

## СОТРУДНИЧЕСТВО НКМЗ И ИЭС им. Е. О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ В ТЯЖЕЛОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

**С. Г. КРАСИЛЬНИКОВ, В. П. ГУЛИДА**, инженеры (ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)  
академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО, И. И. ЛЫЧКО**, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены сведения о результатах многолетнего сотрудничества ЗАО «НКМЗ» с ИЭС им. Е. О. Патона в области производства крупных заготовок на основе применения электрошлаковой сварки. Описаны примеры успешного применения ЭШС при производстве ответственного оборудования, конкретных деталей, показаны потенциальные возможности и перспективы дальнейшего совершенствования технологий электрошлаковой сварки в тяжелом машиностроении.

*Ключевые слова: конструкционные материалы, электрошлаковая сварка, тяжелое машиностроение, укрупнение заготовок, специализированные установки, сварочная аппаратура*

Технический прогресс в тяжелом машиностроении как базовой отрасли промышленности предопределяет возможности ускоренного развития всего машиностроения, металлургии и других важных отраслей промышленности.

В 1960–1980 гг. на НКМЗ решена задача освоения производства сверхкрупных машин и агрегатов, для изготовления которых потребовались новые специальные технологии, обеспечивающие производство уникальных заготовок массой до 300 т. Эта государственная задача решалась заводом на основе принятого перспективного направления — укрупнения заготовок путем изготовления их кованосварными, литосварными из отдельных поковок и отливок сравнительно небольшой массы, а также сварными из проката и комбинированными. Для укрупнения массивных заготовок необходимы были принципиально новые сварочные процессы. Одним из них стала электрошлаковая сварка (ЭШС) — выдающееся отечественное изобретение, созданное в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. ЭШС позволила выполнять неразъемные соединения практически неограниченной толщины за один проход [1]. НКМЗ стал пионером в освоении этого способа. Начиная с 1950 г. совместные работы в этой области не прекращаются и сегодня.

С самого начала все теоретические и экспериментальные работы по созданию ЭШС координировались Б. Е. Патонем. Благодаря труду целой плеяды ученых ИЭС им. Е. О. Патона — Г. З. Волошкевича, Д. А. Дудко, А. М. Макары, Ю. А. Стеренбогена, И. И. Сузук-Слюсаренко, И. И. Лычко и многих других специалистов разработаны основы электрошлакового процесса и выработаны практические рекомендации для широкого внедрения его в производство.

Успех внедрения новых способов ЭШС на НКМЗ был бы невымыслим без творческого союза ученых ИЭС им. Е. О. Патона и производственников отдела главного сварщика завода прежде всего И. Г. Гузенко, В. В. Черныха, Г. Г. Мейрамова, В. С. Погорелова, Л. П. Ерегина, В. М. Семенова, А. Е. Малая, А. Д. Панина, В. П. Гулиды, И. С. Савченко и др. Многие из них стали известными учеными и крупными организаторами сварочного производства в тяжелом машиностроении. Неоценимый вклад в освоение и практическую реализацию техники и технологии ЭШС внесли электросварщики-операторы А. И. Имшенецкий, В. Я. Цибуленко, П. Е. Назаренко, Н. Г. Шевченко, А. В. Ярмоленко, В. К. Луговской, В. И. Глуценко, А. С. Корх, В. М. Шурмалев и др.

В результате сотрудничества НКМЗ с ИЭС им. Е. О. Патона впервые в отечественном машиностроении в 1951 г. на заводе применен способ ЭШС проволочными электродами для приварки лопаток к статорам гидротурбин при толщине свариваемых изделий 200 мм. Для этой цели институтом изготовлены специальные двухэлектродные аппараты А-316, которые впоследствии были заменены трехэлектродными А-372.

