



УДК 669.117.56

## ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК КОРПУСОВ ФЛАНЦЕВЫХ ЗАДВИЖЕК С ПРИПЛАВЛЕНИЕМ ПАТРУБКОВ

М. А. Полещук, Л. Г. Пузрин, В. Л. Шевцов, А. И. Бородин

Разработан технологический процесс производства заготовок корпусов задвижек способом электрошлакового литья с приплавлением заранее изготовленных патрубков с фланцами. Такие задвижки широко используются при добыче нефти и газа фонтанным способом под давлением до 70 МПа. Новый технологический процесс обеспечивает получение высококачественных заготовок корпусов задвижек из среднеуглеродистых легированных сталей. Механические свойства металла всех частей заготовок превосходят требования стандарта к поковкам из таких сталей. Освоено серийное производство трех типоразмеров заготовок корпусов с рабочим каналом 50, 65 и 80 мм.

Technological process of production of billets of stop valve bodies using the method of electroslag casting with a melting-on of earlier manufactured pipe branches with flanges has been developed. These s are widely used in production of oil and gas by Christmas-tree method under pressure of up to 70 MPa. The new technological process provides the producing of high-quality billets of stop valve bodies of medium-carbon alloyed steels. Mechanical properties of metal of all parts of billets are superior to those required by standard to forgings of these steels. The serial production of three types and sizes of billets of bodies with a working channel of 50, 65 and 80 mm is implemented.

**Ключевые слова:** корпуса фланцевых задвижек; электрошлаковое литье с приплавлением; качество соединения; механические свойства металла корпусов

Задвижки с фланцами на концах патрубков присоединяют к технологическому оборудованию и трубопроводам с помощью резьбовых шпилек. Такой тип задвижек необходим для их установки и демонтажа на оборудовании без огневой резки и сварки. Особенно это важно при добыче нефти и газа, которые при воспламенении могут приводить к экологической катастрофе. Фланцевые задвижки являются основными элементами фонтанной арматуры, устанавливаемой на устье каждой скважины для добычи нефти и газа фонтанным способом. Месторождения нефти и газа, осваиваемые в Украине в настоящее время, находятся на большой глубине. При этом давление добываемого продукта на устье скважины может достигать 70 МПа и более [1].

Фланцевые задвижки, работающие при таком высоком давлении, должны быть абсолютно надежны. Поэтому заготовки корпусов указанных задвижек (рис. 1) изготавливают из стали не обычным литьем, а при помощиковки или штамповки. Деформированный металл отличается от литого более высокими значениями плотности, прочности, пластичности и вязкости. Вместе с тем переход на производство корпусов задвижек способомковки значительно удорожает их изготовление из-за необходи-

мости применения дорогостоящих оборудования и оснастки, а также значительного увеличения объема последующей механической обработки [2].

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины в качестве альтернативы ковке разработал технологию электрошлакового литья (ЭШЛ) заготовок корпусов задвижек с фланцами на концах патрубков. При изготовлении способом ЭШЛ изделий с такой сложной конфигурацией наружной поверхности ось корпуса, проходящую через фланцы,

