



## ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК КОРПУСОВ ЗАДВИЖЕК, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

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

Рассмотрены различные способы изготовления корпусов задвижек, работающих при высоком давлении. Разработаны технологический процесс и оборудование, освоено серийное производство заготовок корпусов задвижек с фланцами на концах патрубков способом электрошлакового литья. Показано, что литые электрошлаковые корпуса по своим механическим свойствам не уступают кованным.

Different methods of manufacture of bodied of stop valves operating at high pressure are studied. Technological process and equipment were developed, the serial production of stop valve bodies with flanges at the ends of branch pipes using the method of electroslag casting was mastered. It is shown that the cast electroslag bodies are not inferior to forged bodies by their mechanical properties.

**Ключевые слова:** задвижки фланцевые, кованные заготовки корпусов; электрошлаковые литые заготовки корпусов; механические свойства

Запорная и регулирующая арматура (задвижки и вентили) является неотъемлемой частью любых трубопроводов. Без них невозможна выработка энергии на тепловых и атомных электростанциях, а также производство продукции на многих промышленных предприятиях. Задвижки используют при добыче нефти и газа, а также транспортировке их к местам потребления или переработки. Интенсификация процессов промышленного производства, добыча углеводорода с больших глубин приводят к увеличению давления и температуры продуктов, транспортируемых по трубопроводам. Это в свою очередь предъявляет повышенные требования к запорной и регулирующей арматуре.

Важнейшей деталью арматуры является ее корпус. