получение биметаллов при ЭШП, по-прежнему не имеют аналогов в мире [9]. Вместе с тем в конструкции печей и практике ЭШП намечилось существенное отставание, требующее коренных перемен. Приведенные в данной статье сообщения о направлениях реконструкции печей ЭШП и совершенствовании технологии ЭШП проходят в настоящее время всестороннее обсуждение и планируются к реализации.

1. Moll M. Update on the Markets for Superalloys and Specialty Steels // Proc. of Remelting and Forging Symp. (Shanghai, maj 2010). — Shanghai: Inteco, 2010. — P. 46–72.
2. Печи электрошлакового переплава // www.consarc.com
3. ALD Vacuum technologies High Tech is our business // web.ald-vt.de
4. Xingtai unbekzeichnet FAC // www.inteco.at

5. An advanced pressurized electroslag remelting process approach at laboratory scale / H. Scholz, U. Biebricher, A. Carosi, D. Rossi // Proc. of 7-th Intern. conf. of high nitrogen steels 2004 (Ostend, Belgium, Sept. 19–22, 2004). — Ostend, 2004. — P. 317–322.
6. О новом подходе к конструкции камерных печей ЭШП // Л. Б. Медовар, А. А. Троянский, В. Я. Саенко и др. // Современ. электрометаллургия. — 2005. — № 2. — С. 15–17.
7. Двухконтурная схема электрошлакового переплава расходоуемого электрода / А. К. Цыкуленко, И. А. Ланцман, А. В. Чернец и др. // Там же. — 2000. — № 3. — С. 16–20.
8. Karicha A. Selected Numerical Investigation on ESR Process // Proc. LMPC-2007 (Nancy, France, Dezember, 2007). — Nancy, 2007. — P. 235–244.
9. Zhouhua J., Zhengbang L. The Latest Development Trend of Electroslag Metallurgy Technology National Electroslag Metallurgy Academic conf. Collections (Beijing, 2008). — Beijing, 2008. — P. 7–14.

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

«Элмет-Рол», Киев

ПАО «Днепроспецсталь», Запорожье

ГП «ОЗ СЭМ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины», Киев

Поступила 08.10.2012

УДК 669.187.526.001.57

КАЧЕСТВО СЛИТКОВ ЭШП, ВЫПЛАВЛЕННЫХ ИЗ ЭЛЕКТРОДОВ, СПРЕССОВАННЫХ ИЗ СТРУЖКИ АУСТЕНИТНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

**В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев, Ф. К. Биктагиров,
Г. Ф. Мьяльница, М. А. Брагин, Д. В. Подьячев,
В. Н. Пудиков, Д. В. Ботвинко**

Исследовано качество слитков ЭШП, выплавленных из расходоуемых электродов, полученных путем прессования стружки аустенитных нержавеющей сталей. Предложены технологические меры для повышения качества полученного металла. Даны рекомендации по его использованию.

Quality of ESR ingots, melted from consumable electrodes, produced by pressing austenitic stainless steel chips, was investigated. Technological measures have been suggested to improve the quality of produced metal. Recommendations are given for its application.

Ключевые слова: ЭШП; прессование; стружка сталей X18N10T и X18N9; расходоуемый электрод; слитки; качество; механические свойства

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан способ компактирования стружки способом полунепрерывного горячего прессования под током и создана опытно-промышленная установка [1–3]. Одним из достоинств

данного способа является угар из стружки остатков смазочно-охлаждающей жидкости при нагреве металла до высоких температур. Это позволяет использовать стружку без предварительной очистки от органических остатков механической обработки и таким образом сократить затраты на ее переработку (расход химических веществ на обезжиривание, площади под промыв и сушку стружки и т. д.).

© В. А. ШАПОВАЛОВ, В. Р. БУРНАШЕВ, Ф. К. БИКТАГИРОВ, Г. Ф. МЯЛЬНИЦА, М. А. БРАГИН, Д. В. ПОДЬЯЧЕВ, В. Н. ПУДИКОВ, Д. В. БОТВИНКО, 2012