К 1954 г. освоено изготовление станин механических ковочно-штамповочных прессов усилием 40 МН и валов гидротурбин с применением ЭШС. В дальнейшем ее объемы непрерывно возрастали, были изготовлены станины и цилиндры прессов усилием 750 МН для Куйбышевского металлургического комбината (ныне — металлургическое предприятие ОАО «Объединенная компания «Сибирский алюминий», г. Самара) и Верхнесалдинского металлургического комбината, серия валов гидротурбин для Горьковской, Братской, Асуанской (Египет), Красноярской ГЭС, а также станина прессы 6300. Используемая к тому времени технология и техника ЭШС ограничивала толщину свариваемого металла до 400 мм, не позволяла сваривать детали сложного сечения, что сдерживало ее широкое применение.



С целью расширения диапазона свариваемых толщин совместными усилиями сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона и НКМЗ в 1956 г. был разработан новый способ получения неразъемных соединений металлических заготовок, получивший название ЭШС плавящимся мундштуком [2], который позволял выполнять свариваемые сечения практически неограниченной толщины и протяженности, а также сваривать изделия сложной формы. К разработке этого способа ЭШС подтолкнула необходимость сварки лопаток гидротурбин толщиной более 200 мм, соединяемое сечение которых имело каплевидную форму [3]. Первое практическое использование ЭШС плавящимся мундштуком нашло применение при исправлении дефектов в крупных отливках, которые раньше на заводе шли в брак.

Широкие возможности способа ЭШС [4] привлекли внимание конструкторов и технологов завода, что способствовало нетрадиционным подходам в выборе и разработке новых конструкторско-технологических решений при производстве крупных деталей для машин и агрегатов кузнечно-прессового, прокатного, энергетического и других видов оборудования.

Значительно возросшие объемы ЭШС потребовали создания более совершенного сварочного оборудования для выполнения электрошлаковых соединений. Над созданием сварочных аппаратов для ЭШС, принципиально отличающихся от аппаратов для электродуговой сварки, в институте успешно работали конструкторы под руководством В. Е. Патона. Особо хотелось бы отметить вклад П. И. Севбо, М. Г. Бельфора, Р. И. Лашкевича, В. Б. Смолярко, И. В. Ющенко, В. А. Маслова и др.

Положительный опыт применения ЭШС на НКМЗ позволил ИЭС им. Е. О. Патона спроектировать и изготовить серию аппаратов для сварки проволочными электродами: более совершенный трехэлектродный аппарат А-535 (вместо А-372), малогабаритные аппараты А-433 и А-790. Для сварки плавящимся мундштуком изготовлены шестиэлектродные аппараты А-645 (впервые использованы при ЭШС арка для крупных ковшей экскаваторов и труднодоступных швов траверсы прессы 6300) и 18-электродные аппараты А-741, оснащенные более мощными источниками питания ТШС-3000-3. Для сварки пластинчатыми электродами создан аппарат А-550.

В этот период удалось существенно усовершенствовать технику ЭШС кольцевых швов — путем модернизации установки изготовлен механизированный роликовый стенд, а также сварочный аппарат, снабженный двумя трехэлектродными головками А-1247, позволяющий автоматически производить быструю (10...15 с) замену вышедшей из строя головки на другую (резервную) без нарушения процесса сварки. Для сварки деталей толщиной до 2500 мм спроектирована и изготовлена стационарная установка портального типа, на подъемной траверсе которой размещался сварочный автомат А-741 для ЭШС плавящимся мундштуком. Установка также была оснащена двумя противоположно расположенными балконами, снабженными аппаратами А-372, при этом пло-

щадки с аппаратами выполнены с возможностью перемещения в горизонтальном и вертикальном направлениях и предназначены для обслуживания и визуального контроля процесса при ЭШС изделий плавящимся мундштуком, а также для выполнения в автономном режиме ЭШС проволочными электродами изделий толщиной до 450 мм. Созданные участки ЭШС размещались в цехах, где подъемно-транспортные средства имели ограниченную грузоподъемность. Для этого были организованы рабочие места в других цехах завода, где можно сваривать детали (балки, станины, шаботы, траверсы и др.) большой массой (до 300 т). Для сварки таких деталей спроектированы и изготовлены переносные многоэлектродные подающие механизмы А-480.

