



УДК 669.187.56.001.6

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОСУДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

**Б. Е. Патон, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко,
Л. Б. Медовар, А. В. Литвиненко**

Обобщены основные результаты опытно-промышленных работ по созданию на основе ЭШЛ технологии производства литосварных сосудов высокого давления, длинномерных толстых труб и пустотелых заготовок, в том числе из труднодеформируемых жаростойких и коррозионно-стойких сталей и сплавов. Особое внимание уделено проблеме изготовления патрубковой зоны корпусов сосудов высокого давления. Рассмотрены различные технологические варианты решения этой проблемы. Многие из выполненных разработок нашли промышленное применение на ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения». Рассмотрены перспективы применения электрошлаковой технологии с использованием жидкого металла в производстве сосудов высокого давления и других изделий ответственного назначения.

Main results of experimental-industrial works on the creation of ESR-based technology of manufacture of cast-welded high-pressure vessels, long thick-walled tubes and hollow ingots including those of hard-to-deform heat-resistant and corrosion-resistant steels and alloys have been summarized. A special attention is paid to the problem of manufacture of a branch pipe zone of bodies of high-pressure vessels. Different technological variants for the solution of this problem are considered. Many developments have found industrial application at Mariupol plant of heavy machine-building. Prospects of application of electroslag technology using the molten metal in the production of high-pressure vessels and other critical products are described.

Ключевые слова: электрошлаковая технология; электрошлаковая сварка; электрошлаковый переплав; электрошлаковое литье; сосуды высокого давления; литосварные сосуды; патрубковая зона корпусов сосудов

Электрошлаковая технология (ЭШТ) — это комплекс сварочных и металлургических технологий, базирующихся на использовании электрошлакового процесса, основанного на выделении теплоты в синтетическом галлоидно-оксидном шлаке при прохождении через него электрического тока.

Начало применению электрошлаковой технологии в производстве сосудов высокого давления было положено более чем полвека назад, когда в 1952 г. на таганрогском заводе «Красный котельщик» в тесном содружестве с Институтом электро-сварки им. Е. О. Патона впервые в мировой практике с применением электрошлаковой сварки (ЭШС) были изготовлены толстостенные барабаны паровых котлов высоких параметров из листового проката. Сначала освоили сварку только продольных швов, а затем и кольцевых. В 1954 г. производство штампованных барабанов котлов с приме-

нением ЭШС было начато на Барнаульском котельном заводе. При освоении новой технологии производства барабанов котлов на заводе «Красный котельщик» обечайки из листовой стали марки 22К толщиной 90 мм вальцевали, а на Барнаульском котельном заводе изготавливали из двух полуобечайек (корыт), которые штамповали на специальном прессе [1].

Широкое распространение в нашей стране, а затем и в других странах получила металлургическая разновидность электрошлаковой технологии — электрошлаковый переплав (ЭШП) — в производстве слитков для крупногабаритного толстолистового проката из низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности, теплоустойчивых и высоколегированных коррозионно-стойких аустенитных сталей для различных изделий ответственного назначения, в том числе сосудов высокого давления.

Проведенные в середине 60-х годов комплексные опытно-исследовательские работы, направленные на повышение качества металла основного слоя би-

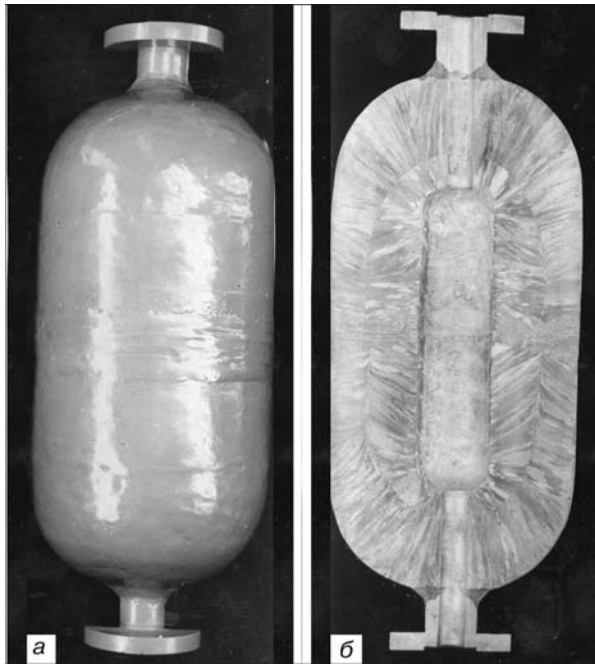


Рис. 1. Первый литосварной баллон с толщиной стенки 110 мм из стали 0X18H10T, сваренный одним кольцевым швом из двух монолитных полусосудов (а) и макрошлиф (продольный разрез) этого баллона (б)

