



УДК 669.187.56.001.1

ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ*

Б. И. Медовар, Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко

Рассмотрены современное состояние и перспективы развития электрошлаковых технологий в XXI веке. Показано, что будущее за всеми разновидностями электрошлаковых технологий, которые используют жидкий присадочный металл.

The state-of-the-art and prospects of development of electroslag technologies in the XXIst century are considered. It is shown that the future will belong to all the varieties of electroslag technologies which use the liquid filler metal.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; электрошлаковое литье; электрошлаковая сварка; электрошлаковый процесс с жидким металлом

Одному из ведущих и перспективных технологических процессов в области специальной электрометаллургии — электрошлаковому переплаву (ЭШП), разработанному в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины [1], в 1998 г. исполнилось 40 лет.

Рождению ЭШП предшествовали работы, проведенные в конце 1940-х — начале 1950-х годов учеными Института электросварки Б. Е. Патонем и Г. З. Волошкевичем в Киеве и Запорожье, в результате которых был открыт электрошлаковый процесс. Он основан на использовании тепла, выделяемого при сварке в жидком флюсе (шлаковой ванне) при прохождении через него электрического тока, для плавления электродного металла в виде сварочной проволоки, а также для оплавления подлежащих сварке кромок деталей изделия. В итоге впервые было описано новое физическое явление — электрошлаковый процесс, который впоследствии сыграл поистине революционную роль в машиностроительном и металлургическом производстве, хотя тогда ни сами первооткрыватели, ни участники открытия, ни исследователи нового процесса не могли знать, какая судьба уготована их детищу.

Главная особенность нового технологического процесса — возможность однопроходной электрошлаковой сварки (ЭШС) без разделки

кромок металла практически неограниченной толщины. Уже первые обнадеживающие результаты привлекли к ЭШС внимание специалистов-машиностроителей. Многие заводы тяжелого, энергетического, химического и транспортного машиностроения как в бывшем СССР, так и за его рубежами взяли на вооружение этот эффективный и высокопроизводительный способ сварки, благодаря чему были созданы уникальные лито-сварные и ковано-сварные изделия (статоры и роторы гидротурбин, сверхкрупные заготовки станин рабочих клеток прокатных станков и мощных прессов и др.), которые практически невозможно было изготовить без применения ЭШС.

Важнейшим событием, определившим дальнейшее развитие электрошлакового процесса в металлургическом производстве и рождение электрошлакового переплава, явилась выплавка в 1952 г. в Институте электросварки Б. Е. Патонем и Б. И. Медоваром первого в мире небольшого электрошлакового слитка с уникальными свойствами из аустенитной стали. Последовавшие затем экспериментальные исследования и обобщения [2, 3] позволили правильно определить главное направление реализации в промышленности этой принципиально новой и эффективной технологии, основанной на электрошлаковом процессе. В результате в июле 1958 г. в цехе № 6 завода «Днепроспецсталь» в Запорожье была введена в промышленную эксплуатацию первая в мире печь ЭШП, что знаменовало собой

* Данная статья является изложением доклада на английском языке «Electroslag technologies in the XXI st century», представленного авторами на Международной конференции «Asia Steel 2000».



рождение новой металлургической отрасли — специальной электрометаллургии, в основе которой лежал ЭШП.

Главное преимущество ЭШП по сравнению с вакуумно-дуговым (ВДП), вакуумно-индукционным (ВИП), плазменно-дуговым (ПДП), электронно-лучевым (ЭЛП) переплавами и другими переплавными процессами — это простота и надежность оборудования для его реализации, высокая универсальность и эффективность технологии, что способствовало его широкому и быстрому распространению.

В процессе ЭШП в результате рафинирования активным шлаковым расплавом переплавляемый металл очищается от вредных примесей, газов, неметаллических включений, а последовательная снизу вверх кристаллизация слитка обуславливает формирование плотного литого металла с высокой химической и структурной однородностью. Электрошлаковому переплаву подвергают инструментальные, конструкционные, низко- и среднелегированные, высокопрочные стали, высоколегированные нержавеющие и жаростойкие стали, сплавы на железной, никелевой, никель-кобальтовой основе, медь и ее сплавы, электротехнические стали и сплавы, высокореакционные металлы и сплавы на основе интерметаллидов [4 – 6].

