

ВКЛАД Б. И. МЕДОВАРА В СОЗДАНИЕ НА ОАО «АЗОВМАШ» УНИКАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭШТ

А. Д. Чепурной*

ООО УК «РейлТрансХолдинг».

115432, г. Москва, пр-т Андропова, 18. E-mail: chepurnoy@ukrth.com

Приведены результаты значимых поисковых научно-исследовательских и экспериментально-промышленных работ в области сварки, металлургии и машиностроения, выполнявшихся в период 1960–2000 гг. на Ждановском заводе тяжелого машиностроения под руководством и при непосредственном участии академика АН УССР Бориса Израилевича Медовара, позволивших создать уникальные изделия для машиностроения, многие из которых были освоены впервые в отечественной и мировой практике. Библиогр. 45.

Ключевые слова: сварка; сварочные технологии; специальная электрометаллургия; ковка; прокатка; сварочные материалы; технологические процессы; исследования металлургического качества металла; контроль; испытания

Ждановский завод тяжелого машиностроения (ЖЗТМ) (впоследствии ПО «Ждановтяжмаш» и далее концерн «Азовмаш»), выделившийся 1 мая 1959 г. из состава металлургического комбината им. Ильича в виде нескольких разрозненных мелких цехов, которому руководством страны была поставлена задача по созданию производства цистерн для перевозки компонентов ракетного топлива, спустя время превратился в мощный машиностроительный гигант, став флагманом машиностроения СССР и одним из крупнейших машиностроительных концернов Европы, продукция которого поставлялась более чем в сорок стран мира.

В период своего расцвета «Азовмаш» вышел на уровень таких машиностроительных гигантов как «Уралмаш», Ново-Краматорский машиностроительный завод, а по некоторым параметрам значительно превосходил своих конкурентов. Численность работающих составляла около 38 тыс. человек с территорией промплощадки 320 га —

машиностроительная отрасль и 80 га — металлургическое производство.

Это стало возможным благодаря созданию целого ряда уникальных изделий машиностроения, а также применения для их производства передовых технологий и оборудования. Завод работал более чем с сорока НИИ и КБ страны. Наиболее эффективной была совместная работа завода с Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР (ИЭС).

Работами от института в то время руководил лично академик Б. Е. Патон, а ответственным за организацию и исполнение намеченных программ и мероприятий был академик АН УССР Борис Израилевич Медовар.

В связи с невозможностью описать весь комплекс работ, выполняемых за упомянутый период, остановимся только на некоторых значимых разработках, выполнявшихся под руководством Б. И. Медовара его учениками, которые решали наиболее важные народно-хозяйственные задачи**.

*1982–1986 гг. — руководитель отдела спецэлектрометаллургии ПО «Ждановтяжмаш», 1986–2010 гг. — директор головного специализированного конструкторско-технологического института ПО «Ждановтяжмаш», 2000–2010 гг. — главный инженер ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь.

**В работах принимали участие: В. Я. Саенко, Г. А. Бойко, В. П. Андреев, А. Г. Богаченко, А. К. Цыкуленко, Л. Б. Медовар, И. И. Кумыш, Н. Т. Шевченко, Б. Б., Федоровский, А. В. Бешенцев, В. Л. Шевцов, В. Н. Пахуридзе, В. И. Ус, Г. Б. Щупак, В. А. Тихонов, Ю. П. Штанько, В. В. Ивон, Г. А. Тринеев, М. Ф. Зевакин, И. А. Ланцман, В. В. Черных, И. В. Боровушкин, Е. А. Казачков, Ю. И. Кирышкин, В. Ф. Карпов, А. Ф. Довженко, В. А. Александров, И. Д. Нагаевский, П. С. Нефедов, В. И. Алексеенко, А. В. Литвиненко, В. А. Ипатов, В. М. Самохвалов, В. В. Семиколонов, В. И. Нагаевский, Е. А. Казачков, Н. И. Шанин, Н. Н. Шанин, А. А. Агеева, В. Н. Зарубин, Д. И. Колегаев, В. Б. Ярославская, А. Н. Кузенина, Н. Ф. Дядюченко, И. Г. Пешерин, Н. Н. Манойло, К. А. Берман, А. В. Зареченский, А. А. Колечко, И. А. Мостовой, В. А. Шкода, П. С. Заболоцкий, Г. А. Чикаленко, А. Б. Гоголь.

В 1965–1970 гг. необходимо было в короткие сроки существенно увеличить объемы производства на предприятиях химической промышленности. Для реализации такой цели нужен был комплекс высокоэффективного специализированного оборудования, одним из важнейших в составе которого были реакторы для переработки нефтепродуктов (гидроочистки и риформинга).

Толстостенные биметаллические реакторы — это сосуды высокого давления, работающие в сложных условиях совместного воздействия таких факторов, как высокие температуры (перепады) и давление, агрессивная среда и др. Например, реакторы, предназначенные для проведения реакции риформинга нефтепродуктов в среде водородсодержащего газа в слое катализатора, работают при давлении 2,3...4,9 МПа и температуре 480...540 °С. При регенерации эти параметры равны соответственно 1,0...2,0 МПа и 500...540 °С. В реакторах гидроочистки дизельного топлива кроме высоких давлений и температур имеет место взаимодействие материала корпуса сосуда с водородом, что может привести к охрупчиванию металла. Поэтому для изготовления сосудов высокого давления целесообразно применять биметалл, который отличается прочностью, способностью противостоять высоким давлениям, температурам и одновременно имеет высокую коррозионную стойкость.

