

УДК 621.791.793.74

Шаповалов К. П., Корниенко А. Н., Макаренко Н. А.

ПРИОРИТЕТ УКРАИНЫ В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПРОЦЕССОВ

В годы второй мировой войны и в первые послевоенные годы в СССР, США и ряде других стран дуговая автоматическая сварка под флюсом нашла широкое применение в промышленности. Однако выполнялась она лишь при нижнем положении швов, что не позволяло использовать эффективный технологический процесс при изготовлении многих крупных некантуемых изделий (швы на вертикальных и наклонных плоскостях приходилось выполнять вручную) [1].

Данная работа актуальна, т. к. в зарубежных публикациях высказывают сомнения некоторых ученых о том, что создание электрошлаковой сварки (ЭШС) впервые было осуществлено за рубежом (например, в Чехии).

Цель работы – доказать приоритет Украины в изобретении способа ЭШС.

Задача исследований: доказать, что возникновение ЭШС было обусловлено потребностью автоматизировать процесс сварки под флюсом вертикальных швов.

Патон Е. О., директор Института электросварки им. Е. О. Патона (ИЭС) выдвинул задачу распространить применение автоматической сварки на крупногабаритные изделия, (в частности автоматизировать сварку монтажных вертикальных швов кожухов домен).

В 1947 г. начались исследования условий формирования валика в различных пространственных положениях (Г. З. Волошкевич, Ю. А. Стеренбоген, С. М. Мандельберг); был испытан ряд способов получения вертикальных швов как с принудительным, так и со свободным формированием (сварка с поперечными или более сложными колебаниями, прерывистая (точками), сварка на пониженном токе), что послужило началом создания теории формирования валика сварного шва и доказательством целесообразности распространения способа сварки под флюсом в вертикальном положении с принудительным формированием шва. Практическое осуществление сварки под флюсом вертикальных швов потребовало решения целого ряда проблем, а именно: введение электрода в закрытую разделку; снижение чувствительности к изменению уровня ванны; контроль и регулирование уровня ванны; стабилизация электрического разряда в глубокой шлаковой ванне) [2]. В дальнейшем метод принудительного формирования был распространен на горизонтальные швы, расположенные на вертикальной или наклонной поверхностях, а также на потолочные.

На заводе «Запорожсталь», где строилось несколько доменных печей, в июне-июле 1948 г. Г. З. Волошкевичем были сварены автоматом в монтажных условиях четыре опытных пояса доменной печи. Позже ИЭС и трест «Стальмонтаж» Минстроя предприятий тяжелой индустрии был сварен кожух доменной печи объемом 1050 м³ [3]. Сварку выполняли одним проволочным электродом, подаваемым в шлаковую ванну, сравнительно большого объема, поскольку зона сварки ограничивалась ползунами. Были доказаны существенные преимущества нового способа сварки по сравнению с применяющимися на заводах: трудоемкость основных операций снизилась в 2–3 раза, повысился съём готовой продукции с единицы площади.

Продолжая работать над технологией дуговой автоматической сварки под флюсом вертикальных швов с принудительным формированием, Г. З. Волошкевич обнаружил, что в некоторых случаях (при глубине шлаковой ванны более 40 мм, перегреве ванны) дуговой процесс становится неустойчивым и даже прекращается, однако электродный металл, флюс и кромки плавятся. Процесс плавления осуществлялся за счет тепла омического сопротивления при прохождении тока через жидкий шлак. В 1949 г. на основе этого процесса в ИЭС стали разрабатывать ЭШС.

Первыми приняли участие в освоении и совершенствовании нового вида сварки Таганрогский котельный завод «Красный котельщик» (ТКЗ), Барнаульский котельный завод и Новокраматорский машиностроительный завод им. И. В. Сталина (НКМЗ). На ТКЗ были сварены сосуды высокого давления с толщиной стенки 90 мм. В 1951 г. на НКМЗ ЭШС применили при изготовлении статоров гидротурбин массой до 80 т, а позднее валов гидротурбин и гидрогенераторов.