Для производства сварных конструкций в основном применяли углеродистые стали марки 30 и 35. Дальнейшее повышение удельной мощности выпускаемого заводом оборудования требовало для производства сварковоканных конструкций освоения ЭШС сталей повышенной прочности [5]. При применении хромникельмолибденовых сталей обнаружена их низкая технологическая прочность, заключающаяся в образовании горячих кристаллизационных трещин в металле шва и околошовной зоне [6, 7]. Для решения задачи повышения технологической прочности в условиях ЭШС совместное сотрудничество было направлено на проведение комплексных исследований, в результате которых установлены факторы, влияющие на склонность к образованию трещин и разработаны технологические меры, позволяющие предотвратить их появление (разработаны и внедрены новые сварочные материалы, методика по оценке свариваемости, разработаны специальные технологические приемы по созданию благоприятных термических циклов и уменьшению сварочных напряжений) [8–11].

Освоение сварки сталей повышенной прочности, совершенствование технологии ЭШС позволили спроектировать и изготовить прессы, молоты и прокатные станы с высокими технико-эксплуатационными качествами. Это прежде всего прессы усилием 300 и 500 МН, бесшаботный молот с энергией удара 1,5 МДж, уникальный пресс усилием 650 МН (изготовленный и поставленный в 1977 г. во Францию [12]), прокатные станы 2000 и 3600. Использование имеющегося в этот период оборудования и технологии ЭШС обеспечивало выпуск изделий с электрошлаковыми соединениями, объем которых достигал в 1970–1980 гг. 10...12 тыс. т/год.

В рамках дальнейшего совершенствования оборудования и технологии ЭШС заводом было принято решение создать новую установку для ЭШС больших толщин, отвечающую современным требованиям производства с оснащением ее средствами автоматизации и мониторинга процесса. Для этой установки ИЭС им. Е. О. Патона разработал систему гарантированной подачи электродных проволок, спроектировал и изготовил сварочный автомат АШ-110 с новыми источниками питания (трансформаторы А-481Е). Указанное оборудование смонтировано на специально изготовленной заводом портальной установке. Новая уникальная

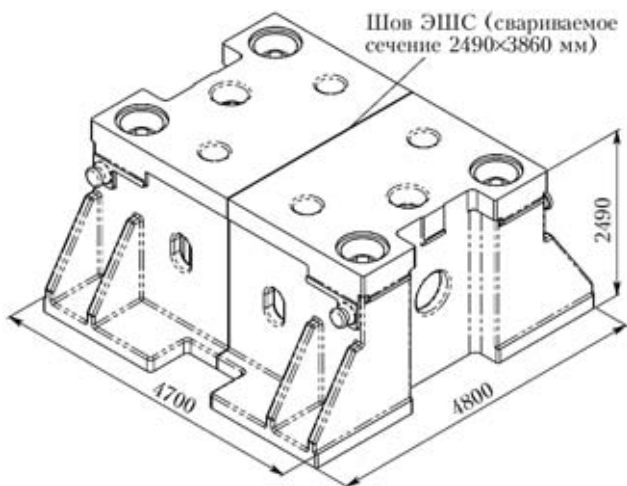


Рис. 1. Эскиз траверсы нижней

установка позволяет осуществлять сварку изделий со свариваемыми сечениями до 5000x6000 мм (толщина изделия X длина шва). При этом обеспечивается получение гарантированного качества сварных соединений в результате повышения надежности ведения электрошлакового процесса путем автоматического дублирования подаваемых в зону сварки электродных проволок [13].