металлических корпусов сосудов высокого давления, показали, что толстолистовой прокат (80... 115 мм) сталей 09Г2С, 16ГНМ, 18Х2М после ЭШП имеет улучшенные по сравнению с исходным мартеновским металлом свойства: в нем значительно ниже содержание серы, неметаллических включений и газов, практически отсутствует анизотропия пластических свойств, ударная вязкость поперечных образцов выше на 40... 80 %, а по толщине листа (по оси Z) — на 300... 400 %. Порог хладноломкости образцов, вырезанных по оси Z, смещается на 30 °С в сторону отрицательных температур для нормализованного металла и на 50°С для закаленного металла ЭШП по сравнению с исходным металлом. Сварные соединения стали 09Г2СШ после ЭШС можно подвергать лишь высокому отпуску, при этом обеспечивается требуемый уровень ударной вязкости в зоне термического влияния [2, 3].

Новый качественный этап в производстве корпусов сосудов высокого давления на основе применения электрошлаковой технологии связан с разра-

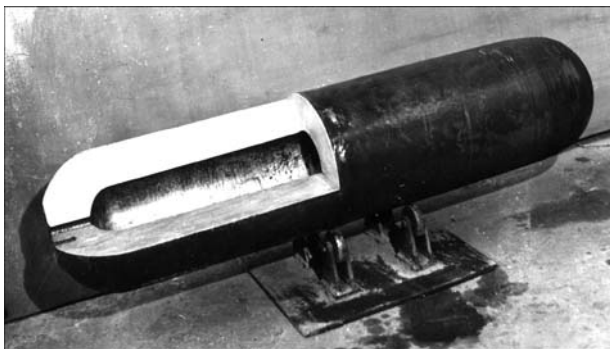


Рис. 2. Общий вид первого литосварного баллона (с вырезом «четвертушки» для исследований) из стали 20Х2МШ-Л, предназначенного на рабочее давление 100 МПа

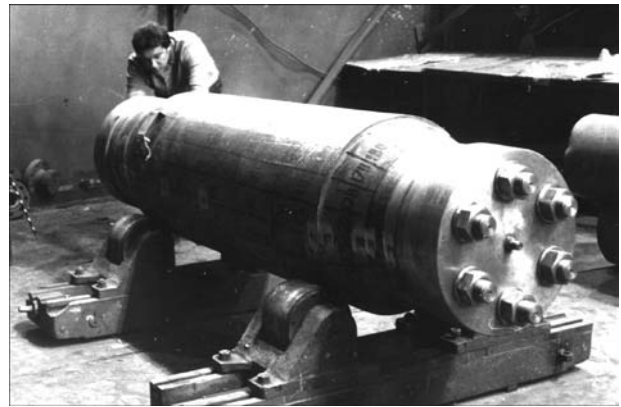


Рис. 3. Общий вид литосварного корпуса криогенного сосуда высокого давления из аустенитной стали 12Х18Н10ТШ-Л, предназначенного на рабочее давление 70 МПа и температуру -196 °С

боткой в конце 60-х годов метода электрошлакового литья (ЭШЛ). Следует отметить, что одна из самых первых публикаций [4] была посвящена использованию ЭШП не только для получения слитков, подлежащих дальнейшей горячей деформации, но и для изготовления высококачественных отливок сравнительно несложной формы из легированных сталей. На основе приведенных в этой работе результатов исследований был сделан важный вывод, что литой электрошлаковый металл по механическим свойствам приближается к хорошо деформированному обычному металлу. В связи с этим представляется возможным в ряде случаев взамен поковок из обычного металла применять отливки, полученные ЭШЛ.

На рис. 1 показан первый литосварной баллон, изготовленный в ИЭС им. Е. О. Патона с применением ЭШЛ. Согласно разработанной технологической схеме, методом ЭШЛ выплавлялись две половинки заготовок баллона заодно с днищами из аустенитной стали 0X18H10T, а затем половинки баллона сваривались воедино кольцевым швом.