Успешное внедрение и дальнейшее развитие этого нового процесса обусловлено тем, что в ИЭС с начала 1950-х гг. разработку ЭШС осуществляли по нескольким направлениям, одним из которых было совершенствование техники сварки, а также основного и вспомогательного оборудования. Большой экономический эффект дала разработанная в ИЭС (Д. А. Дудко, В. Ф. Грабин и др.) технология ЭШС круглого сечения с использованием медного водоохлаждаемого кокиля, дополняющего круг до квадрата [4]. К 1954 г. в ИЭС была создана техника замыкания кольцевых швов (А. М. Макара, В. Ф. Грабин, И. В. Новиков). Другое направление основывалось на исследовании металлургических особенностей процесса, создании высокопрочных сталей с хорошей свариваемостью и соответствующих сварочных материалов. Были развернуты работы по ЭШС алюминия, меди, титана и сплавов на их основе. Вся поисковая деятельность координировалась Б. Е. Патонем при его непосредственном творческом участии. В 1952 г. была разработана технология ЭШС коррозионноустойчивых сталей (Б. И. Медовар) [5].

Большое значение имели исследования условий возникновения трещин при ЭШС легированных сталей, а также влияние параметров режимов сварки и термообработки на механические свойства соединений (А. М. Макара, Ю. Н. Готальский, В. Ф. Грабин, И. В. Новиков). Эти и ряд других работ открыли возможность применения ЭШС сталей, из которых изготавливаются конструкции мощного металлообрабатывающего и энергетического оборудования [6, 7].

В начале 1950-х гг. на НКМЗ было организовано производство ковочно-штамповочных прессов усилием 40 МН. Станины, стойки изготавливали из толстолистовых элементов с помощью ЭШС, затем и все основные детали пресса также сваривали этим способом. Только в 1956 г. в результате перехода к сварной конструкции пресса на заводе получена экономия в 2,5 млн р. [8]. В следующем году были спроектированы и разработаны аппараты и технология ЭШС более мощных прессов. На НКМЗ было изготовлено несколько станин прокатных станов со сварным сечением до 900 × 900 мм; станины для Ашинского, Запорожского и Челябинского металлургических заводов; валы гидротурбин для Куйбышевской и Сталинградской ГЭС [9]. На Ижорском заводе им. А. А. Жданова (г. С.-Петербург) на основе технологии, разработанной в содружестве со специалистами ИЭС и ЦНИИ технологии машиностроения (г. Москва), была изготовлена сварно-кованая заготовка ротора турбогенератора мощностью 1000 МВт; на НКМЗ — сварная подштамповая плита массой 140 т и рабочие цилиндры гидропрессов. На Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе (г. Екатеринбург) была освоена ЭШС при производстве шагающих экскаваторов, дробилок, прессов. Изделия сваривали из сталей различных марок — от низкоуглеродистой до комплексно-легированных.

В судостроении освоение ЭШС началось еще в 1949 г., когда испытывали первый образец аппарата для сварки монтажных стыковых швов (трактор ТС-20 с магнитным присосом), созданного в ИЭС (Б. Е. Патон). К 1955 г. в ЦНИИ ТС были закончены основные исследования и началось внедрение этого процесса в строительство судов большого водоизмещения (танкеров, сухогрузов, рефрижераторов и др.), что позволило снизить трудоемкость сварочных работ при выполнении монтажных стыков в два раза, повысить уровень механизации сварочных работ при постройке корпусов судов. Использование ЭШС, например, при изготовлении штевной сварно-литой конструкции для танкеров водоизмещением 16500 т уменьшило себестоимость этих деталей в два раза.

В 1954 г. для сварки прямоугольных сечений толщиной до 1000 мм были предложены многоэлектродные аппараты. Однако техника сварки большим количеством электродов (до двух десятков) представляла определенные сложности. Проволочные электроды были заменены одним или несколькими пластинчатыми электродами (Ю. А. Стеренбоген) [10]. Данный способ, впервые реализованный на НКМЗ, позволил упростить аппаратуру и технологию. Но поскольку при этом невозможно было сваривать протяженные швы, разработали способ сварки плавящимся мундштуком, обладающий всеми преимуществами сварки проволочным и пластинчатым электродами (Г. З. Волошкевич, Д. А. Дудко, Л. П. Ерегин и др.) [11]. ЭШС стала применяться не только для выполнения прямолинейных швов, но и швов сложного профиля, расположенных в труднодоступных местах, соединяющих неповоротные стыки труб и т. п. Толщина металла, сваренного с помощью плавящегося мундштука, превысила 2 м.