Дальнейшим развитием электрошлакового процесса в специальной электрометаллургии явилось создание электрошлакового литья (ЭШЛ), что в ряде случаев позволило отказаться отковки литого металла и объединить в сварной заготовке оптимальную форму, присущую отливке, и высокое качество поковки. При этом необходимое качество металла электрошлаковой отливки, отсутствие присущих обычному литью дефектов, высокий уровень физико-механических свойств, высокая степень чистоты литого металла по вредным примесям, газам и неметаллическим включениям сочетаются с чрезвычайно высоким выходом годного, достигающим 85...95 %, и отсутствием брака в заготовительном производстве [7, 8].

Следует отметить, что основное назначение ЭШЛ и его разновидностей (центробежного электрошлакового литья — ЦЭШЛ и электрошлакового кокильного литья — ЭКЛ) состоит не в замене таких традиционных технологических процессов, как литье иковка [9]. ЭШЛ следует рассматривать как один из высокоэффективных и металлосберегающих методов заготовительного производства, позво-



Рис. 1. Корпус сосуда высокого давления с выплавленными на его поверхности методом ЭШВ патрубками диаметром 160 мм

ляющих расширить выпуск заготовок и другой продукции, не требующих значительной механической обработки [10].

В тяжелом машиностроении ЭШЛ применяется при изготовлении заготовок штампов горячей и холодной штамповки, цапф и подцапфовых плит к крупным сталеразливочным ковшам, валков горячей и холодной прокатки, бандажей валков и цементных печей, коленчатых валов, металлургического инструмента, например калибров к станам холодной прокатки труб, а также при изготовлении литосварных баллонов высокого давления, в частности при электрошлаковой выплавке (ЭШВ) патрубков непосредственно на корпусах сосудов. При ЭШВ обеспечивается плавный переход от патрубка к поверхности сосуда, поверхность литых ЭШВ патрубков получается гладкой и чистой, не требующей дополнительной механической обработки (рис. 1).

Заметим, что созданные в одном институте оба технологических процесса ЭШС и ЭШП, основанные на одном и том же физическом явлении — электрошлаковом процессе, на протяжении многих десятилетий одновременно развивались, взаимно обогащая друг друга: электрошлаковая бифилярная сварка (ЭШСб) крупных поковок и отливок, применение галоидных и бескислородных флюсов для переплава и для сварки, использование токоподводящего кристаллизатора для наплавки и переплава.

Благодаря созданному в ИЭС им. Е. О. Патона методу дугошлакового переплава (ДШП), удачно объединяющему ряд преимуществ ЭШП, ПДП и ВДП, открываются новые

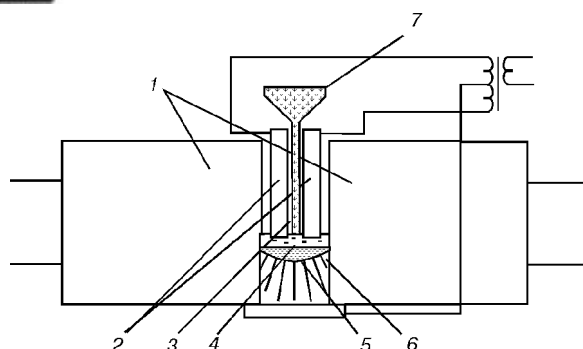


Рис. 2. Схема электрошлаковой бифилярной сварки двумя неподвижными электродами с подачей в сварочный зазор с помощью дозатора кусковых присадочных материалов: 1 — свариваемые заготовки; 2 — неподвижные расходные электроды; 3 — кусковой присадочный материал; 4 — шлаковая ванна; 5 — металлическая ванна; 6 — сварочный шов; 7 — бункер для подачи кускового присадочного материала

возможности для производства высокоазотистых сталей и сплавов [10].

Важным этапом в развитии отечественного сварочного производства является создание на основе ЭШП принципиально нового способа — ЭШС заготовок сверхбольших толщин по бифилярной схеме, сущность которого состоит в том, что в зазоре между свариваемыми заготовками выполняется не узкий шов, как это имеет место при известном способе ЭШС, а выплавляется практически электрошлаковый слиток. В результате сварной шов из простого соединительного элемента превращается в составную часть сварной заготовки.