Рис. 4. Поле слитки из стали 20 и 12Х18Н10Т (диаметр 710 мм, толщина стенки 170 мм), изготовленные методом ЭШЛ, для обечаек сосудов высокого давления



Впервые в промышленных условиях метод ЭШЛ был реализован на ПО «Ждановтяжмаш» (затем «Азовмаш», теперь ОАО «Азовмаш», включающее Мариупольский завод тяжелого машиностроения), где в конце 60-х середине 70-х годов с участием ИЭС им. Е. О. Патона было освоено изготовление литосварных сосудов высокого давления из сталей типа 20Х2МА и 12Х18Н10Т [5–8], используемых для работы на повышенных параметрах (рис. 2, 3).

Преимущества метода ЭШЛ перед традиционными методами горячего деформирования наиболее ярко проявляются при получении массивных полых цилиндрических заготовок (рис. 4), сферических днищ (рис. 5), различного типа заготовок патрубков и фланцев (рис. 6) для сосудов высокого давления из высоколегированных аустенитных сталей, широко применяемых в химическом и энергетическом машиностроении, криогенике и других отраслях техники. Это связано с тем, что особенности кристаллизации сталей этого класса чрезвычайно осложняют задачу получения качественных крупных поковок из металла открытой выплавки, а их низкая технологическая пластичность и повышенное сопротивление деформации в интервале температур горячей обработки давлением не только серьезно затрудняют формообразование заготовок (даже при наличии мощного кузнечно-прессового оборудования), но и приводят к появлению в них большого количества дефектов при горячем переделе и, как результат, к большим потерям металла. Метод ЭШЛ успешно решает указанные проблемы, которые являются важными в заготовительном производстве машиностроительных предприятий.

Применительно к изготовлению литосварных сосудов, предназначенных для работы при криогенных температурах и высоких давлениях, еще в начале 80-х годов на ПО «Ждановтяжмаш» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона было создано специализированное оборудование, разработана и освоена технология электрошлаковой выплавки полых цилиндрических заготовок, днищ, патрубков и других деталей из аустенитной стали марок 08Х18Н10Т,



Рис. 5. Обечайка (а) и днище (б) из аустенитной стали 12Х18Н10ТШ-Л, подготовленные к автоматической сварке криогенного сосуда высокого давления, предназначенного на рабочее давление 70 МПа и температуру -196°C

12Х18Н10Т и др. и технология автоматической сварки под флюсом литых заготовок (рис. 7), а также создана и внедрена система контроля качества литосварных сосудов [9–12].

Для литосварных криогенных сосудов высокого давления из аустенитных сталей применяли просвечивающий гаммадефектоскопический контроль с использованием линейного ускорителя. Применение этого весьма чувствительного метода неразрушающего контроля подтвердило высокое качество литого металла толстостенных сосудов (отсутствие в них дефектов, характерных для обычных отливок из сталей аустенитного класса: рыхлот, усадочных раковин, пор и др.), а также отсутствие дефектов в сварных соединениях. Результаты исследований

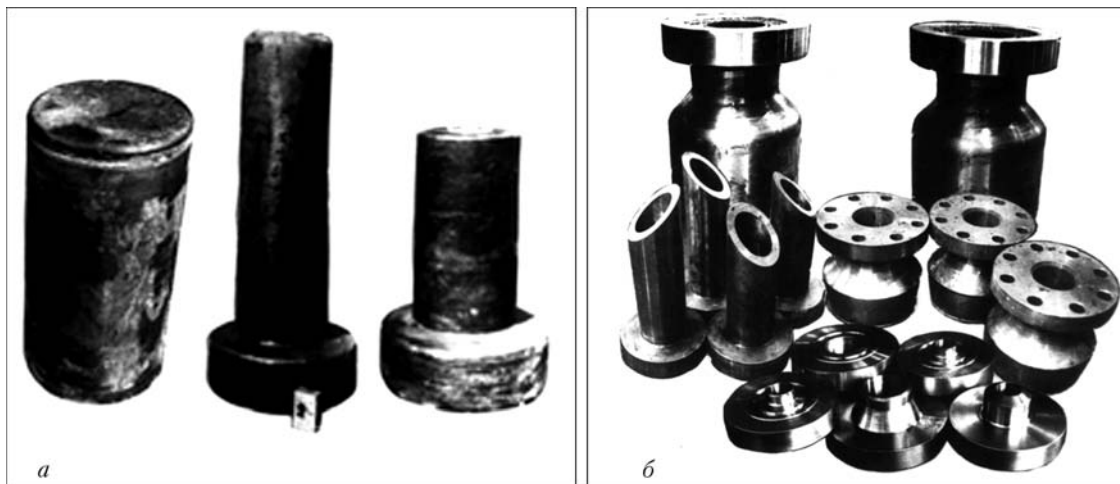


Рис. 6. Заготовки патрубков и штуцеров (сталь 15ХМ, Х5М, 12Х18Н10Т), полученные методом ЭШЛ, до (а) и после (б) механической обработки