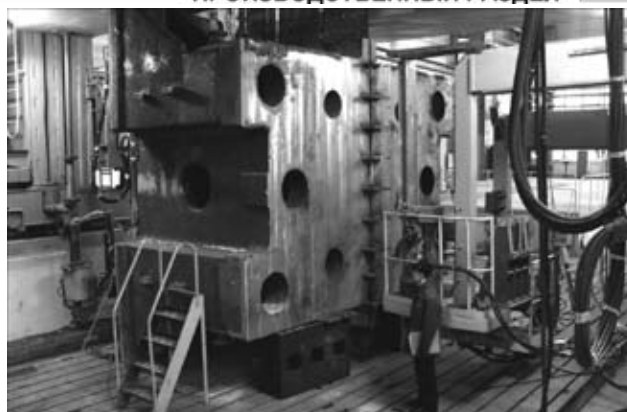


Рис. 2. Общий вид траверсы нижней на новой установке для ЭПС больших толщин

Подтверждением признания опыта и потенциала НКМЗ явился заказ ему в 2003 г. производства (по совместному инжинирингу с фирмой «SMS Eumaco GmbH WAGNER BANNING», Германия) прессов SPR-R5000 (усилием 50 МН), SPR-K5000 (усилием 50 МН) и SPR-R9000 (усилием 90 МН) для колесопрокатной линии ОАО «МНТК» (г. Н. Тагил, Россия). Часть базовых деталей указанных прессов (днища цилиндров, траверсы и проставки) изготовлены в сварном исполнении с помощью ЭПС плавящимся мундштуком. Днища цилиндров