В конце 1950-х гг. работами Г. З. Волошкевича и И. И. Сущука-Слюсаренко была доказана возможность изготовления способом ЭШС изделий, имеющих размеры по 4–6 классам точности. Причем были установлены зависимости деформаций от параметров режима и разработан способ расчетного определения зазора [12]. Впервые он был применен при монтажной сварке бандажей вращающихся цементных печей.

Во многих случаях ЭШС стала завершающей операцией по изготовлению изделий любой формы практически неограниченных размеров и массы из отлитых, кованных и прокатанных заготовок сравнительно небольшой массы, благодаря чему отпала необходимость в строительстве предприятий с мощнейшим технологическим оборудованием. Огромную экономию дало также использование ЭШС для укрупнения заготовок с последующей ковкой.

Помимо работ, связанных с совершенствованием техники и технологии ЭШС, продолжались глубокие теоретические и экспериментальные исследования, направленные на расширение номенклатуры свариваемых материалов, улучшение качества металла шва и соединения в целом.

Значительный вклад в совершенствование технологии ЭШС на первом этапе внедрения, кроме сотрудников ИЭС, внесли инженеры заводов И. Г. Гузенко, В. В. Черных, И. Д. Давиденко, М. Г. Козулин, В. Г. Радченко и др.

В течение 1950-х гг. Б. Е. Патонем были разработаны принципы автоматического регулирования процесса, послужившие базой для проектирования специальных источников питания и аппаратов [13]. Теоретические основы проектирования оборудования для электрошлаковых процессов изложены в монографии Б. Е. Патона и В. К. Лебедева [14]. Установлены факторы, влияющие на ход процесса, в том числе на параметры режима сварки, физико-химические свойства шлака, электродной проволоки и наличие электромагнитных явлений. Авторами доказана возможность саморегулирования процесса, подобная таковой при дуговой сварке. Установлены основные требования к сварочным трансформаторам, определены принципиальные схемы источников питания и конкретные конструктивные особенности. Было учтено, что электрошлаковый процесс может питаться от трансформатора с относительно небольшим сопротивлением короткого замыкания. Главная особенность трансформаторов, используемых для ЭШС, – широкий диапазон регулировки вторичного напряжения.

Первым промышленным аппаратом, внедренным на ТКЗ, был безрельсовый аппарат А-306 (П. И. Севбо, В. Е. Патон, Р. И. Лашкевич). В 1952 г. для сварки на заводе «Запорожсталь» и моста им. Е. О. Патона в Киеве был разработан рельсовый аппарат А-314 (В. Е. Патон, М. Д. Литвинчук, П. И. Севбо). Этими одноэлектродными аппаратами выполняли сварку металлов толщиной до 60 мм. Для расширения диапазона свариваемых толщин до 150 мм вводили механизм горизонтального возвратно-поступательного движения электрода (А-310 – Р. И. Лашкевич, П. И. Севбо). Аппараты с трехэлектродной головкой позволяли соединять металл толщиной до 40 мм (А-340, А-350 – П. И. Севбо, В. Е. Патон).

Были разработаны портативные, стационарные многоэлектродные аппараты, «дубли-аппараты» с двумя сварочными головками (Г. З. Волошкевич, М. Г. Бельфор, И. И. Сущук-Слюсаренко) [15, 16].

Основные конструктивные решения, разработанные в Украине в процессе совершенствования оборудования для ЭШС, были использованы зарубежными фирмами. SVUZ-ETZ-450 (ЧССР); «Vertomatic S» (фирма «Аркос»); AW-2-V (фирма «Бритиш оксиджен») и др.

Итоги становления и развития ЭШС за десять лет подвел Б. Е. Патон в программном докладе на конгрессе МИСа в 1960 г. (Бельгия). В докладе подробно рассматривались технология сварки, металлургические особенности электрошлакового процесса при соединении всех типов сталей, в том числе нержавеющей, приводились многочисленные примеры использования сварки в тяжелом энергетическом машиностроении, судостроении и других отраслях СССР. Б. Е. Патон отмечал: «ЭШС нашла применение более чем на 50 заводах в Китайской Народной Республике, ГДР и Чехословакии, а также к этому времени ее применение расширяется в Швеции и ФРГ; первые шаги по использованию новой технологии делают фирмы США, Великобритании и Франции» [17].