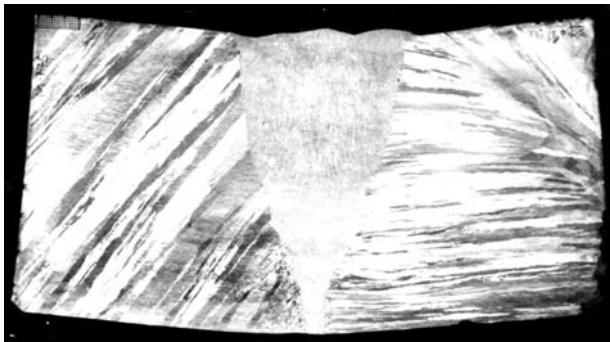


Рис. 7. Сварной шов на электрошлаковой литой криогенной аустенитной стали 12Х18Н10ТШ-Л (толщиной 110 мм), выполненный автоматической сваркой под флюсом

химического состава и механических свойств заготовок из аустенитных сталей приведены в табл. 1 и 2. Полученные данные свидетельствуют о том, что изготовленные по разработанной технологии электрошлаковые отливки полностью отвечают требованиям технических условий, предъявляемых к ковальному металлу.

В связи с рассматриваемой проблемой большой интерес представляют результаты исследований [13], проведенных сотрудниками ЦНИИ КМ «Прометей», по изготовлению моделей сосудов высокого давления методом ЭШЛ в лабораторных и промышленных условиях из сталей переходного класса марок 05Х13Н6М2 и 05Х10Н5М3. Качество и механические свойства аустенитно-мартенситной стали 05Х10Н5М3 исследовали на моделях сосудов промышленного производства наружным диаметром 430 мм с толщиной стенки 80... 150 мм, высотой до 450 мм. Результаты механических испытаний показали, что в толщине 130 мм механические свойства этой стали после термической обработки по выбранному режиму (закалка от 1050 °С, 4 ч, охлаждение в воде+отпуск 645 °С, 6 ч, охлаждение на воздухе) находятся на одном уровне со свойствами деформированного металла. При испытании на ударный изгиб образцов *KCU* и *KCV* установлено, что литая

электрошлаковая сталь 05Х10Н5М3 не только не уступает, но даже несколько превосходит кованую сталь обычной выплавки. На основании проведенных исследований метод ЭШЛ был рекомендован [13] для изготовления сосудов высокого давления.

Наиболее ответственной в эксплуатации и сложной в изготовлении является патрубковая зона корпусов сосудов высокого давления. До недавнего времени патрубки получали заодно с кованым корпусом со специальным утолщением, выполненным в верхней части полой кованой заготовки, что чрезвычайно трудоемко и связано с большими потерями металла (около 35... 45 % массы поковки).

Более технологичным является вариант с приварными патрубками, которые обычно получают ковкой. На ПО «Ждановтяжмаш» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона было освоено промышленное производство методом ЭШЛ литых заготовок, близких по форме к готовым патрубкам и фланцам (рис. 6), которые после механической обработки привариваются к корпусу баллона с применением дуговой или электрошлаковой сварки (рис. 8).

В производстве крупных корпусов проблема патрубков может быть решена путем электрошлаковой выплавки (ЭШВ) заготовок патрубков непосредственно на наружной поверхности готового сосуда [14]. В результате применения для ЭШВ специального устройства [15] патрубок надежно приплавляется к корпусу сосуда, образуя с ним единое целое. Благодаря ЭШВ обеспечивается плавный переход от патрубка к поверхности сосуда, поверхность таких патрубков получается чистой и гладкой, не требующей дополнительной механической обработки (рис. 9).

И, наконец, методом ЭШЛ патрубковая зона может быть получена заодно с патрубками при выплавке в водоохлаждаемом кристаллизаторе, а значит с минимальными потерями металла. Этот технологический вариант наиболее предпочтителен, однако

Таблица 1. Химический состав металла электрошлаковых заготовок из аустенитных сталей

Марка стали	Место отбора пробы	Содержание, %							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P
08Х18Н10ТШ-Л	Головная часть	0,05	0,46	1,27	17,69	9,50	0,59	0,006	0,019
	Донная часть	0,05	0,40	1,33	17,50	9,64	0,58	0,005	0,020
12Х18Н10ТШ-Л	Головная часть	0,08	0,56	1,52	19,0	9,70	0,61	0,008	0,020
	Донная часть	0,10	0,52	1,58	18,80	10,21	0,57	0,008	0,021
Требования ТУ 24-1-14-122 – 76 к стали 12 (08) Х18Н10ТШ-Л		0,12 (0,08)	0,8	2,0	17,0... 19,0	9,0... 11,0	4-С... 0,8	0,020	0,035

Таблица 2. Механические свойства металла электрошлаковых заготовок из аустенитных сталей

Марка стали	Тип заготовки	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость, МДж/м ²	
					<i>KCV</i> _{293К}	<i>KCV</i> _{77К}
08Х18Н10Т	ЭШЛ	205... 225	480... 505	52... 59	2,60... 2,85	–
	Поковка	180	460	36	1,2	–
12Х18Н10Т	ЭШЛ	245... 255	510... 520	38... 45	–	0,85... 0,92
	Поковка	240	500	38	–	0,8

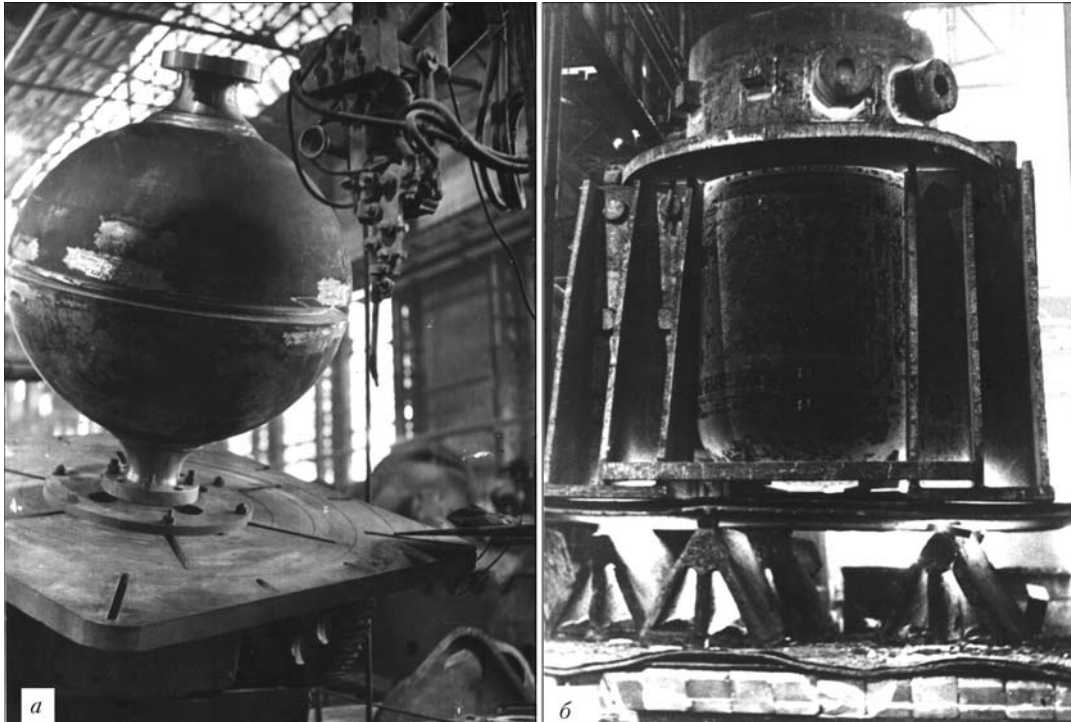


Рис. 8. Патрубки, сваренные автоматической сваркой под флюсом с корпусом шарообразного сосуда высокого давления (а) и штамповарной корпус с приваренными методом ЭШС патрубками (б) в стенде на подине печи после нормализации

его применение ограничивается размерами патрубковой зоны и мощностью электрошлаковой печи.