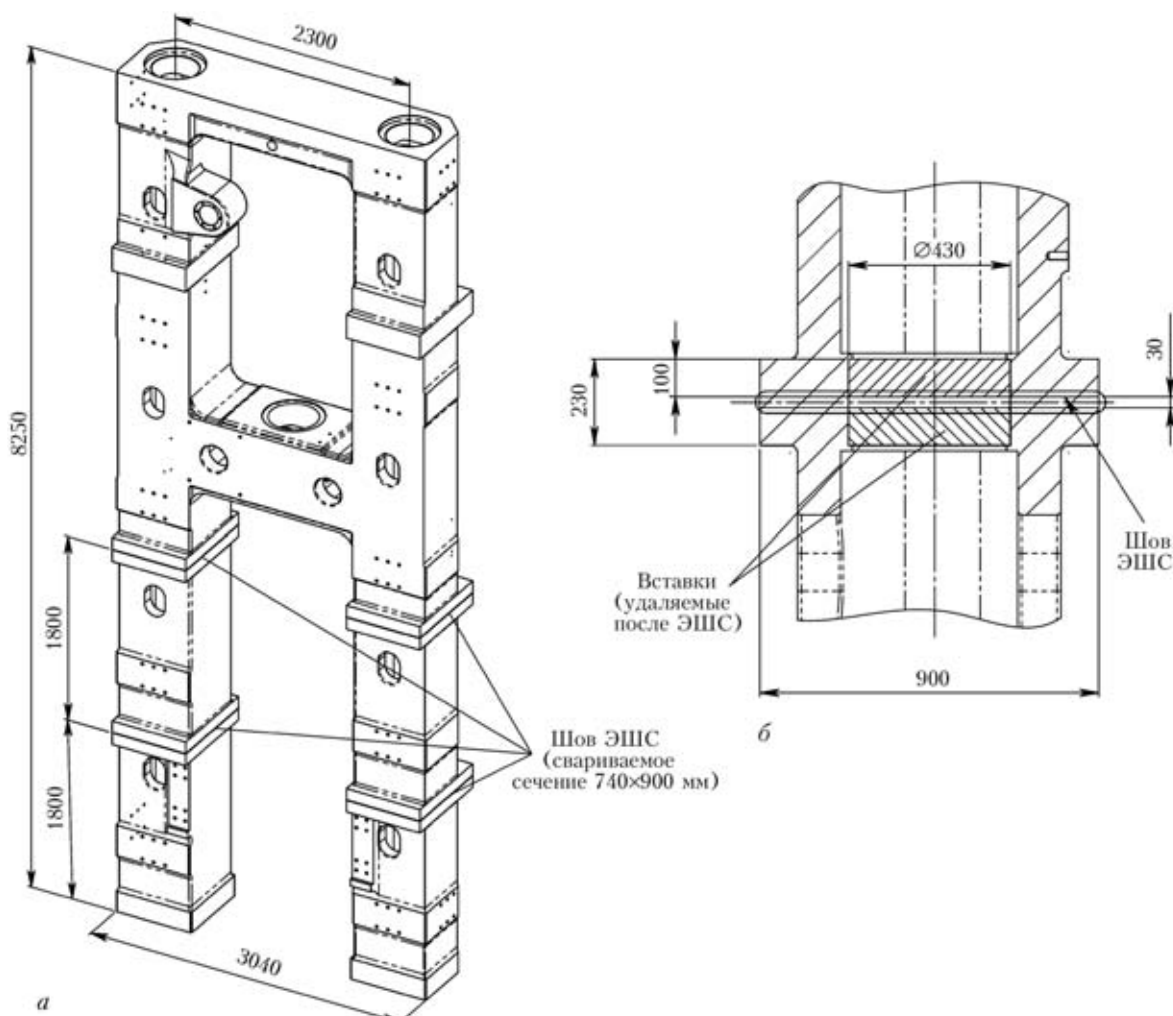


Рис. 3. Эскиз сваренной ЭПС проставки (а) и поперечное сечение сварного соединения (б)

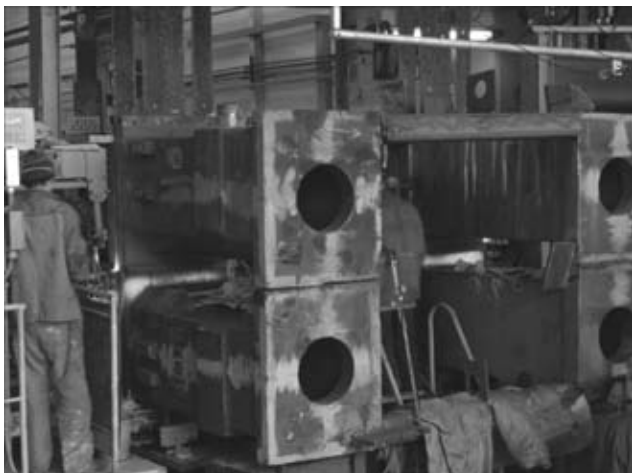


Рис. 4. Общий вид фрагмента пакета проставки, выполненный с использованием ЭШС (два стыка одновременно)

сваривали из двух поковок стали 20ХНМФА по ТУ 240013.030–87 с применением сварочной проволоки диаметром 3 мм типа Св-08ГНМА ТУ 14-15-375–95. Свариваемые сечения двух типов днищ в зависимости от конструкции цилиндров имели следующие размеры: 1730×2380 и 1430×2940 мм. Сваренные днища массой по 100 т подвергали после ЭШС термической обработке (нормализация с отпуском). Траверсу нижнюю (рис. 1, 2) массой 150 т сваривали из двух литых заготовок стали GS-20Mn5 DIN 17182 с последующей термообработкой (нормализация с отпуском). Размеры свариваемого сечения 2490×3860 мм. При ЭШС проставок массой до 60 т из литых заготовок стали GS-20Mn5 (также с использованием проволоки Св-08ГНМА) были предприняты соответствующие технологические меры, обеспечивающие получение требуемой точности и качества. Размеры свариваемых сечений проставок 740×900 мм и 880×1070 мм. С целью снижения цикла и трудоемкости изготовления проставок, состоящих из пяти элементов, их сборку и ЭШС осуществляли пакетом по 2 шт. в два этапа (рис. 3, 4).