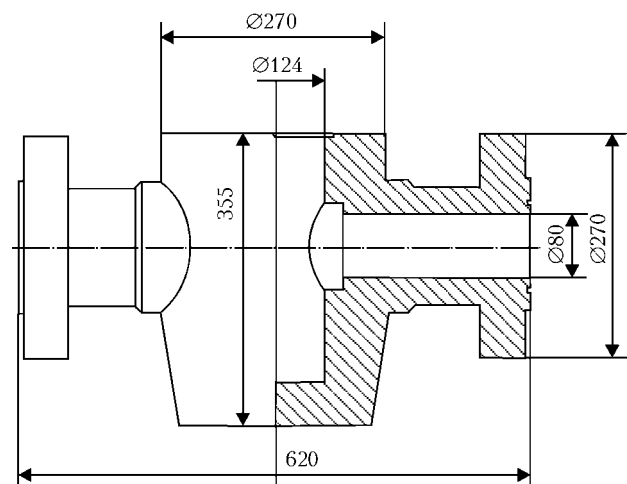


Рис. 1. Корпус фланцевой задвижки для работы при давлении 70 МПа

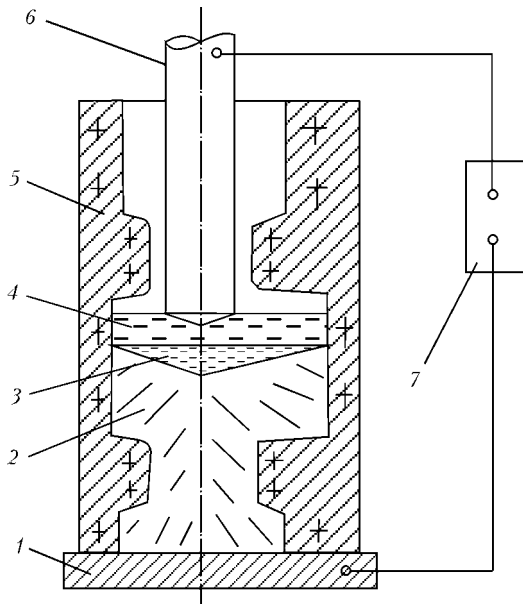


Рис. 2. Схема ЭШЛ заготовок корпусов задвижек с фланцами на концах патрубков: 1 — поддон; 2 — выплавляемая заготовка; 3 — металлическая ванна; 4 — шлаковая ванна; 5 — кристаллизатор; 6 — расходный электрод; 7 — источник питания

располагали при плавке вертикально (рис. 2). При таком способе ЭШЛ в составном кристаллизаторе последовательно формируют нижний фланец, патрубок и центральную часть корпуса, а затем верхние патрубок и фланец. На опытном заводе института освоили промышленный выпуск заготовок корпусов фланцевых задвижек из сталей 38ХМ и 40ХН2МА с диаметром проходного канала 80 и 50 мм [3, 4].

Исследование качества электрошлаковых корпусов фланцевых задвижек показало, что значения механических свойств их литого металла превосходят требуемые стандартами к обычному деформированному металлу. Кроме того, литые электрошлаковые корпуса имеют значительно более низкую анизотропию механических свойств, чем корпуса фланцевых задвижек из ковального металла. Благодаря высоким значениям пластических свойств литые электрошлаковые корпуса лучше противостоят хрупкому разрушению и отличаются более высокой надежностью при работе [4, 5].

Однако, как показал опыт, использование этого способа при серийном производстве заготовок корпусов фланцевых задвижек вызывает ряд трудностей. Во-первых, в связи с резким изменением по ходу плавки площади поперечного сечения плавильного пространства необходимо соответствующим образом регулировать электрический режим процесса. Поэтому качественную выплавку таких заготовок могут осуществлять только плавильщики самой высокой квалификации. Во-вторых, несимметричная конструкция отдельных частей составного кристаллизатора способствует появлению в них тепловых остаточных деформаций, увеличивающихся от плавки к плавке. Из-за нарастающей деформации требуется проведение текущих ремонтов медного кристаллизатора через каждые 10... 15 плавок, а полный срок его службы не превышает

50... 70 плавок. В результате в современных условиях стоимость изготовления заготовок корпусов значительно возрастает.

Данные обстоятельства способствовали разработке новой технологии изготовления заготовок корпусов фланцевых задвижек, предусматривающей приплавление заранее изготовленных патрубков с фланцами к центральной части заготовки корпуса задвижки при ее электрошлаковой отливке. Выплавка только центральной части заготовки значительно проще, чем ЭШЛ заготовки корпуса задвижки в целом. Схема этого процесса приведена на рис. 3.

Процесс ЭШЛ с приплавлением, объединяющий возможности ЭШЛ и электрошлаковой сварки (ЭШС), разработан ранее в Институте электросварки им. Е. О. Патона для изготовления заготовок сложной формы. В промышленности указанным способом освоены производство кривошипов коленчатых валов мощных судовых дизелей [6–8], выплавка патрубков на толстостенных сосудах парогенераторов и сепараторов пара энергоблоков атомных электростанций [9, 10] и некоторых других изделий [11].