Следует отметить, что основное назначение электрошлакового литья и его разновидностей (центробежного и кокильного литья) состоит не в замене таких традиционных технологических процессов, как литье и ковка, а в использовании его как одного из высокоэффективных и металлосберегающих методов заготовительного производства, позволяющих расширить выпуск заготовок и другой продукции, не требующей значительной механической обработки.

Экономическая целесообразность применения технологии ЭШЛ взаменковки при изготовлении литосварных сосудов высокого давления из сталей аустенитного класса, склонных к образованию различного рода дефектов при горячем переделе, убедительно доказана практикой промышленных предприятий и прежде всего ПО «Азовмаш» [16].

Так, использование ЭШЛ при изготовлении толстостенных сосудов высокого давления из сталей аустенитного класса позволяет резко снизить расходный коэффициент металла на тонну готового изделия по сравнению с технологиейковки (до 1,1 против 2,6), а также существенно упростить всю технологию производства сосудов, исключив ряд технологических операций, значительно уменьшить объем сборочно-сварочных работ, механической обработки и сократить цикл изготовления изделий. Повышение надежности электрошлаковых литосварных сосудов и улучшение их эксплуатационных характеристик практически сокращает потребность в их количестве и ведет к экономии материальных ресурсов при создании объектов криогенной техники.

Весьма эффективным является применение ЭШЛ в производстве длинномерных толстых труб

и пустотелых заготовок, особенно из труднодеформируемых (и даже недеформируемых) жаростойких и коррозионно-стойких сталей и сплавов, таких как 4Х28Н45В5, Х25Н20С2, Х32Н8, ЭИ21, ЭИ654 и др. для химических и нефтехимических установок. Трубы постоянного профиля методом ЭШЛ получают в коротких неразъемных кристаллизаторах с постоянным сечением зоны формирования при относительном перемещении кристаллизатора и заго-



Рис. 9. Заготовки патрубков, выплавленные методом ЭШЛ непосредственно на корпусе сосуда



Рис. 10. Стыковое сварное соединение, выполненное электронно-лучевой сваркой трубной заготовки ЭШЛ (наружный диаметр 320 мм, внутренний 230 мм) из сплава ХН56МБЮД (а) и макрошлиф этого сварного соединения (б)

товки ЭШЛ, т. е. по той же технологической схеме, что и обечайки литосварных сосудов. Разработан ряд способов ЭШЛ полых заготовок и труб практически неограниченных размеров по диаметру и длине с толщиной стенки более 10 мм [17].

Как отмечается в работе [18], проблема получения качественных пустотелых заготовок из труднодеформируемых сталей и сплавов методом традиционнойковки остается актуальной до настоящего времени. Существующие схемы производства пустотелых поковок путем поперечнойковки полой заготовки на оправке не позволяют получать качественные поковки без торцевой бахромы, трещин и складкообразования со стороны внутренней поверхности приторцевых частей. В стандартах на поковки, изготавливаемые на ковочных прессах, учитываются концевые отходы, которые достигают 6 припусков на диаметр, а по некоторым заводским нормам — 10–12 припусков, что существенно уменьшает коэффициент выхода годного металла, который колеблется от 48 до 52 %. Для осуществления этой технологии также требуется уникальное пресовое оборудование.

Электрошлаковые печи для отливки труб просты по конструкции и сравнительно недороги. Трубы, получаемые методом ЭШЛ, имеют хорошую поверхность как по внутреннему, так и наружному диаметру и отличаются высоким качеством металла [3].

Возможность применения литого электрошлакового металла без последующей деформации нередко становится одним из определяющих критериев выбора метода ЭШЛ для получения трубных заготовок. В ИЭС им. Е. О. Патона совместно с НИКИЭТ (г. Москва) в результате экспериментально-исследовательских работ была создана технология полу-



Рис. 11. Общий вид длинномерной пустотелой двухфланцевой заготовки ЭШЛ диаметром 600 мм

чения методом ЭШЛ полых трубных заготовок наружным диаметром 320 мм, внутренним диаметром 230 мм и длиной 1600 мм из жаропрочного дисперсионно-твердеющего сплава ХН56МБЮД (ЭК-62). В качестве расходных электродов для ЭШП применяли прутки ВДП диаметром 55 мм, которые переплавляли по технологической схеме, предусматривающей применение короткого подвижного кристаллизатора.