В промышленных условиях реализовано несколько разновидностей способа ЭШСб. Наиболее простая и эффективная технология — электрошлаковая сварка с двумя неподвижными электродами с подачей в сварочный зазор кусковых присадочных материалов (КПМ) в виде дробы или сечки из проволоки диаметром 3...6 мм (сталь марки 50ХН) (рис. 2), получившая сокращенное название ЭШС КПМ [11]. Впервые она была освоена на заводе «Ждановтяжмаш» (г. Мариуполь) при изготовлении ковано-сварных заготовок рабочих валков из стали 50ХН для толстолистового стана горячей прокатки ЛП-4500 [8]. Диаметр и длина бочки валка равны соответственно 1250 и 4500 мм, общая длина валка 6890 мм. Масса заготовки валка после сварки составляла 103 т (рис. 3).

При реализации ЭШС КПМ не требуется сложных установок для подачи расходных электродов. Металл швов отличается полностью дезориентированной измельченной структурой. Сварное соединение имеет минимальную зону термического влияния и, следовательно, высокую стойкость против

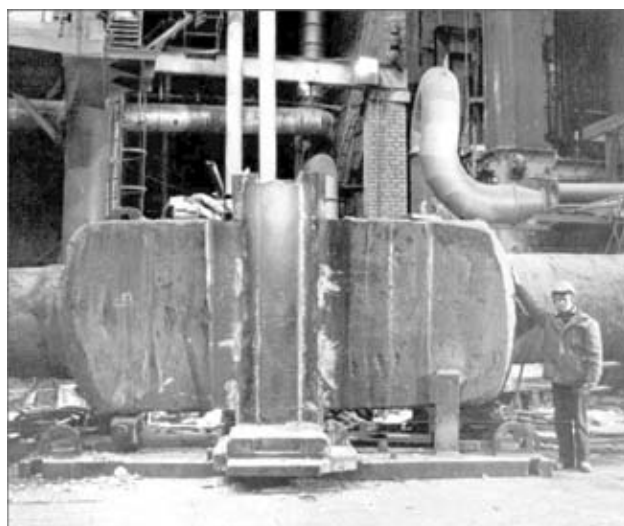


Рис. 3. Ковано-сварная заготовка рабочего валка из стали 50ХН массой 103 т для стана ЛП-4500 после сварки способом ЭШС КПМ

кристаллизационных трещин. Способ ЭШС КПМ обеспечивает получение высококачественных сварных соединений с однородными физико-химическими свойствами из сталей практически любого химического состава.

Используемые в специальной электрометаллургии оборудование и технологии, основанные на электрошлаковом процессе, имеют хорошие перспективы для дальнейшего развития в металлургическом и машиностроительном производствах в XXI веке.

Сегодня в мире доля развитых стран, применяющих в специальной металлургии печи ЭШП, очень высока. Об этом свидетельствует тот факт, что, например, в США, Великобритании, Германии, Франции и других странах ЭШП как обязательный технологический процесс предусматривается в ряде производств жаропрочных сплавов для авиационной и космической техники.

Как правило, электрошлаковому переплаву подвергаются расходные электроды, изготавливаемые в вакуумно-индукционных печах, работающих на первоклассной чистой шихте. Слитки ЭШП при необходимости могут быть далее переплавлены в вакуумно-дуговых печах. Такая трехэтапная технология принята, например, на фирме «Инко-алой интерн. корп.» — одной из крупнейших в мире производителей сплавов на никелевой и кобальтовой основе. Для этого на фирме построено 14 печей ЭШП, полностью загруженных производством слитков и «кормящих» своей продукцией печи ВДП.

Довольно интересный агрегат ЭШП, сочетающий электрошлаковую плавку со спрей-процессом, создан в США фирмой «Дженерал электрик».