Упомянутые изделия изготовляли в основном из хорошо сваривающихся низкоуглеродистых сталей марок 20, 20Г и 22К. В то же время корпуса фланцевых задвижек, работающие при высоком давлении, требуют применения легированных среднеуглеродистых сталей, таких как 38ХМ, 40Х, 40ХН2МА. Эти стали отличаются более высокой прочностью, но из-за возможного образования трещин в шве и околошовной зоне являются трудносвариваемыми при дуговом способе.

Подобные марки стали соединяют способом ЭШС. Это оказывается возможным благодаря растянутому во времени термическому циклу сварки и применению низкоуглеродистой присадочной проволоки. Например, станины прокатных станов из среднеуглеродистой стали 35Л, а также цилиндры гидропресса из легированной стали 35НМ сваривают низкоуглеродистой проволокой одной и той же марки Св-10Г2 [12]. Эти изделия допускают выполнение при ЭШС менее прочных швов. В то же время корпус и патрубки с фланцами задвижки, работающей при высоком давлении, должны изготавливаться из трудносвариваемой стали, способной обеспечить необходимую прочность изделия. Вследствие малой скорости ЭШЛ термический цикл в приплавляемых деталях еще более растянут во времени, чем при ЭШС. Это обстоятельство позволило получать при ЭШЛ с приплавлением заготовки корпусов фланцевых задвижек сталей повышенной прочности без трещин в зоне соединения.

Экспериментальные работы по созданию технологии ЭШЛ с приплавлением проводили применительно к заготовкам корпусов фланцевых задвижек с рабочим каналом диаметром 80 мм (Ду-80). Задвижки Ду-80 являются основными в большинстве