Для изготовления реакторов используется биметалл с коррозионно-стойким слоем из аустенитной высоколегированной стали (08X18H10T) и основным — из теплоустойчивой стали (12XM, 20X2M). Применение плакирующего слоя из аустенитной стали кроме коррозионной стойкости обеспечивает защиту основного слоя от насыщения водородом в процессе эксплуатации реакторов.

Конструктивно реакторы выполняют в виде вертикальных цилиндрических штамповарных аппаратов с полушаровыми или эллиптическими днищами. Биметаллические штамповарные корпуса устанавливают на конические опоры, прикрепленные анкерными болтами к бетонным постаментам. Наружный диаметр реакторов может достигать 4000 мм, высота — 16 м, масса — 150 т, толщина стенки — 150 мм и более.

Основной проблемой при изготовлении этих аппаратов является создание качественного биметалла, отвечающего высоким требованиям эксплуатации. Для обеспечения определенных свойств в каждом конкретном случае необходимо применять биметалл, состоящий из различных сочетаний материалов, нередко не сходных по физико-химическим свойствам. Поэтому при создании того или иного биметалла приходится решать

множество сложных технических и технологических вопросов.

Промышленная технология производства биметалла была разработана в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Все поисковые и экспериментальные работы проводили на «Азовмаше» на толстолистовом стане ЛП-4500 металлургического комбината им. Ильича (г. Мариуполь).

В результате многочисленных исследований и опытно-промышленной проверки ИЭС совместно с ПО «Ждановтяжмаш» и Ждановским металлургическим комбинатом им. Ильича была создана на основе автовакуумной сварки давлением промышленная технология производства толстолистого биметалла толщиной до 170 мм путем прокатки несимметричных пакетов с основным слоем из сталей марок 09Г2С, 12XM, 20X2M, 1X2H1M и плакирующим из стали марки 08X18H10T, герметизированных по периметру сварным швом [1, 2].

Производство толстостенных биметаллических сосудов связано с целым рядом технологических операций, для выполнения которых требуется высокотемпературный нагрев биметалла с последующей горячей деформацией. К таким технологическим операциям следует отнести штамповку, вальцовку, калибровку. Этим операциям может предшествовать нагрев биметалла, например при отпуске после сварки изделия. Все это приводит к усилению диффузионного перемещения углерода в зоне сварки разнородных сталей и может сопровождаться образованием в ней хрупких структурных прослоек. В связи с этим при освоении технологии изготовления штамповарных сосудов исследовали влияние целого ряда технологических факторов таких, как нагрев под штамповку (вальцовку), термическая обработка металла, сварка и др. Результаты исследований были положены в основу технологических рекомендаций, инструкций и успешно реализованы в серийном производстве.

Горячая обработка биметалла не допустима при температуре ниже 800...900 °С, так как это сопряжено с опасностью отрыва плакирующего слоя. Такие технологические операции необходимо производить при температуре не ниже 950 °С. После горячей деформации целесообразна нормализация при температуре 950...975 °С с охлаждением на воздухе.

В тех случаях, когда невозможно произвести нормализацию, допускается отпуск при температуре 525...550 °С, выдержка 20...25 ч с охлаждением на воздухе.

При изготовлении толстостенных сосудов и аппаратов широко используется электрошлаковая или автоматическая сварка под флюсом [3].

Все технологические варианты сварки толстолистового металла построены на принципе раздельной сварки основного и плакирующего слоев, причем в первую очередь рекомендуется сваривать основной углеродистый слой. Таким образом удастся легко избежать попадания в углеродистый шов легирующих элементов из аустенитной облицовки, что гарантирует качество и высокие механические свойства сварного соединения.

Выбор варианта сварки биметаллических сосудов зависит от размеров изделия, его толщины, расположения швов в пространственном положении, применяемых материалов, необходимости предварительного и сопутствующего подогрева, а также возможности механической обработки отдельных сварных узлов и изделия в целом [4, 5].

Созданные толстостенные штамповарные сосуды из биметалла по разработанной и освоенной совместно ИЭС им. Е. О. Патона и ПО «Ждановтяжмаш» технологии успешно эксплуатируются и в настоящее время на многих нефтеперерабатывающих заводах бывшего Советского союза и других стран, а также на морских судах в качестве атомных реакторов.

В период выполнения космических программ возникла острая потребность в криогенной технике. Это было связано с тем, что новые задачи по освоению космоса требовали создания принципиально новых жидкостных реактивных двигателей. Решение этих задач невозможно без наличия специальных сосудов, способных выдерживать низкие температуры (от -100 до -273 °С), высокое давление, термические и силовые знакопеременные нагрузки, а также воздействие агрессивных криогенных жидкостей. Создание таких сосудов для хранения жидкого кислорода при температуре -196 °С под давлением 700 атм по запросу КБ «Энергия» было поручено ЖЗТМ. Аналогов подобных изделий не было в практике не только отечественного, но и мирового машиностроения. Предварительные расчеты показывали, что толщина стенки сосуда должна быть не менее 150 мм. Но при таких толщинах даже при начальном заполнении сосуда жидким кислородом температурный градиент по толщине стенки корпуса создавал температурные напряжения, превышающие предел текучести металла, что, естественно, вело к разрушению корпуса сосуда даже при атмосферном давлении. Необходимы были новые подходы и новые технологии получения качественного металла.

В ИЭС была предложена принципиально новая технология получения толстостенных сосудов, основанная на применении способа электрошлакового литья (ЭШЛ) [6–8], позволяющая выплавлять металл высокого качества и одновременно получать отливки для изделий сложной формы. Шлаковая ванна, температура которой обычно на $150...220$ °С превышает температуру плавления металла, за счет тепла, выделяющегося в ней при прохождении электрического тока, плавит стальные расходуемые электроды и одновременно рафинирует жидкий металл от вредных примесей. Та же шлаковая ванна служит надежной защитой жидкого металла от окисления при заполнении им формы (кристаллизатора).

С учетом наличия на ЖЗТМ уникальной печи УШ-100 было принято решение применить для изготовления элементов корпусов криогенных сосудов способ ЭШЛ, удачно сочетающий преимущества электрошлакового переплава и литья и обеспечивающий высокую чистоту металла, плотность и изотропность свойств и, следовательно, требуемое качество крупнотоннажных полых заготовок для криогенных сосудов [9, 10].

Учитывая, что техника ЭШЛ в подвижном кристаллизаторе полых заготовок диаметром 700/350 мм и длиной 2,5 м не имела на тот период аналогов, многие технологические вопросы решали непосредственно в ходе опытных плавов. Уже первая промышленная плавка заготовки из стали марки 12Х18Н10Т выявила очень серьезную проблему, для решения которой потребовались знания и опыт в области теории металлургических процессов. Дело в том, что в процессе переплава этой стали под стандартными флюсами происходит «угар» титана и в металле отливки он практически отсутствует, что лишает получаемую сталь требуемых свойств. Требовалось создание совершенно нового флюса, обеспечивающего неизменность содержания легирующих элементов в стали 12Х18Н10Т в процессе ЭШЛ. Путем проведения серии опытных лабораторных плавов решение было найдено и разработанный состав нового флюса успешно внедрен при выплавке натуральных заготовок.

Кроме освоения технологии получения отливок криогенного сосуда специалистами ИЭС им. Е. О. Патона и ЖЗТМ были успешно решены все вопросы создания изделия, включая сварку, термообработку, испытания (в т.ч. с термоциклированием) и др. [11, 12].

ЭШТ успешно применяли на ЖЗТМ и при создании металлургического оборудования.

Как известно, в машиностроительном производстве изготовление поковок массой 1,5...2,0 т связано со значительными трудностями. Поэтому целесообразно там, где это возможно, заменять кованный металл литым электрошлаковым.

ПО «Ждановтяжмаш» совместно с Институтом электросварки им. Е. О. Патона выполнили большой комплекс исследований по отработке техники и созданию технологии ЭШЛ заготовок многих деталей, в т. ч. цапф и цапфовых плит сталеразливочных ковшей, которые ранее, как правило, изготавливали из поковок.

Согласно технологии ЭШЛ слитки из стали 20Ш и 35Ш производятся по однофазной схеме на печи У-360Г и по бифилярной на УШ-100.

Применение ЭШЛ позволило сократить ряд технологических операций, необходимых при изготовлении цапфовых плит из поковок, а также получить слитки с гладкой наружной поверхностью, без гофр, утяжин, зашлаковок. Ультразвуковая дефектоскопия таких слитков подтвердила высокое качество литья электрошлакового металла, что позволило организовать их серийное производство.

В машиностроении крупные прессовые и молотовые штампы горячей штамповки изготавливают в основном способомковки. Эта технология имеет ряд существенных недостатков.

Новые возможности в производстве штампов различного назначения открыл способ ЭШЛ [13]. При ЭШЛ переплавляемый металл заполняет внутреннюю полость кристаллизатора, форма которой близка к форме готового штампа. Поэтому припуски на механическую обработку, а следовательно, и расход металла минимальны.

Вследствие благоприятных условий кристаллизации и рафинирования металла шлаком в процессе ЭШЛ литой электрошлаковый металл штамповых заготовок имеет высокую химическую и физическую однородность, изотропность механических свойств, высокую чистоту, плотность, в нем отсутствуют ликвационные дефекты.

Преимуществом фасонных литых штамповых заготовок является высокое качество рабочих участков штампа, обусловленное направленной кристаллизацией и благоприятным нормальным ориентированием кристаллитов, а также меньшей водородопроницаемостью более плотного металла ЭШЛ. Литой электрошлаковый металл в сравнении с металлом открытой выплавки (ОВ) имеет намного меньше субмикродфектов и дефектов кристаллической решетки, являющихся своеобразными каналами для диффузии водорода, образующегося при разложении смазки в процессе штамповки.

Стойкость штампов, особенно крупных (прессовых и молотовых), в значительной мере определяется наличием трещин разгара. Литые штампы ЭШЛ в отличие от кованных из металла открытой выплавки обладают более высокой стойкостью против разгарных трещин, поскольку в них отсутствуют грубые строчечные (сульфидные) включения, а границы зерен более чистые.