17–21 апреля 1961 г. в Нью-Йорке состоялась 42-я ежегодная конференция Американского сварочного общества, на которой с отличным докладом выступил Б. Е. Патон. Он подробно остановился на научных основах ЭШС, его энергетических характеристиках, технике сварки, оборудовании и областях применения, в том числе при сварке крупных изделий из конструкционных сталей, легированных сталей, титана, а также электрошлаковой наплавке [18].

На этой же конференции был представлен доклад Ф. Дж. Данхиера из Брюсселя от общества «Аркос соосъете аноним». Он уделил внимание истории ЭШС, подчеркнул, что «пионерное изобретение» было сделано в СССР в 1949 г. и нашло первое промышленное применение в 1950 г. Данхиер также отметил, что «способ был передан Чехословакии. Чехословакия в 1958 г. продала проект в Бельгию, где он получил название «вертоматик». К 1961 г. ЭШС использовали в нескольких восточно-европейских странах, в Японии, в Китае. Данхиер подробно описал технологию и технику изготовления толстостенных конструкций сухого дока в Антверпене, барабанов цементных печей в Бельгии, сосудов высокого давления во Франции и Англии, котлов паровых турбин в Шотландии, мощных гидравлических прессов в Германии и Японии и т. д. К этому времени в Бельгии был также накоплен опыт ремонта изделий с помощью ЭШС (судовых валов и пр.) [19].

В 1956 г. вышла первая в мире монография, посвященная ЭШС, под редакцией Б. Е. Патона [20]. В 1959 г. было выпущено второе, значительно дополненное издание [21], переведенное затем на английский язык. Зарубежные фирмы получили подробную информацию о новом процессе, что значительно облегчило освоение ими ЭШС. В последующие годы была издана новая монография на английском языке [22, 23].

В 1957 г. за создание и внедрение в тяжелое машиностроение ЭШС Г. З. Волошкевичу, Б. Е. Патону, И. Г. Гузенко, И. Д. Давиденко и В. Г. Радченко была присуждена Ленинская премия. В 1958 г. мировая общественность получила возможность познакомиться с ЭШС на всемирной выставке в Брюсселе [25]. Здесь новый вид сварки был удостоен высшей награды – Гран-при; медали и дипломы были выданы ИЭС и ТКЗ. В последующие годы ЭШС демонстрировалась на многих международных, отраслевых и других выставках.

Периодически в СССР издавались сборники трудов и монографии, в которых подводились итоги последних достижений в разработке ЭШС. Эти обобщения становились ценными справочными пособиями для технологов, конструкторов и руководителей предприятий [24, 15, 25, 26]. Так, в работе И. И. Сущука-Слюсаренко были освещены достижения в области развития теоретических основ электрошлакового процесса за 1970-1976 гг., рассмотрено состояние технологии и техники ЭШС и наплавки на конец 1970-х гг.

В 1960-х гг. расширились исследования, направленные на улучшение качества сварных соединений, создание специальных сталей, не требующих применения термообработки после ЭШС (А. М. Макара, И. В. Новиков, А. С. Искра и др.) [25, 26]. Физико-химические особенности коррозионно- и жаростойких, а также жаропрочных сталей обусловили применение широких формирующих ползунов и накладок, фторидных флюсов и т. п. [25].

Благодаря решению этих проблем ЭШС стала одной из ведущих технологий в химическом и энергетическом машиностроении, в ракетостроении. Был разработан также способ ЭШС чугуновых деталей большого сечения. Для обеспечения заданного химического состава легированных чугунов были применены соответствующие сварочные материалы [25].

В конце 1960-х гг. способом ЭШС плавящимся электродом (Д. М. Рабкин, А. Я. Ищенко, А. Г. Синчук и др.) можно было сваривать изделия из алюминия и его сплавов практически неограниченной толщины. В качестве электродного материала использовали сварочные проволоки, пластины и плавящиеся мундштуки, а также специальный флюс АН-А301 [25]. В ИЭС был разработан способ ЭШС пластинчатым электродом сразу несколько стыковых швов кольцевых изделий за один проход. Улучшения механических свойств металла шва достигали путем легирования через электродный металл с малыми добавками титана и бора.