Проведенные исследования [19] подтвердили высокое металлургическое качество литого сплава ХН56МБЮДШ-Л. Содержание кислорода и водорода в нем составляло соответственно 0,0015 и 0,00009 %, серы 0,004 %, фосфора 0,006 %. Содержание основных легирующих элементов после переплава практически не изменилось. Легкоокисляющиеся элементы равномерно распределены по высоте и сечению полой заготовки. Содержание алюминия и титана в металле полой заготовки 1,55... 1,65 и 0,45... 0,5 % соответственно. Наиболее гомогенной структурой с низким содержанием неметаллических включений и равномерным распределением карбонитридов отличается литой сплав после выдержки при 1130 °С. После закалки 1130 °С, 1 ч и старения при 730 °С, 15 ч + 650 °С, 10 ч сплав ХН56МБЮДШ-Л имеет наиболее высокие механические свойства при 20 °С (σ_B 1050 МПа, σ_T 650 МПа, δ_5 25 %, ψ 30 %, KCV 70 Дж/см²). Разрушение образцов вязкое. Полученные для сравнения механические свойства горячекатаных прутков диаметром 55 мм из сплава ХН56МБЮД (ВДП) составляли: σ_B 1000 МПа, σ_T 600 МПа, δ_5 29 %, ψ 32 %, KCV 105 Дж/см², т. е. практически на уровне литого электрошлакового металла полой заготовки. В результате проведенных исследований сплав ХН56МБЮДШ-Л был рекомендован для изготовления литых корпусных изделий, получение кото-



рых методами горячей деформации невозможно [20]. Применительно к производству литосварных сосудов высокого давления в ИЭС им. Е. О. Патона опробовали электронно-лучевую сварку литого сплава ХН56МБЮДШ-Л,* которая подтвердила возможность получения качественных кольцевых швов диаметром 320 мм и толщиной 60 мм (рис. 10).

На основе опыта, накопленного при создании производства литосварных сосудов высокого давления, на ПО «Азовмаш» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона была разработана и реализована технология получения методом ЭШЛ пустотелых заготовок длиной до 4 м, диаметром 600 мм с фланцами диаметром 750 мм. Эти заготовки в поперечном сечении представляют собой фасонный полый разностенный профиль с односторонним выступом на наружной поверхности (рис. 11). После ЭШЛ они не требовали механической обработки наружной поверхности, а припуски на механически обрабатываемые поверхности были минимальными. Исследование качества металла отливок показало, что их механические свойства соответствуют требованиям, предъявляемым к кованому металлу.

Анализ последних достижений в области электрошлаковых технологий в нашей стране и в мировой практике свидетельствует о том, что весьма перспективным в настоящее время является принципиально новое поколение электрошлаковых технологий и оборудования, которые базируются на отказе от расходных электродов и переходе на использование жидкого металла (ЭШТ ЖМ) [21–26]. В результате этого роль электрошлаковых технологий в производстве сосудов высокого давления и толстостенных трубных заготовок существенно расширяется. Имеется в виду, прежде всего, возможность создания непрерывного электрошлакового процесса с жидким металлом. Важнейшим достоинством ЭШТ ЖМ является высокая производительность, а также снижение себестоимости электрошлакового металла.

Таким образом, современная электрошлаковая технология — перспективный, постоянно развивающийся технологический процесс, который может быть эффективно использован в производстве сосудов высокого давления и толстостенных трубных заготовок различного назначения.

1. *Электрошлаковая сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. 2-е изд. — М.: Киев: Машгиз, 1959. — 410 с.
2. *О целесообразности изготовления ответственных сварных конструкций из толстолистового металла, улучшенного методом ЭШП* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко и др. // Рафинирующие переплавы. — Киев: Наук. думка, 1974. — С. 123–138.
3. *Электрошлаковый металл* / Под ред. Б. Е. Патона и Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.
4. *Патон Б. Е., Медовар Б. И., Латаш Ю. В.* Электрошлаковая отливка и перспективы ее применения в литейном производстве // Механические свойства литого металла: Труды восьмого совещания по теории литейных процессов. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 141–146.
5. *А. с. 274796 СССР. МКИ С 21с 5/56.* Способ отливки толстостенных сосудов электрошлаковым переплавом / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Л. Г. Пузрин и др. — Заявл. 17.01.69; Опубл. Б. И. — 1980. — № 32.
6. *Перспективы применения электрошлакового металла для производства литосварных изделий* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, И. И. Кумыш и др. // Автомат. сварка. — 1969. — № 8. — С. 37–40.