Одним из первых заводов тяжелого машиностроения, на котором производили штампы ЭШЛ, является ПО «Ждановтяжмаш», где на электрошлаковых печах типа У-360Г и У-360Д осуществляли электрошлаковую отливку различных машиностроительных заготовок [14].

Мелкие и средние штампы, изготовленные способами ОВ, выходят из строя из-за смятия гравюры и появления трещин разгара. В крупных многоручьевых штампах (масса падающих частей молота 5 т и более, масса штампа более 1 т) нередко происходят поломки в местах расположения хвостовиков и замков. Как показывает опыт, основной причиной этих поломок является низкое качество исходного металла ОВ (30 % крупных молотовых штампов кованого металла ОВ бракуется по этому виду дефекта). В случае применения ЭШЛ эти разрушения не наблюдаются.

Опыт эксплуатации показал, что стойкость штампов ЭШЛ в среднем в 1,2...1,5 раза выше стойкости штампов, изготовленных из кованого металла ОВ. При этом разгарные трещины на рабочих участках штампа ЭШЛ наблюдаются в меньшем количестве и меньших размеров [15, 16].

Еще одним преимуществом технологии ЭШЛ является возможность получения гетерогенных (биметаллических) штампов, у которых только рабочая часть выполняется из теплостойких штамповых сталей (4Х5МФС, 40ХСМНФ, 3Х3М3Ф и др.), отличающихся высокой стоимостью, а остальная часть изготавливается из менее дорогих (типа 5ХНМ) или конструкционных (40Х, стали 45). При этом биметаллические штамповые заготовки имеют плавное изменение химического состава в переходной зоне.

Производство биметаллических штампов ЭШЛ оказалось наиболее перспективным направлением, так как дало возможность повысить стойкость штампов и одновременно снизить опасность хрупких разрушений благодаря демпфирующему влиянию менее легированного вязкого слоя, а также значительно экономить высоколегированные материалы.

Все выше приведенные технологии были успешно реализованы в серийном производ-

стве на ПО «Ждановтяжмаш» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона.

Производительность прокатных станов, а также качество проката определяются прежде всего качеством прокатных валков. Опыт эксплуатации прокатных валков показывает, что для их изготовления целесообразно использовать металл ЭШП [17]. При этом повышается качество, надежность и стойкость валков.

Анализ работы опорных валков листопрокатных станов, горизонтальных и вертикальных валков обжимных станов показывает, что одной из причин частого выхода валков из строя является неравномерный износ их по длине бочки, который приводит к уменьшению длины контакта и увеличению давления в контактной зоне опорного и рабочего валков. По этой причине требуются частые перевалки и переточки валков, что неизбежно влечет за собой снижение производительности прокатных станов.

ИЭС им. Е. О. Патона и ПО «Ждановтяжмаш» совместно со Ждановским металлургическим институтом и Московским институтом стали и сплавов разработали на основе способа ЭШЛ технологию изготовления заготовок бандажей валков с переменным химическим составом по длине бочки для станов холодной прокатки [18, 19].

Полюе заготовки бандажей валков изготавливали способом ЭШЛ в подвижном водоохлаждаемом кристаллизаторе диаметром 710 мм с водоохлаждаемым дорном диаметром 310 мм.

Выплавка заготовок бандажей валков с переменным химическим составом по длине бочки осуществляли путем переплава составных по высоте расходующих электродов, набранных из заготовок разного химического состава, а также путем переплава расходующих электродов с постоянным по длине химическим составом с введением при ЭШЛ легирующих добавок, количество которых выбирали в зависимости от требуемого закона изменения износостойкости.

Исследование бандажей ЭШЛ показало, что макроструктура литого металла плотная, дефектов типа пор, трещин, флокенов не обнаружено. Литой электрошлаковый металл чище ковальной стали ОВ, в нем меньше содержится неметаллических включений, газов и вредных примесей. Кроме того, металл ЭШЛ обладает более низкой чувствительностью к термическим ударам, а также более высоким сопротивлением контактной усталости. Указанные факторы и обуславливают более высокую стойкость бандажей ЭШЛ валков по сравнению со стойкостью кованных бандажей из металла ОВ. Новая технология ЭШЛ бандажей с

заданным законом изменения химического состава металла по длине бочки была успешно применена в производстве.

В машиностроении при изготовлении валков крупнотоннажных прокатных станов, роторов турбин и т.п. используются поковки массой более 300 т.

Для изготовления поковки массой 300...350 т необходим слиток массой примерно 500 т и диаметром 4000 мм. Отечественная промышленность изготавливала ограниченное количество поковок массой не более 120...150 т из 300-тонного слитка легированной стали [20].

Освоение производства крупных заготовок способами традиционной металлургии связано с решением комплекса сложных научно-технических и технологических проблем. Основная трудность заключается даже не столько в создании уникального металлургического и технологического оборудования, сколько в получении заготовок высокого качества. Это связано с тем, что при кристаллизации в изложнице для огромной массы жидкого металла характерно интенсивное развитие зональной и внецентренной ликвации элементов, образование усадочных трещин и пустот, часто располагающихся вблизи поверхности слитков. Многие из этих дефектов при ковке не устраняются и могут привести к разрушению изделий, как при их изготовлении, так и при эксплуатации.