Основная проблема, возникшая при сварке титана, заключалась в необходимости создания флюса, исключающего загрязнение металла шва вредными примесями и имеющего плотность, не превышающую таковую жидкого металла. В институте были созданы такие флюсы (С. М. Гуревич и др.). Высокое качество сварных соединений стало возможным при условии защиты зоны сварки инертным газом. ЭШС – наиболее эффективный способ сварки деталей из титановых сплавов толщиной более 30 мм, нашедший применение при изготовлении конструкций специального назначения, например в химическом машиностроении, где высокая коррозионная стойкость титана делает его незаменимым материалом (С. М. Гуревич, Я. Ю. Компан, В. Ф. Грабин, М. А. Абралов и др.) [25, 26].

В связи с развитием металлургии возникла потребность в изготовлении оборудования из меди толщиной более 40 мм. При этом не удавалось получить качественное соединение дуговыми способами сварки. В ИЭС был создан способ ЭШС меди, особенность которого состояла в использовании большой погонной энергии и легкоплавких флюсов на основе фторидов щелочноземельных элементов (В. М. Илюшенко и др.) [25]. ЭШС меди пластинчатым электродом применяли для изготовления бандажей и кристаллизаторов из медной полосы вместо фрезерования заготовок из медных плит. Здесь же был разработан и способ электрошлаковой наплавки меди и ее сплавов на сталь без проплавления основного металла (Г. З. Волошкевич, И. И. Лычко). Биметаллические соединения получали при различных схемах расположения сварочной ванны и наплавляемых поверхностей, что позволяло наносить слои меди толщиной 1–5 мм как на плоские поверхности, так и на внутренние и наружные тел вращения [23].

Среди многочисленных исследований следует особо отметить изучение физических процессов в шлаковой ванне путем фото- и киносъемки (Д. А. Дудко, Г. З. Волошкевич, И. И. Сущук-Слюсаренко, И. И. Лычко, Й. Кенигсмарк) [25, 26]. Огромный вклад в развитие и внедрение электрошлаковых процессов сделал выдающийся специалист И. И. Лычко. Результаты экспериментов и кинофильм, снятый в институте, вызвали большой интерес участников международного симпозиума, посвященного 100-летию со дня рождения Е. О. Патона [25]. Были выполнены и другие исследования, в том числе разработаны расчетные схемы глубины проплавления кромок, оценена тепловая эффективность процесса (Г. З. Волошкевич, В. А. Винокуров, Л. П. Ерегин и др.) [25, 26], в ртутной ванне смоделированы гидродинамические процессы (Я. Ю. Компан).

В 1960–1970-х гг. исследованиями различных аспектов ЭШС, кроме советских специалистов, работавших в ИЭС, ЦНИИТмаше, МВТУ им. Н. Э. Баумана, ЦНИИТС и других организациях, заводских лабораториях и на кафедрах вузов, занимались ученые Чехословакии, Бельгии, США, ФРГ, ГДР, Японии. В результате были разработаны способы предупреждения горячих и холодных трещин, а также приемы, уменьшающие температуру металлической ванны, способы повышения скорости сварки. Так, было предложено вводить в шлаковую ванну дополнительный присадочный металл (И. И. Ивочкин) [25], применять импульсный

режим питания током (И. И. Сущук-Слюсаренко, И. И. Лычко) [25], использовать порошковую проволоку, ленточный электрод [25], применять узкий зазор между кромками и т. д. (К. А. Ющенко и др.) [25, 26].

С целью соединения сплавов большой толщины в ИЭС были разработаны следующие способы ЭШС: электродными проволоками – для швов большой протяженности; плавящимся мундштуком – для швов большой протяженности в местах с ограниченным оперативным пространством; пластинчатым электродом – для швов малой протяженности [23].

В конце 1950-х гг. электрошлаковый процесс был реализован в ИЭС (Б. Е. Патон, Б. И. Медовар) еще в одной технологии – электрошлаковом переплаве (ЭШП). В свою очередь опыт ЭШП в начале 1970-х гг. был использован при разработке следующих новых сварочных технологий: с подключением расходуемых электродов большого сечения по бифилярной схеме, неподвижными электродами с кусковым присадочным металлом, с жидким стартом. Для ЭШС в качестве источников питания были рекомендованы мощные печные трансформаторы [23].