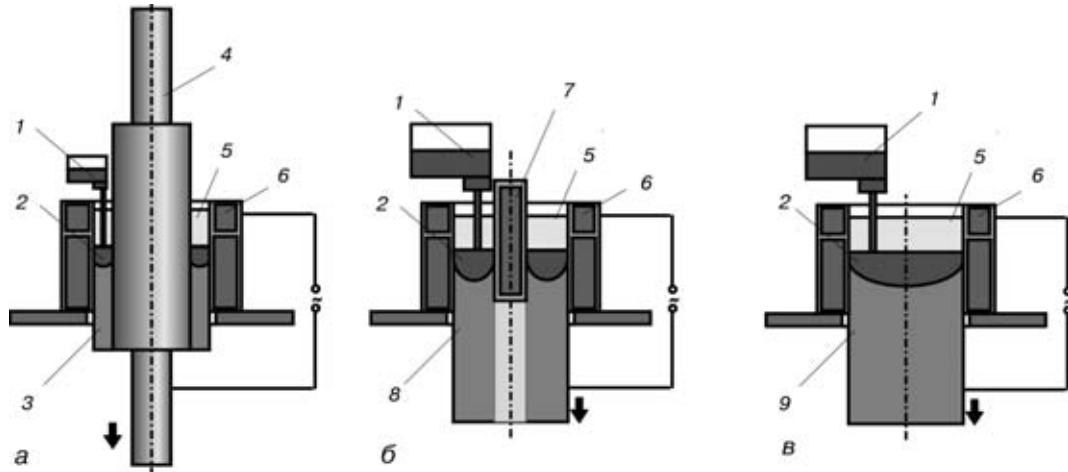


Рис. 4. Схемы реализации процесса ЭШП с жидким присадочным металлом: при наплавке прокатных валков (а); выплавке полых слитков (б) и электрошлаковым непрерывном процессе получения слитков сплошного сечения (в): 1 — устройство для заливки исходного (присадочного) жидкого металла; 2 — металлическая ванна; 3 — наплавленный слой; 4 — прокатный валок; 5 — шлаковая ванна; 6 — токоподводящий водоохлаждаемый кристаллизатор; 7 — дорн для формирования внутренней полости слитка; 8 — полый слиток; 9 — слиток сплошного сечения

Достижения в области ЭШП впечатляют особенно в Германии. По различным причинам в бывшей ГДР, как известно, не было печей ЭШП, что отличало ее от других стран бывшего Варшавского договора. Восточные немцы увлекались электронно-лучевой плавкой. Однако как только ГДР и ФРГ объединились, в так называемых восточных землях (г. Грёдиц и Липпендорф) были построены мощные (до 85 т) печи ЭШП.

Известно, что печи и цеха ЭШП работали в СФРЮ, Болгарии, Румынии, Польше, Венгрии.

Не может не радовать, да и не вызывать хорошую зависть, положение дел с развитием ЭШП в КНР. В прошлом году в мае месяце авторы этого доклада посетили новый современный цех ЭШЛ в Тяньцзине и воочию ознакомились с выпускаемой здесь продукцией, в частности производством уникальных коленвалов длиной до 3 м для дизелей, изготавливаемых по схеме ЭШЛ с приплавлением.

На полную загрузку работает на ПО «БелАЗ» в Республике Беларусь промышленное производство крупномодульных цементированных зубчатых колес из литых заготовок, получаемых методом ЦЭШЛ на этом же объединении, для планетарных редукторов мотор-колес карьерных самосвалов большой грузоподъемности (до 180 т). Использование для зубчатых шестерен вместо поковок литого электрошлакового металла, отличающегося высокой химической и структурной однородностью, увеличивает предел усталости зубьев по изгибу на 30 %, долговечности по контактной усталости не менее чем в 2 раза, при этом одновременно повышается (в 3 раза) коэффициент использования материала в процессе их изготовления.

Надо сказать, что сегодня значение ЭШП в промышленном производстве сильно отличается от того, что было еще 10 – 15 лет тому назад. Все меньшее место занимает ЭШП как рафинирующий переплав, как средство получения, например, особонизкосернистой стали или стали, чистой по неметаллическим включениям.

Металлурги научились получать особо чистый жидкий металл в требуемых количествах и достаточно дешево. Но металлурги, даже имея чистый жидкий металл, все еще не научились получать из него плотный, химически и физически гомогенный твердый металл. Здесь, как нигде, особенно эффективен ЭШП. Ни один из известных процессов разливки чистого жидкого металла не может сравниться с ЭШП по этим важным показателям. Поэтому современные цеха ЭШП все чаще и чаще оснащают агрегатами, способными давать исходный жидкий металл наивысшей степени чистоты, например установкам ВИП. Независимо от того, будет или не будет

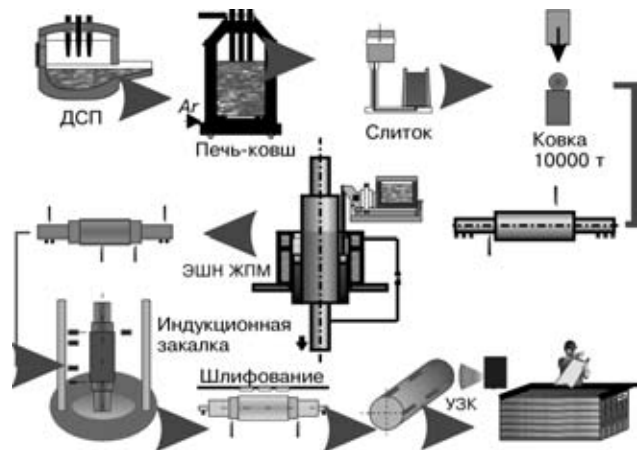


Рис. 5. Схема технологического процесса производства валков на АО «НКМЗ» методом ЭШН ЖПМ