При увеличении массы слитка возникает необходимость в оснащении предприятия новым грузоподъемным оборудованием соответствующей мощности, гигантскими термическими печами и ковочными прессами. Поэтому получение крупнотоннажных заготовок из одного слитка — сложная задача. Указанные трудности исключаются в случае использования другого способа изготовления крупнотоннажных деталей, при котором такие детали выполняются в виде сборных конструкций с механическим креплением составляющих частей (например, сборные роторы генераторов, наборные подштамповые плиты, бандажированные опорные валки прокатных станов). Надежность этих деталей обычно ниже надежности цельных, поэтому машины с такими деталями имеют ограниченную область применения.

Технология ЭШП [21–26] позволила поднять на новую качественную ступень производство стальных слитков.

Для получения уникальных крупнотоннажных заготовок была предложена принципиально новая технология, по которой они изготавливаются из поковок меньшей массы сваркой и ковкой. Организация производства заготовок любых размеров и массы в этом случае возможна без значительных

дополнительных затрат на металлургическое и ковочное оборудование. Повышение качества заготовки при этом достигается в результате использования относительно небольших по массе поковок из металла ОВ. Наиболее целесообразно применение электрошлакового металла.

Стали для крупнотоннажных заготовок валков, штампов и других крупных изделий, отличающиеся высоким содержанием углерода (0,5...1,2 %), легированные никелем, хромом, молибденом, ванадием и другими элементами, относятся к несвариваемым материалам. Основными дефектами при их сварке являются кристаллизационные (горячие) и закалочные (холодные) трещины.

Проблему сварки крупных заготовок из высокоуглеродистых сталей решили с помощью способа электрошлаковой сварки с кусковыми присадочными материалами (ЭШС КПМ), разработанного ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ПО «Ждановтяжмаш» [27].

ЭШС КПМ выполняется при неподвижно установленных вдоль всего сварочного зазора электродах, которые в процессе сварки плавятся, а в пространство между ними в зону шлаковой ванны подают кусковые материалы в виде дроби, шаров и т.п. Путем введения в жидкий металл через шлаковую ванну крупных твердых частиц (до 40 % массы шва) удалось получить дезориентированную измельченную армированную введенными частицами структуру металла шва, в которой исключается появление кристаллизационных трещин.

Технология ЭШС КПМ была внедрена при изготовлении ковано-сварных рабочих валков из стали 50ХН для толстолистового стана горячей прокатки ЛП-4500, а также открыла возможность для создания сверхгабаритных заготовок практически неограниченного веса для использования при строительстве стана «5000» и др.

Указанная технология была закуплена многими странами Европы и подтверждена 12-ю патентами.

На базе этого электрошлакового процесса была разработана и освоена на ПО «Ждановтяжмаш» одна из уникальных технологий — электрошлаковая подпитка с применением КПМ, позволяющая получать крупнотоннажные отливки ответственного назначения без прибыльных частей и усадочных раковин.

Толстолистовая сталь — основной конструкционный материал в машиностроении. Качество, надежность и долговечность огромного количества машин и агрегатов, таких как краны, прессы, конвертеры, ковши, станины прокатных станов и металлорежущих станков, платформы тяжелых автосамосвалов и поддизельные рамы тепловозов,

сосуды высокого давления и другие ответственные изделия, в значительной мере определяются качеством толстолистового проката.

В процессе освоения и внедрения технологии ЭШП на «Азовмаше» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона выполнялся комплекс работ по созданию новых марок низко- и среднелегированных толстолистовых сталей ЭШП, а также разработке новых технологических процессов их получения, обеспечивающих не только дальнейшее повышение качества металла ЭШП, но и снижение его стоимости [28–35].

В рамках статьи невозможно детально привести результаты многолетних исследований в этой области. Перечислим некоторые из этих направлений.

Это такие работы, как: исследование возможности повышения прочности стали за счет регулирования содержания углерода, термического упрочнения, в т.ч. на основе двухстадийного отпуска, а также исследования характеристик изломов толстолистового металла ЭШП, получаемого по различным технологическим вариантам выплавки и термической обработки, применения макрохолодильников при ЭШП [36–38]; исследование возможности повышения качества листовой легированной стали ЭШП за счет нитридного упрочнения [39]; исследование влияния флюсов на свойства стали на примере стали 16Г2АФ [40]; исследование металла ЭШП на водородопроницаемость; исследование влияния ЭШП на стойкость стали против хрупкого разрушения; исследование сопротивляемости сталей ЭШП к образованию холодных и слоистых трещин при сварке [35]; создание технологии получения толстолистовой стали на основе ЭШП кислородно-конвертерного металла, оценка эффективности этого способа [41–44]; исследование толстолистовой стали, полученной из слитков-слябов ЭШП с различной степенью обжатия [45]; разработка технологии и исследование качества гетерогенной стали, полученной в кристаллизаторе, совершающем возвратно-поступательные перемещения в горизонтальной плоскости.

Улучшением качества толстолистовой стали Б. И. Медовар занимался не только с применением ЭШП. Технология получения нового конструкционного материала — армированного квазимонолитного металла (АКМ), свойства которого в литом состоянии находятся на уровне свойств деформированного, а прокат из него не уступает по качеству металлу ЭШП, была предложена им в промышленное производство на заводах Мариуполя.