Существенной проблемой ЭШС стала необходимость применения высокотемпературной термической обработки для соединений стали, имеющих участки металла шва с малой ударной вязкостью, особенно при низких температурах. В 1970–1980-х гг. в ряде стран шел поиск технологических и металлургических приемов регулирования теплового баланса, условий кристаллизации и оптимальных режимов, обеспечивающих требуемые служебные характеристики. Положительных результатов добились за счет использования дозированного противодействия сварочным деформациям, увеличенного вылета электродной проволоки, модулирования подачи электрической энергии, электромагнитного перемешивания сопутствующего охлаждения, периодического прерывания процесса. Эти и другие приемы позволили улучшить качество сварного соединения, повысить производительность процесса, исключить дополнительную термообработку (Д. А. Дудко, В. П. Черныш, В. С. Сидорук, И. И. Лычко и др.) [25, 26]. Так, при ЭШС модулированным током значительно снижается зона перегрева, устраняется транскристаллизация и горячие трещины, реализуется автотермоциклирование, при этом независимо от толщины деталей выполняется многослойный, но однопроходной шов с глубиной провара не более 3–5 мм [25].

Для контроля и управления процессами ЭШС и ЭШН в ИЭС разработана информационно-измерительная система, которая автоматически получает и вводит в прибор информацию о параметрах режима, программирует и регулирует некоторые параметры, выполняет ряд других функций (Б. Е. Патон, Н. В. Подола) [25].

С 1975 г. прекратился экспорт отечественного оборудования. Более того, некоторые предприятия (ПО «Ижорский завод», ПО «Атоммаш», Сумское МНПО им. Фрунзе, ПО «Сибэнергомаш» и др.) начали его закупать за рубежом, поскольку иностранные фирмы («Хоббарт», «Дойма», «ЭСАБ», «Аркос»), воспользовавшись истечением срока действия советских патентов, стали сами выпускать и экспортировать оборудование для ЭШС [16].

Поставки уникального специализированного сварочного оборудования, разработанного по индивидуальным заказам наших крупных машиностроительных предприятий, исчислялись единицами. Опытным заводом ИЭС за период с 1980 по 1990 гг. были изготовлены: один аппарат АШ-101 (72 электрода) для ПО «Атоммаш»; четыре аппарата АШ-106 (36 электродов) для Сумского МНПО им. Фрунзе, ПО «Уралмаш» (г. Екатеринбург), ПО «Ижорский завод» (г. С.-Петербург), КСПО (г. Коломна); один аппарат АШ-110 (72 электрода) с автоматической системой дублирования для НКМЗ (г. Краматорск).

С 1980-х гг. специалисты ИЭС систематически занимались модернизацией серийно выпускаемых Каховским заводом электросварочного оборудования (КЗЭСО) автоматов типа А-535, А-1304 и А820К. Однако резкое сокращение количества потенциальных потребителей нового сварочного оборудования для ЭШС не позволило осуществить кардинальное обновление аппаратуры. Разработанный в 1986 г. новый сварочный комплекс [16], оснащенный современным автоматом АШ-105, не был принят КЗЭСО к серийному производству. Поэтому

после детального анализа создавшегося положения признано наиболее целесообразным проведение поэтапной модернизации сварочного оборудования, в частности аппарата А-535, получившего наиболее широкое применение в бывшем СССР.

В 1980-х гг. ЭШС была применена взамен ручной аргонодуговой сварки в производстве авиационной техники. Так, в АНТК им. Антонова при изготовлении самолета АН-124 «Руслан» способом ЭШС соединяли узлы шасси из титанового сплава ВТ-22, что обеспечило требуемые механические свойства, форму и размер соединений [25].

В 1994 г. в ИЭС была разработана технология ЭШС, обеспечивающая раздельное и одновременное управление скоростью и характером плавления электродов, перераспределение электрической энергии, вводимой в зону сварки и управление кристаллизацией металла шва (О. П. Бондаренко и др.). Новая технология применения к основным способам ЭШС (электродной проволокой, плавящимся мундштуком, электродом большого сечения) с использованием обычных сварочных материалов, серийного сварочного оборудования и специализированной технологической оснастки. Ее опробовали на ряде заводов (ПО «Укрцемремонт», г. Здолбунов, АО «Сибэнергомаш», г. Барнаул). Эта технология ЭШС, исключая высокотемпературную термообработку толстолистовых сталей, пригодна также для нужд реакторостроения, котельного и конверторного производства, гидротехнического строительства, криогенной техники, цементного машиностроения. Она применяется и для управления структурой металла швов при ЭШС меди, титановых сплавов [25, 26].