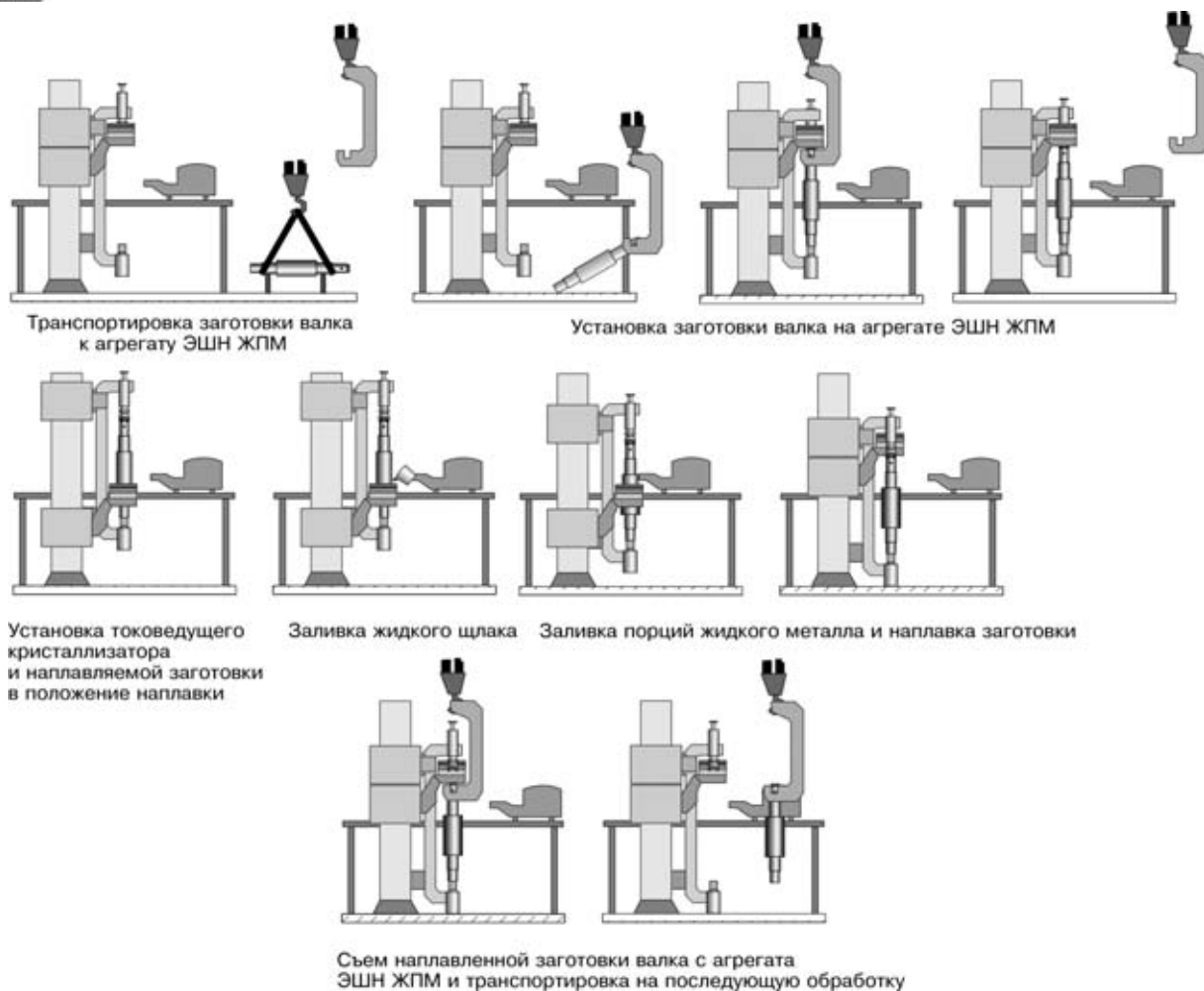


Рис. 6. Схема работы агрегата ЭШН ЖПМ

из металла ВИП изготовлен расходный электрод, ЭШП сыграет свою роль как процесс управления затвердеванием (кристаллизацией) чистого жидкого металла.

Так или иначе, ЭШП имеет несомненно хорошие перспективы развития в обозримом будущем. Но теперь нельзя не сказать о том, что сдерживает его развитие. Это, прежде всего, высокая стоимость процесса, обусловленная дороговизной расходных электродов. Каким бы ни был способ их производ-

ства — прокат, ковка, прессование, непрерывное литье или литье в изложницу, — расходный электрод остается дорогим и это отражается на экономических показателях ЭШП. Во вторых, высокая энергоемкость переплава расходных электродов. Решение этой важнейшей проблемы — в отказе от расходных электродов и переходе на жидкий присадочный металл.

Идея жидкого присадочного металла давно витает в воздухе. Да и не только витает, но



Рис. 7. Внешний вид агрегата ЭШН ЖПМ



Рис. 8. Внешний вид композитной заготовки ЭШН ЖПМ валка прокатного стана с рабочим слоем из быстрорежущей стали



развивается и реализуется [12 – 22]. Основные изобретения в этой области еще треть века тому назад были запатентованы Институтом электросварки им. Е. О. Патона во всех передовых в техническом отношении странах. Но лишь сегодня появилось оригинальное оборудование и созданы принципиально новые технологические процессы ЭШП, позволяющие с уверенностью заявить — будущее за электрошлаковым переплавом с жидким присадочным металлом (ЭШП ЖПМ), не требующим применения твердых расходуемых электродов (рис. 4).

Лучшим подтверждением сказанному является создание в 1998 г. на НКМЗ в г. Краматорске (Украина) совместно с «Элмет-Рол — группа Медовара» первого в мире промышленного комплекса для производства методом ЭШН ЖПМ композиционных заготовок прокатных валков диаметром до 1000 мм, длиной наплавляемой бочки до 2500 мм и массой до 20 т и изготовление первой партии валков, наплавленных по новой технологии [23].

Схема технологического процесса изготовления валков на НКМЗ с применением ЭШН ЖПМ показана на рис. 5. Схема работы и внешний вид созданного специалистами НКМЗ и «Элмет-Рол — группа Медовара» агрегата для ЭШН ЖПМ, а также внешний вид наплавленных валков горячей прокатки диаметром 740 мм с рабочим слоем из быстрорежущей стали представлены на рис. 6 – 8.

Проведенные исследования наплавленных валков первой партии, а также промышленное опробование их на прокатных станах Украины подтвердили эффективность применения метода ЭШН ЖПМ в производстве композиционных валков.

В заключение мы с полной уверенностью можем утверждать, что сегодня возможности электрошлакового процесса еще далеко не исчерпаны, поэтому технологии и оборудование, базирующиеся на этом выдающемся физическом явлении, и в будущем будут иметь важное значение и перспективы дальнейшего развития.

В XXI веке будущее за всеми разновидностями электрошлаковых технологий, которые используют жидкий присадочный металл, т. е. за ЭШТ ЖПМ!

1. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Электрошлаковому переплаву 40 лет // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1998. — № 1. — С. 4 – 8.

2. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Новый способ электрической отливки слитков // Бюл. техн. информ. — 1956. — Вып. 1. — С. 3 – 9.
3. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Латаш Ю. В. Электрошлаковый переплав сталей и сплавов в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе // Автомат. сварка. — 1958. — № 11. — С. 5 – 15.
4. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных и аустенитных сталей и сплавов. — М.: Машиностроение, 1966. — 430 с.
5. Электрошлаковые печи / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1976. — 414 с.
6. Электрошлаковый металл / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.
7. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье. — Киев: Наук. думка, 1980. — 192 с.
8. Электрошлаковая технология в машиностроении / Б. И. Медовар, В. Я. Саенко, И. Д. Нагаевский, А. Д. Чепурной. — Киев: Техніка, 1984. — 215 с.
9. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1988. — 216 с.
10. Arc-slag remelting of steel and alloys / В. I. Medovar, V. Ja. Saenko, G. M. Grigorenko et al. — Cambridge International Science Publishing. CB1 6AZ, England, 1996. — 160 p.
11. Новые способы сварки заготовок сверхкрупных сечений — электрошлаковая сварка неподвижными электродами с добавкой кусковых материалов (ЭШС КПМ) / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. П. Андреев и др. // Проблемы электрошлаковой технологии. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 41 – 47.
12. Electroslag cladding by liquid filler metal / В. I. Medovar, A. V. Chernets, L. B. Medovar et al // 4th European Conference on Advanced Materials and Processes. «EUROMAT 95», Symposium F-materials and Processing Control, Padua, Venice, Italy, September 25 – 28, 1995. — P. 165.
13. Electroslag processes without consumable electrodes / В. I. Medovar, L. B. Medovar, A. K. Tsykulenko et al // International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting. Santa Fe, New Mexico, USA, February 16 – 19, 1997.
14. Electroslag semi-continuous casting — a new way of clean high-speed steel manufacturing / В. I. Medovar, L. B. Medovar, V. Ja. Saenko, A. V. Chernets // Clean steel: 5-nd Inter. Conf. Balatonfured, Hungary, 2 – 4 June, 1997. — Vol. 2. — P. 188 – 195.
15. Wolf M. M. Clean, cleaner, cleanest // 5th Steel Conference in Hungary. Steel Times International, July 1997. — P. 34 – 36.
16. Electroslag technology for TiAl ingots / В. I. Medovar, L. B. Medovar, B. B. Fedorovskii et al // Proc. XI TC'98, Xi'an, China, Sept. 15 – 18, 1998. — P. 123.
17. Medovar L. B., Benz M. G. Electro-conductive crucible for ESR refining of titanium alloys with independent control of slag temperature, slag rotational velocity and electrode melt rate // Ibid. — P. 124.
18. Медовар Б. И. Электрошлаковая технология на пороге XXI века // Современное материаловедение XXI век. — Киев: Наук. думка, 1999. — 656 с.
19. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Медовар Л. Б. 40 лет ЭШП: есть ли перспективы // Сталь. — 1998. — № 11. — С. 24 – 27.
20. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Медовар Л. Б. Возможности ЭШП: каким ему быть в ближайшее десятилетие // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1996. — № 3. — С. 9 – 10.
21. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Медовар Л. Б. Возможности ЭШП в производстве интерметаллидов (ЭШП: каким ему быть в ближайшее десятилетие. Сообщ. 2) // Там же. — 1998. — № 1. — С. 9 – 11.
22. Медовар Б. И., Медовар Л. Б., Саенко В. Я. Развитие электрошлакового процесса в специальной электрометаллургии // Автомат. сварка. — 1999. — № 9. — С. 7 – 12.
23. Создание комплекса ЭШН жидким присадочным металлом рабочих валков горячей прокатки для непрерывных широкополосных станков / Шабанов В. Б., Свиридов О. В., Белобров Ю. Н. и др. // Там же. — 1999. — № 9. — С. 51–54.

ЗАО «Элмет-Рол — группа Медовара», Киев
Поступила 15.01.2001