Суть новой технологии заключалась в том, что путем ввода специальной конструкции армирую-

щих вкладышей в расплавленный металл удалось целенаправленно воздействовать на процесс кристаллизации слитка, что обеспечило снижение его химической и структурной неоднородности и, как следствие, повышение механических и служебных характеристик.

Опытно-экспериментальные работы проводили в условиях действующего мартеновского цеха ЖЗТМ.

Большой объем НИР, выполненных учеными ИЭС им. Е. О. Патона и Ждановского металлургического института, позволил впервые создать и отработать в производственных условиях технологию получения крупнотоннажных цельнолитых стальных и чугунных корпусов транспортных контейнеров (ТК) для перевозки и хранения отработанного ядерного топлива. 12 апреля 1985 г. в мартеновском цехе ПО «Ждановтяжмаш» впервые в мире был отлит полый АКМ стальной слиток массой 100 т.

Применение АКМ обеспечило ощутимый экономический эффект в производстве ТК. Серийная технология производства корпусов ТК, освоенная на ЖЗТМ в 1977–1978 гг., предусматривала отливку четырех 39-тонных кузнечных слитков с последующей ковкой, механической обработкой полученных обечаек и сваркой их между собой кольцевым швом, а также покрытием внутренней поверхности корпуса нержавеющей сталью по очень сложной технологии. Технология отливки крупнотоннажных АКМ слитков с нержавеющей сталью внутренним покрытием обеспечила существенное снижение трудоемкости и цикла изготовления при производстве изделий.

В 1986 г. с применением новой технологии изготовлен ТК-10 для Новороссийской АЭС, корпус которого впервые в отечественной практике был собран из двух крупнотоннажных полых с нержавеющей сталью внутренним покрытием АКМ заготовок, сваренных одним кольцевым швом. В тот же период изготовлен исследовательский ТК-18, корпус которого представлял цельнолитую чугунную с нержавеющей сталью внутренним покрытием полузаготовку высотой более 4 и наружным диаметром более 1,5 м, геометрические объемы и размеры

которой практически соответствовали готовому изделию.

Технология получения толстолистового АКМ проката с улучшенными служебными характеристиками также внедрена в производство конвертеров и деталей других изделий, в т.ч. специального назначения. Реализованные в процессе отработки технологии технические решения защищены авторскими свидетельствами, а сама технология позволила решить ряд практических производственных задач.

Первым изделием на ЖЗТМ, которое изготовили из АКМ, был конвертер — сталеплавильный агрегат емкостью 300 т для Череповецкого металлургического комбината. До этого, учитывая тяжелые условия работы таких агрегатов, наиболее ответственные их узлы, в частности опорные кольца, изготавливали из металла ЭШП. Применение АКМ обеспечило снижение трудо- и энергозатрат при производстве конвертеров на ЖЗТМ. После всестороннего исследования качества изготовленного конвертера был отгружен заказчику и успешно работает до настоящего времени.

Участник Великой Отечественной войны, один из создателей легендарного танка Т-34 на Нижне-Тагильском заводе, Борис Израилевич в мирное время много внимания уделял технологиям, используемым в производстве изделий специального назначения, результаты которых по известным причинам в этой статье представить невозможно. Однако по одной из тем можно привести некоторые данные, поскольку они были реализованы в мирное время и о которых уже известно и неоднократно сообщалось в самых разных источниках массовой информации.

Речь идет о поставках Украиной в 1996–1999 гг. партии танков Т-84 в количестве 320 шт. Пакистану. Контракт, за который боролись Россия (Т-90), Германия («Леопард II») и др., был выигран только благодаря тому, что изготовленная в сварнокапаном исполнении башня танка при испытаниях на этапе тендерного сравнения оказалась вне конкуренции. Работы по созданию такой конструкции проводили более 5 лет.

Хотелось бы отметить особенно — это создание на «Азовмаше» школы Б. И. Медовара, что является главным и неподдающимся никакой переоценке.

Все, чему мы научились у своего легендарного учителя — Бориса Израилевича и конечно же, в первую очередь, автор этих строк — это ответственности за выполнение работы и ее результат. Будучи исключительно трудолюбивым, фанатично преданным своему делу и неутомимо настойчивым в достижении цели, Борис Израилевич очень сурово спрашивал со своих учеников четкого исполнения задания, не терпел некомпетентности и дилетантского подхода к решению

проблемы. Особенно жестко требовал, чтобы исполнитель вникал во все тонкости исследований и при этом, одновременно, всегда поощрял за инициативу и полученный результат. Особенно — за идеи по дальнейшему продолжению работы. Борис Израилевич никогда не останавливался на достигнутом. Всегда говорил: «Добился результата — не успокаивайся! Иди дальше и добивайся следующего этапа в продвижении...».

Низкий поклон и вечная память, дорогой Учитель.