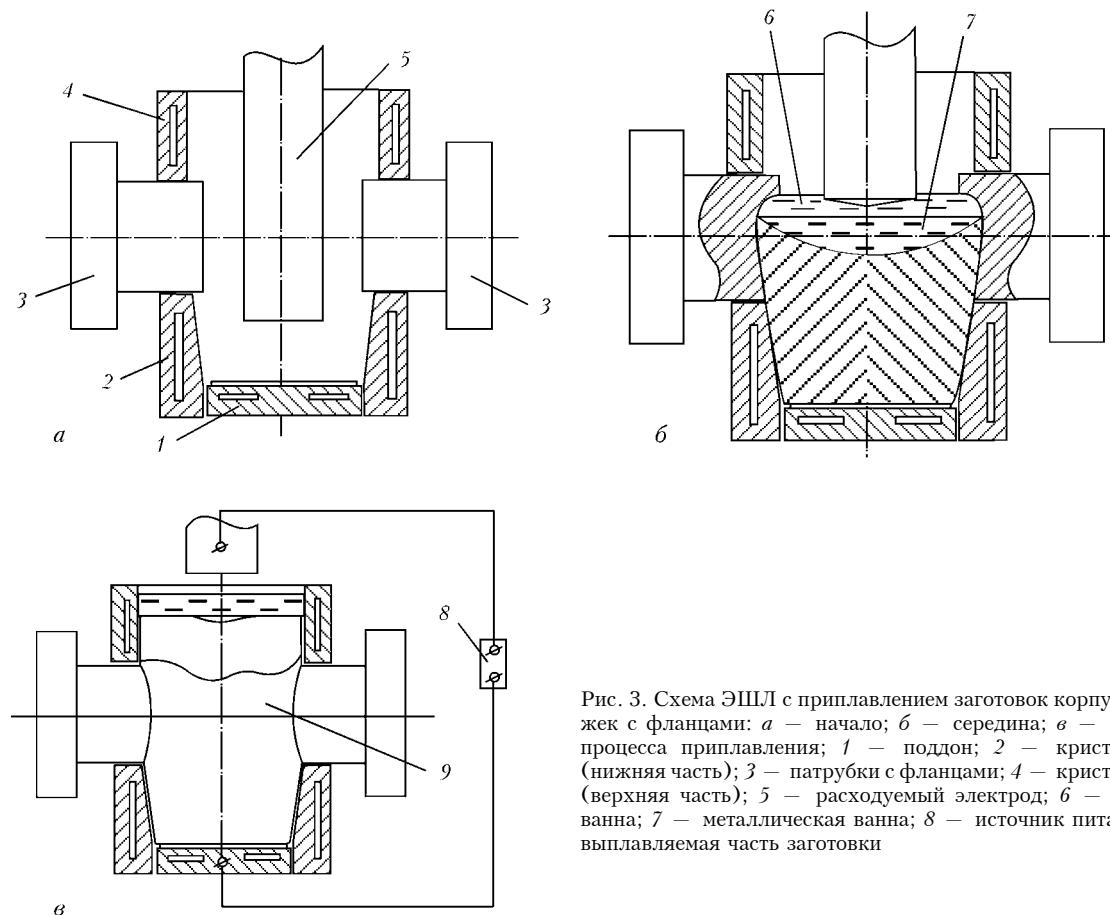


Рис. 3. Схема ЭШЛ с приплавлением заготовок корпусов задвижек с фланцами: *а* – начало; *б* – середина; *в* – окончание процесса приплавления; 1 – поддон; 2 – кристаллизатор (нижняя часть); 3 – патрубки с фланцами; 4 – кристаллизатор (верхняя часть); 5 – расходный электрод; 6 – шлаковая ванна; 7 – металлическая ванна; 8 – источник питания; 9 – выплавляемая часть заготовки

схем фонтанной арматуры. Разработана и изготовлена специальная оснастка, представляющая собой медный кристаллизатор с токоподводящим водоохлаждаемым поддоном, состоящий из двух частей с индивидуальным охлаждением, устанавливаемых друг на друга. Разъем между ними находится в горизонтальной плоскости, проходящей через ось патрубков. Внутренняя полость кристаллизатора соответствует форме наружной поверхности центральной части корпуса. С двух противоположных сторон у разъема в обеих частях кристаллизатора выполнены полукруглые выборки, образующие отверстия для размещения в них заготовок патрубков с фланцами.

В экспериментах для ужесточения условий получения качественного приплавления использовали сталь 40Х, отличающуюся пониженной пластичностью, по сравнению со сталями того же класса, содержащими никель и молибден. Патрубки с фланцами предварительно изготавливали с применениемковки или механической обработки катаной заготовки. Перед началом плавки в отверстия кристаллизатора патрубки устанавливали так, чтобы их торцы выступали в плавильное пространство (рис. 3, *а*).

В кристаллизатор вводили расходный электрод, включали источник питания, наводили шлаковую ванну и начинали процесс плавления металла и формирования заготовки. В ходе ЭШЛ выступающие в плавильное пространство концы патрубков подогревались за счет излучения поверхности шлака. Однако их оплавление начиналось только при

непосредственном контакте с расплавленным шлаком. Расплавленный металл стекал с торцов патрубков, образуя общую металлическую ванну с выплавляемой заготовкой (рис. 3, *б*).

По мере выплавки заготовки уровень расплавленного металла поднимается вверх вдоль торцов патрубков. Из-за интенсивного теплоотвода в стенки кристаллизатора общая металлическая ванна затвердевает, и заготовка сплавляется с патрубками. В дальнейшем при выплавке верхней части корпуса задвижки протекает обычный процесс ЭШЛ. После формирования всей заготовки источник питания отключают и остаток расходного электрода удаляют из кристаллизатора (рис. 3, *в*).

При ЭШЛ с приплавлением заготовки корпуса фланцевой задвижки площадь поперечного сечения кристаллизатора, в котором формируется средняя часть заготовки, мало изменяется по высоте. В таком кристаллизаторе сохраняются условия затвердевания металла, которые характерны для классического электрошлакового переплава. Это обеспечивает получение стабильных служебных свойств заготовки ЭШЛ высокого уровня, не уступающих таковым деформированного металла обычного производства [13, 14]. Поэтому при отработке технологии главное внимание уделяли надежному приплавлению патрубков без трещин и несплавлений, а также формированию по всему периметру соединений равномерных галтелей. Качество зоны приплавления патрубков заготовок корпусов фланце-