В ИЭС продолжают исследования электрошлаковых процессов. В конце 1990-х гг. выполнен комплекс работ по управлению качеством металла шва при ЭШС сплавов титана с помощью магнитных полей (Я. Ю. Компан) [25], вибро-импульсного воздействия на кристаллизующийся металл (Д. А. Дудко и др.) [25, 26] и т. д.

Подтверждением эффективности ЭШС и перспективности ее использования является обращение к ИЭС и ПАО «НКМЗ» передовых западных фирм, занимающихся производством и реконструкцией мощного прокатного и металлургического оборудования, по поводу изготовления и поставки оборудования для ЭШС больших толщин, а также приобретения «ноу-хау» на технологию сварки [25].

В последние годы продолжает совершенствоваться ЭШН. На практике наиболее эффективным способом является ЭШН одной и двумя электродными лентами. Технологические особенности этого способа запатентованы фирмами США, Германии, Австрии; процесс совершенствуется в ИЭС, в Китае, в США, в других странах. К 1996 г. в Германии наплавку лентой осуществляли несколько фирм.

Электрошлаковый процесс лежит в основе еще одного способа – наплавки жидким присадочным металлом (Б. И. Медовар, Л. Б. Медовар, А. В. Чернец и др.) [25, 26]. Эта технология способствует решению проблемы производства нового поколения прокатных композиционных валков с рабочим слоем из быстрорежущих сталей.

Следует отметить, что процесс, лежащий в основе ЭШС, дал начало гамме технологий, известных сейчас под названием «электрошлаковая технология». Он включает около двух десятков способов. Кроме сварки, наплавки и переплава в производстве металлов, заготовок и конструкций, применяют электрошлаковые способы литья, подпитки, обогрева и уплотнения, разливку и порционную отливку и др. [27–32].