1. Луцок-Худин В. А. Новый способ производства толстолистового двухслойного проката для сосудов высокого давления / В. А. Луцок-Худин. — К.: Наук. думка, 1965. — 52 с.
2. Патон Б. Е. Новый способ производства двухслойного листа, основанный на применении электрошлаковой сварки / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. А. Луцок-Худин // Бюл. ЦНИИЧЕРМЕТ. — 1962. — № 6. — С. 15–21.
3. Кумыш И. И. Механизированная сварка толстолистовых сосудов из двухслойной стали / И. И. Кумыш, В. А. Луцок-Худин, В. Я. Саенко // Хим. и нефть. машиностроение. — 1967. — № 6. — С. 14–19.
4. Новая технология изготовления толстолистовых биметаллических сосудов высокого давления / В. А. Луцок-Худин, В. Я. Саенко, И. И. Кумыш [и др.] // В кн.: Технология, организация и механизация сварочного производства. — М.: НИИИНФОРМтяжмаш, 1968. — С. 29–33.
5. Производство толстолистовых сварных сосудов из двухслойных сталей с коррозионностойкой аустенитной облицовкой / Б. И. Медовар, В. А. Луцок-Худин, В. Я. Саенко [и др.] // В кн.: Производство, сварка и применение двухслойной стали. — М.: ГОСИНТИ, 1963. — С. 7–21.
6. Изготовление сосудов высокого давления способом электрошлакового литья / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Г. А. Бойко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1978. — Вып. 9. — С. 5–12.
7. Электрошлаковая выплавка заготовок сосудов высокого давления из аустенитной стали / Б. И. Медовар, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1981. — Вып. 14. — С. 14–19.
8. Эффективность изготовления литосварных сосудов высокого давления с применением технологии электрошлакового литья / В. И. Алексеенко, Б. И. Медовар, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко. // В кн.: Пути интенсификации и повышения эффективности сварочного производства: Матер. семинара. — М.: Об-во «Знание» РСФСР, 1977. — С. 114–119.
9. Исследование качества литых электрошлаковых заготовок из стали 12Х18Н10ТШ, предназначенных для сосудов высокого давления / А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко, И. Д. Нагаевский [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1980. — Вып. 12. — С. 65–70.
10. Лебедев Д. В. Конструктивная прочность криогенных сталей / Д. В. Лебедев. — М.: Металлургия, 1976. — 264 с.
11. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов / Б. И. Медовар. — М.: Машиностроение, 1966. — 430 с.
12. Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей / Б. И. Медовар. — М.: Машгиз, 1958. — 339 с.
13. Новая технология получения литых электрошлаковых штамповых заготовок массой до 20 т / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1980. — Вып. 12. — С. 52–54.
14. Использование ЭШП для получения литых электрошлаковых штамповых заготовок / Г. А. Бойко, Е. С. Гринюк, В. М. Шнейберг [и др.] // В кн.: Рафинирующие переplавы. — К.: Наук. думка, 1974. — С. 138–142.
15. Повышение стойкости крупных молотовых штампов, изготовленных из литого металла ЭШП / В. С. Гринюк, В. Ф. Карпов, Г. А. Бойко [и др.] // Рафинирующие переplавы. — 1975. — Вып. 2. — С. 109–111.
16. Производство крупных штамповых заготовок способом ЭШП / В. С. Гринюк, В. Я. Саенко, Б. И. Медовар [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1978. — Вып. 8. — С. 31–38.
17. Бергшоу Т. Применение ЭШП для улучшения качества валков / Т. Бергшоу, В. Летгер, Р. Крофже. // Электрошлаковый переplав. — 1974. — Вып. 2. — С. 129–146.
18. Исследование и разработка технологии наплавки валков с переменной по длине бочки износостойкостью / Л. К. Лещинский, Б. И. Носовский, С. В. Гулаков [и др.] // В кн.: Прогрессивные способы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии: Тез. докл. VI Всесоюз. науч.-техн. конф. — Жданов, 1977. — С. 4–5.
19. Электрошлаковая выплавка бандажей валков холодной прокатки с переменным химическим составом по длине бочки / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1980. — Вып. 12. — С. 3–5.
20. Скобло С. Я. Слитки для крупных поковок / С. Я. Скобло, Е. А. Казачков. — М.: Металлургия, 1973. — 373 с.
21. Латаш Ю. В. Электрошлаковый переplав / Ю. В. Латаш, Б. И. Медовар. — М.: Металлургия, 1970. — 238 с.
22. Медовар Б. И. Настоящее электрошлакового переplавы / Б. И. Медовар. — М.: Машиностроение, 1978. — 24 с.
23. Медовар Б. И. Электрошлаковая технология сегодня и завтра / Б. И. Медовар // В кн.: Современ. проблемы сварки и спец. электрометаллургии. — К.: Наук. думка, 1980. — С. 147–161.
24. Патон Б. Е. Новые направления развития специальной электрометаллургии / Б. Е. Патон // В кн.: Научные проблемы сварки и специальной электрометаллургии. — К.: Наук. думка, 1970. — С. 56–66.
25. Патон Б. Е. Электрошлаковая технология / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Г. А. Бойко. — К.: Об-во «Знание» УССР, 1976. — 76 с.
26. Электрошлаковый металл / Б. И. Медовар, Г. А. Бойко, Л. М. Ступак [и др.]. — К.: Наук. думка, 1981. — 711 с.
27. Новый способ сварки заготовок сверхкрупных сечений: электрошлаковая сварка неподвижным электродом с добавкой кусковых материалов (ЭШС КПМ) / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. П. Андреев [и др.] // В кн.: Пробл. электрошлаковой технологии. — К.: Наук. думка, 1978. — С. 41–47.
28. Влияние электрошлакового переplавы на стойкость стали 16Г2АФ против хрупких разрушений / Л. И. Гладштейн, В. Я. Саенко, Л. Г. Гавриленко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1977. — Вып. 7. — С. 21–27.
29. Использование толстолистового металла ЭШП для изготовления ответственных сварных конструкций металлургического оборудования / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар,

- В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1977. — Вып. 6. — С. 25–28.
30. *Исследование* возможности улучшения на основе ЭШП качества толстолистовой стали марки 16Г2АФ / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1975. — Вып. 1. — С. 34–40.
 31. *Медовар Б. И.* Вопросы сварки низко- и среднелегированной толстолистовой электрошлаковой стали / Б. И. Медовар, В. Я. Саенко. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1981. — Вып. 14. — С. 20–24.
 32. *О целесообразности* изготовления ответственных сварных конструкций из толстолистого металла, улучшенного способом ЭШП / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // Рафинирующие переплавы. — 1974. — Вып. 1. — С. 123–138.
 33. *Саенко В. Я.* ЭШП стали марки 16Г2АФ с делегированием в процессе переплава / В. Я. Саенко, В. Н. Пахуридзе. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1978. — Вып. 3. — С. 19–23.
 34. *Склонность* стали 16Г2АФ электрошлакового переплава к образованию слоистых трещин при сварке / Л. Г. Гавриленко, Л. И. Гладштейн, Б. И. Медовар [и др.] // Автомат. сварка. — 1976. — № 10. — С. 9–13.
 35. *Сопrotивляемость* стали 16Г2АФ электрошлакового переплава образованию холодных трещин при сварке / Б. И. Медовар, В. Н. Пахуридзе, В. Я. Саенко [и др.] // Автомат. сварка. — 1979. — № 8. — С. 6–9.
 36. *Исследование* эффективности ввода макрохолодильников в процессе электрошлакового переплава / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1980. — Вып. 13. — С. 3–9.
 37. *Медовар Б. И.* О поведении макрохолодильников в металлическом расплаве / Б. И. Медовар, В. Я. Саенко. // Докл. АН СССР. — 1980. — № 1. — С. 90–91.
 38. *Управление* кристаллизацией слитков путем ввода макрохолодильников при электрошлаковом переплаве / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко, Ю. Г. Емельяненко // В кн.: Литье с применением инокуляторов. — К.: Ин-т пробл. литья АН УССР, 1981. — С. 13–19.
 39. *Некоторые* вопросы упрочнения электрошлаковой стали / Г. А. Гринев, В. Я. Саенко, Г. А. Бойко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1975. — Вып. 1. — С. 28–34.
 40. *Куслицкий А. Б.* Наследственность свойств электрошлакового металла, переплавленного на различных флюсах / А. Б. Куслицкий, К. Б. Кацов, Г. В. Карпенко. // В кн.: Специальная электрометаллургия: Докл. Междунар. симпози. по спец. металлургии. — К.: Наук. думка, 1972. — С. 87–91.
 41. *Медовар Б. И.* Электрошлаковый переплав стали 16Г2АФ с селекцией металла расходуемых электродов и делегированием азотом / Б. И. Медовар, В. Я. Саенко, В. Н. Пахуридзе. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1976. — Вып. 4. — С. 4–7.
 42. *Новая* технология получения высококачественных низко- и среднелегированных сталей на основе ЭШП кислородно-конвертерного металла / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко [и др.] // В кн.: Проблемы электрошлаковой технологии. — К.: Наук. думка, 1978. — С. 50–66.
 43. *Новая* технология получения листового проката низколегированной стали типа 16Г2АФШ толщиной до 200 мм, полученной переплавом стали-полупродукта с делегированием в процессе электрошлакового переплава / Б. И. Медовар, В. Н. Пахуридзе, В. Я. Саенко [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1979. — Вып. 10. — С. 11–17.
 44. *Электрошлаковая* выплавка промышленных листовых слитков стали 16Г2АФ развесом 10...14 т с использованием для переплава кислородно-конвертерного металла / В. Я. Саенко, В. Н. Пахуридзе, А. В. Бешенцев [и др.] // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1976. — Вып. 5. — С. 27–30.
 45. *Тринев Г. А.* Исследование влияния ЭШП на характеристики излома толстолистого металла / Г. А. Тринев, А. К. Цыкуленко, В. Я. Саенко // В кн.: Пробл. электрошлаковой технологии. — 1978. — С. 174–181.

Given are the results of important searching research and experimental-industrial works in the field of welding, metallurgy and machine building, carried out in the period of 1960–2000 at Zdanov plant of heavy machine building under the supervision of Boris I. Medovar, academician of the AS Ukr.SSR. These works allowed creating the unique products for the machine building, some of them were mastered for the first time in the national and world practice. Ref. 45.

Key words: welding; welding technologies; special electrometallurgy; forging; rolling; welding consumables; technological processes; investigations of metallurgical quality of metal; monitoring; tests

Поступила 11.04.2016

EXPOWELDING 2016

18–20 октября 2016 г.

г. Сосновице, Польша

Экспо Силезия и Институт сварки Польши проводят очередную сварочную выставку ExpoWELDING 2016

<http://exposilesia.pl>