Учитывая, что сегодня крупные металлургические предприятия стран СНГ, Европы и других регионов мира ведут реконструкцию и создают новые мощности металлургического и других видов оборудования, НКМЗ является активным участником на рынке продаж продукции и завоевывает приоритетные заказы на изготовление и поставку различного оборудования и запасных частей. В значительной мере этому способствует и много-

летний опыт сотрудничества НКМЗ с ИЭС им. Е. О. Патона в области ЭШС.

В ближайших планах сотрудничества завода с институтом совершенствование технологии ЭШС крупных бандажей (в том числе на монтаже), нетранспортабельных в цельном исполнении, с применением метода дозированного противодавления усилием усадки для обеспечения требуемой точности геометрических размеров бандажей после ЭШС [14]. При этом предусматривается также создание комплекса мобильного компактного оборудования для ЭШС и местной термической обработки.

1. *Электрошлаковая сварка и наплавка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
2. А. с. 105103 СССР, МПК 21h 29/13. Способ электрошлаковой сварки / Г. З. Волошкевич, Д. А. Дудко, В. В. Черных, Л. П. Ерегин, А. В. Ярмоленко. — Опубл. 05.01.57, Бюл. № 1.
3. *Ерегин Л. П.* ЭШС плавящимся мундштуком // Автомат. сварка. — 1999. — № 9. — С. 44–46.
4. *Волошкевич Г. З.* Конструирование изделий с соединениями, выполненными электрошлаковой сваркой. — М.: ЦБНТИ, 1958. — 108 с.
5. *Технология* изготовления заготовок из стали 35ХНЗМФ методом электрошлаковой сварки с последующей ковкой / А. И. Рымкевич, Н. В. Тихомиров, М. Б. Роцин и др. // Свароч. пр-во. — 1973. — № 3. — С. 11–13.
6. *Высокотемпературная* химическая микронеоднородность в околошовной зоне / А. М. Макара, И. Я. Дзыкович, Г. Н. Гордадь и др. // Там же. — 1970. — № 11. — С. 1–3.
7. *Ерегин Л. П., Малай А. Е.* Условия образования околошовных трещин-надрывов при электрошлаковой сварке хромоникельмолибденовых сталей // Там же. — 1978. — № 10. — С. 26–27.
8. *Способ* предупреждения надрывов при электрошлаковой сварке кольцевых швов толстолистовых обечайек / А. М. Макара, Ю. Я. Ковалев, И. В. Новиков и др. // Там же. — 1970. — № 10. — С. 14–15.
9. *Суцук-Слюсаренко И. И., Лычко И. И., Семенов В. М.* Основные и сварочные материалы для электрошлаковой сварки. — Киев: Наук. думка, 1981. — 112 с.
10. *Семенов В. М., Гулида В. П., Ерегин Л. П.* Установка для оценки склонности соединений к образованию трещин-надрывов при электрошлаковой сварке // Автомат. сварка. — 1981. — № 2. — С. 66–67.
11. *Сварка* массивных подштамповых плит из стали 25ХНЗМФ / М. Б. Роцин, А. С. Гельман, И. А. Борисов и др. // Свароч. пр-во. — 1975. — № 7. — С. 14–17.
12. *Адаменко В. Я., Ерегин Л. П., Малай А. Е.* Технологические особенности сварки прессы усилием 65000 тс // Там же. — 1977. — № 11. — С. 15–17.
13. *Новая* установка для электрошлаковой сварки крупных элементов на АО «Ново-Краматорский машиностроительный завод» / В. А. Невидомский, С. Г. Красильников, А. Д. Панин и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 2. — С. 50–52.
14. *Суцук-Слюсаренко И. И.* Метод получения точных размеров изделий при электрошлаковой сварке. — Киев: УкрНИИ-ИНТИ, 1969. — 42 с.

Information is given about the results of a multiyear cooperation of JSC «NKMZ» with the E.O.Paton Electric Welding Institute in the field of production of large billets using the electroslag welding. Examples of successful solutions on definite components are described and potentialities and prospects of further improvement of technologies of electroslag welding in heavy machine-building are shown.

Поступила в редакцию 23.06.2004