ВЫВОДЫ

Доказано, что возникновение ЭШС было обусловлено потребностью автоматизировать процесс сварки под флюсом вертикальных швов. Доказан приоритет Украины в изобретении способа ЭШС и его дальнейшего развития на постсоветском пространстве и в дальнем зарубежье. Доказан приоритет Украины в создании данного способа сварки и наплавки, послужившего основой для начала развития гаммы новых электрошлаковых технологий – литья, подпитки, обогрева и уплотнения, разливки и порционной отливки и др. технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенардос Н. Н. Научно-технические изобретения и проекты / Н. Н. Бенардос. – Киев : наук. думка, 1982. – 239 с.
2. Волошкевич Г. З. Метод принудительного формирования и его применение / Г. З. Волошкевич // Автоматическая сварка. – 1951. – № 1. – С. 3–19.
3. Волошкевич Г. З. Автоматическая сварка кожуха доменной печи / Г. З. Волошкевич // Автоматическая сварка. – 1951. – № 1. – С. 37–51.
4. Дудко Д. А. Электрошлаковая сварка штанг для гидросооружений / Д. А. Дудко, В. Ф. Грабин, И. Б. Млинов // Автоматическая сварка. – 1951. – № 1. – С. 115–119.
5. Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей / Б. И. Медовар. – Киев : Изд-во АН УССР, 1954. – 152 с.
6. Макара А. М. Исследование влияния режима ЭШС на проплавление кромок и ширину околошовной зоны в связи с задачей сварки легированных сталей / А. М. Макара, Ю. Н. Готальский, В. Ф. Грибин // Автоматическая сварка. – 1955. – № 2. – С. 11–25.
7. Макара А. М. Околошовные трещины и механические свойства сварных соединений при ЭШС среднелегированных сталей / А. М. Макара, В. Ф. Грабин, И. В. Новиков // Автоматическая сварка. – 1956. – № 4. – С. 1–21.
8. Розенберг О. О. Электрошлаковая сварка станин ковочно-штамповочных прессов / О. О. Розенберг, В. В. Черных // Автоматическая сварка. – 1956. – № 4. – С. 124–129.
9. Гузенко И. Г. Внедрение электрошлаковой сварки на Новокраматорском машиностроительном заводе / И. Г. Гузенко, В. В. Черных // Сварочное производство. – 1957. – № 2. – С. 15–18.
10. Сафонников А. Н. Сварка металлов пластинчатыми электродами / А. Н. Сафонников. – Киев : Техніка, 1966. – 95 с.
11. А. с. 105103 СССР, МПК 21В 29/13. Способ электрошлаковой сварки / Г. З. Волошкевич, Д. А. Дудко Л. П. Ерегин и др. – Опубл. 05.01.57, Бюл. № 1.
12. Волошкевич Г. З. О точности размеров изделий, получаемых с помощью электрошлаковой сварки / Г. З. Волошкевич // Автоматическая сварка. – 1960. – № 2. – С. 34–43.
13. Патон Б. Е. Автоматическое регулирование электрошлаковой сварки / Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. – 1955. – № 3. – С. 39–50.
14. Патон Б. Е. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки / Б. Е. Патон, В. К. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1966. – 359 с.
15. Бельфор М. Г. Основное оборудование и технологическая оснастка для электрошлаковой сварки / М. Г. Бельфор, И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко. – Киев : Наук. думка, 1977. – 256 с.
16. Суцук-Слюсаренко И. И. Технология и оборудование для электрошлаковой сварки / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко. – Киев : ИЭС, 1990. – 19 с.
17. Paton B. E. Elektro-slag welding is the most progressive and most efficient method of joining thick metals / B. E. Paton // Rev.soudure. – 1960. – № 2. – P. 153–163.
18. Paton B. E. Elektro-slag welding of very thick material / B. E. Paton // J. Welding – 1962. – № 12. – P. 1115–1123.
19. Danhier F.G. Elektro-slag welding. Western European Techniques / F. G. Danhier // Ibid. – 1962. – № 1. – P. 17–23.
20. Электрошлаковая сварка / под ред. Б. Е. Патона. – Киев ; М. : Машиз, 1956. – 168 с.
21. Электрошлаковая сварка / под ред. Б. Е. Патона. – 2 изд., испр. и доп. – Киев ; М. : Машиз, 1959. – 410 с.
22. Elektro-slag welding and surfacing / Ed. B. E. Paton. – Moscow : Mir, 1983. – Vol. 1. – 256 p., Vol. 2. – 264 p.
23. Электрошлаковая сварка и наплавка / под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1980. – 511 с.
24. Суцук-Слюсаренко И. И. Основные и сварочные материалы для электрошлаковой сварки / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Семенов. – Киев : Наук. думка, 1981. – 112 с.
25. Корниенко А. Н. История создания и развития электрошлаковой сварки / А. Н. Корниенко, Н. А. Макаренко // Автоматическая сварка. – 1999. – С. 81–89.
26. Лычко И. И. Электрошлаковая сварка толстолистовой меди / И. И. Лычко, В. М. Илюшенко, А. П. Алексеенко // Автоматическая сварка. – 1967. – № 10. – С. 80.
27. Медовар Б. И. Исследование качества электрошлаковых сварных заготовок ротора диаметром 1500 мм из стали 25ХНЗМФА электрошлаковой выплавки / Б. И. Медовар, В. П. Андреев, Е. А. Рыжкова // Вопросы спец. электрометаллургии. – 1973. – С. 101–106.
28. Дудко Д. А. Электрошлаковая сварка / Д. А. Дудко, И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко // Сварка в СССР. – М. : Наука, 1981. – Т. 1. – С. 292–309.
29. Суцук-Слюсаренко И. И. Техника выполнения электрошлаковой сварки / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко. – Киев : Наук. думка, 1974. – 95 с.
30. Суцук-Слюсаренко И. И. Электрошлаковая сварка с увеличенным вылетом электрода // Ф. Г. Брыженко, Н. Н. Шабалин // Автоматическая сварка. – 1975. – № 5. – С. 71–72.
31. Медовар Б. И. Электрошлаковая наплавка жидких присадочных металлов / Б. И. Медовар, А. В. Чернец, Л. Б. Медовар // Проблемы спец. электрометаллургии. – 1995. – № 1. – С. 6–11.
32. Корниенко А. Н. История сварки / А. Н. Корниенко. – Киев : Изд-во Феникс, 2004. – 212 с.