7. *Новые возможности электрошлакового фасонного литья* / Б. Е. Патон, В. Ф. Карпов, Б. И. Медовар и др. // Вопросы специальной электрометаллургии: Матер. Междунар. симпозиум, Киев, июнь 1972 г. — Киев, Москва: ВИНТИ, 1973. — С. 39–42.
8. *Эффективность изготовления литосварных сосудов высокого давления с применением технологии электрошлакового литья* / В. И. Алексеенко, Б. И. Медовар, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко // Пути интенсификации и повышения эффективности сварочного производства: Материалы семинара. — М.: МДНТП, О-во «Знание» РСФСР, 1977. — С. 114–119.
9. *Исследование качества литых электрошлаковых заготовок из стали 12Х18Н10Т-Ш, 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. *Электрошлаковая выплавка заготовок сосудов высокого давления из аустенитной стали* / Б. И. Медовар, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко и др. // Там же. — 1981. — Вып. 15. — С. 13–16.
11. *Специализированное оборудование для ЭШЛ крупнотоннажных полых заготовок сосудов высокого давления на ПО «Ждановтяжмаш»* / И. Д. Нагаевский, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко и др. // Электрошлаковая технология / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара и Л. М. Ступака. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 207–212.
12. *Контроль качества литосварных сосудов высокого давления, получаемых методом ЭШЛ* / И. Д. Нагаевский, В. Я. Саенко, П. С. Нефедов, А. Д. Чепурной // Там же. — С. 183–187.
13. *Глуцкий Л. Я., Житков В. В., Мизецкий В. Л.* Опыт изготовления заготовок сосудов высокого давления из сталей переходного класса методом электрошлакового литья // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1988. — № 3. — С. 15–19.
14. *Патон Б. Е., Медовар Л. Б., Бойко Г. А.* Электрошлаковая технология. — Киев: О-во «Знание» УССР, 1976. — 96 с.
15. *А. с. 339088 СССР. МКИ С21с 5/56.* Устройство для электрошлаковой выплавки патрубков, штуцеров и бобышек на корпусе металлических сосудов / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Л. Г. Пузрин и др. — Заявл. 02.12.68; Опубл. Б. И. — 1980. — № 32.
16. *Электрошлаковая технология в машиностроении* / Б. И. Медовар, В. Я. Саенко, И. Д. Нагаевский, А. Д. Чепурной / Под общ. ред. Б. Е. Патона. — Киев: Техника, 1984. — 215 с.
17. *Электрошлаковая отливка труб* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. М. Ваглай и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1977. — Вып. 7. — С. 3–9.
18. *Антоценков Ю. М.* Ковка полых заготовок // Сталь. — 2002. — № 9. — С. 72–74.
19. *Получение полых заготовок из висконикелевого сплава методом ЭШЛ* / В. А. Тихонов, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1990. — № 2. — С. 39–42.
20. *Бащин Ю. А., Коростелев А. Б.* Выбор режима закалки сплава ХН56МБЮД электрошлакового переплава // МнТОМ. — 1993. — № 3. — С. 19–22.
21. *Медовар Б. И., Медовар Л. Б., Саенко В. Я.* Развитие электрошлакового процесса в специальной металлургии // Автомат. сварка. — 1999. — № 9. — С. 7–12.
22. *New electroslog remelting technologies* / L. B. Medovar, A. K. Tsykulenko, V. Ya. Saenko et. al // Proceedings of International Symposium on ESR technology and equipment. 15–17 May, 2001 Kyiv, Ukraine, MMS-2001. — P. 49–60.
23. *Чепурной А. Д.* Перспективы применения электрошлаковой технологии в производстве ответственных изделий машиностроения // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2001. — № 4. — С. 11–16.
24. *Патон Б. Е., Медовар Л. Б., Саенко В. Я.* Повышение эффективности металла ЭШП // Там же. — 2002. — № 3. — С. 3–9.
25. *Патон Б. Е., Медовар Л. Б., Саенко В. Я.* Новые возможности электрошлаковых технологий в машиностроении // Металлургия машиностроения. — 2003. — № 1. — С. 2–5.
26. *Патон Б. Е., Медовар Л. Б.* Новые электрошлаковые технологии и материалы // Автомат. сварка. — 2003. — № 11–12. — С. 188–193.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
 ОАО «Марнопольский завод тяжелого машиностроения»
 Поступила 08.01.2004

* Работа проводилась под руководством чл.-кор. НАН Украины О. К. Назаренко