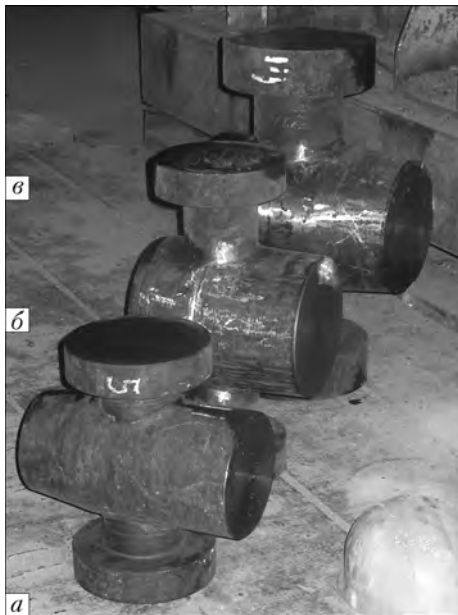


Рис. 4. Внешний вид заготовок корпусов фланцевых задвижек, полученных способом ЭШЛ с приплавлением: а – Ду-65 на давление 35 МПа; б – Ду-50 на давление 70 МПа; в – Ду-80 на давление 70 МПа

вых задвижек определяли методами ультразвукового контроля и цветной дефектоскопии. Для этого заготовки после выплавки подвергали отжигу. Затем механически обрабатывали поверхности, через которые в металл вводили ультразвуковой сигнал, далее зачищали галтели.

В связи с разными условиями подвода и отвода теплоты проплавление нижних и верхних частей торцов патрубков было не одинаковым. Провар в верхней части патрубка существенно больше, чем в нижней. Это обусловлено тем, что в начале процесса приплавления теплота от шлаковой ванны к патрубку передается через поверхность небольшой площади, а сам патрубок еще не прогрет. В конце процесса теплота от шлаковой и металлической ванн и части выплавленной заготовки поступает в патрубок через весь торец, уже достаточно прогретый. Глубина провара зависит от электрического режима процесса

плавления расходуемого электрода, массы патрубков и условий теплоотвода от их боковой поверхности.

При малом проваре в нижней части патрубков и по его бокам могут образовываться несплавления. В таких местах галтель не формируется, а между патрубком и литым металлом может оставаться затвердевший шлак. При большом проваре расплавление верхней части патрубков может распространяться далеко в глубь отверстий в охлаждаемой стенке кристаллизатора и даже выходить за его пределы. В этом случае возможно проплавление боковой поверхности патрубка и вытекание расплавленного металла.

Разработанная технология ЭШЛ фланцевых задвижек позволила полностью исключить опасность появления указанных выше дефектов, а также трещин в зоне соединения благодаря тщательной обработке технологического режима процесса, обеспечивающего оптимальную глубину провара патрубка.

Внешний вид трех типоразмеров заготовок корпусов задвижек, полученных ЭШЛ с приплавлением, приведен на рис. 4.

Исследование качества металла заготовок корпусов задвижек в зоне приплавления после закалки с отпуском проводили на вертикальных темплетях, вырезанных вдоль продольной оси патрубков. При визуальном контроле темплетов после их травления для выявления макроструктуры четко прослеживается линия сплавления и прилегающие к ней области с различным типом кристаллов. На линии сплавления отсутствуют непровары, трещины и другие дефекты. Из этих темплетов изготовляли образцы для определения механических свойств металла в зоне соединения, металла патрубка и литого металла (вдоль и поперек оси отливки). Результаты механических испытаний приведены в таблице.

Как видно из таблицы, значения механических свойств металла всех частей заготовки задвижки, полученной способом ЭШЛ с приплавлением, превышают требуемые стандартом на поковки из стали 40Х. Особенно более высокими являются пластич-

Механические свойства металла заготовки корпуса задвижки Ду-80 из стали 40Х					
Место (направление) вырезки образцов	$s_r$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$KCU$ , Дж/см <sup>2</sup>
Металл патрубка	550,1...567,2	725,5...738,2	20,0...20,7	56,0...57,6	86,1...107,7
	558,6	731,8	20,3	56,8	96,9
Линия сплавления	542,5...544,7	712,0...717,6	18,3...22,7	68,2...69,9	152,2...158,0
	543,6	714,8	20,5	69,0	155,1
Литой металл (поперечное)	581,8...615,2	759,8...777,7	16,3...20,3	39,4...51,2	84,9...85,9
	598,5	768,7	18,3	45,3	85,4
Литой металл (продольное)	573,1...581,4	743,1...743,8	19,3...21,7	51,2...57,3	101,7...111,0
	577,2	743,4	20,5	54,5	106,3
Поковки (стандарт)	≥490	≥655	≥13	≥35	≥44

Примечания: 1. В числителе указан разбег значений, в знаменателе – средние.  
2. Надрез на образцах выполняли по линии сплавления.



Рис. 5. Внешний вид задвижек Ду-80 на давление до 70 МПа

ность и вязкость, а также ударная вязкость металла по линии сплавления.

С учетом положительных результатов исследований, проведенных в Институте электросварки им. Е. О. Патона, создан технологический процесс изготовления заготовок корпусов фланцевых задвижек высокого давления способом ЭШЛ с приплавлением. Инновационная фирма «ИФ Элтерм» разработала и изготовила оснастку для ЭШЛ заготовок корпусов массой от 150 до 300 кг и освоила производство фланцевых задвижек, используемых при добыче нефти и газа (рис. 5). Способ ЭШЛ с приплавлением, по сравнению с освоенной ранее электрошлаковой отливкой всего корпуса, резко снижает энергозатраты и повышает производительность процесса вследствие уменьшения массы переплавляемого металла. При новом способе используют кристаллизаторы более простой формы и мень-

ших размеров, срок службы которых превышает 500 плавов. Все это намного уменьшает стоимость выплавляемых заготовок и увеличивает их конкурентоспособность, что особенно важно в современных экономических условиях.

1. Вайсберг Г. Л., Римчук Д. В. Фонтанна безпека. Запитування. Відповіді. — Харків, 2002. — 474 с.
2. Стальные поковки вместо стального литья: Рекламный проспект фирмы «Самегон» (Выставка «Нефтегаз-90»). — М., 1990. — 12 с.
3. Электрошлаковое литье заготовок корпусов фонтанной арматуры высокого давления / В. Л. Шевцов, В. Я. Майданник, М. Л. Жадкевич и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1998. — № 4. — С. 3–12.
4. Электрошлаковое литье заготовок корпусов задвижек высокого давления / М. А. Полющук, Л. Г. Пузрин, В. Л. Шевцов и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 1. — С. 12–17.
5. Электрошлаковое литье вместоковки в производстве фонтанной арматуры высокого давления / В. Л. Шевцов, М. Л. Жадкевич, В. Я. Майданник и др. // Там же. — 2003. — № 3. — С. 3–8.
6. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье. Обзор — М.: НИИМАШ, 1974. — 70 с.
7. Опыт применения технологии электрошлакового литья в производственном объединении «Брянский машиностроительный завод» / Л. В. Попов, С. С. Анциферов, Г. А. Бойко и др. // Электрошлаковая технология. — Киев: Наук. думка. — 1983. — С. 118–122.
8. Гончаров И. Т., Егоров С. П. Исследование усталостной прочности кривошипов коленчатых валов судовых дизелей, изготовленных методом электрошлакового литья // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1984. — № 21. — С. 39–41.
9. Новый прогрессивный технологический процесс изготовления патрубков на корпусах оборудования АЭС методом электрошлаковой выплавки / Б. Е. Патон, Л. В. Тупицын, Ю. В. Соболев и др. // Энергомашиностроение. — 1977. — № 1. — С. 27–29.
10. Фойта А., Розкошны К. Опыт электрошлаковой выплавки патрубков компенсатора объема // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1988. — № 1. — С. 37–43.
11. Жадкевич М. Л., Шевцов В. Л., Пузрин Л. Г. Электрошлаковое литье с приплавлением. Обзор // Современ. электрометаллургия. — 2007. — № 3. — С. 12–16.
12. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
13. Электрошлаковый металл / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.
14. Медовар Б. И., Цыкуленко А. К., Дяченко Д. М. Качество электрошлакового металла. — Киев: Наук. думка, 1990. — 312 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
Поступила 06.02.2009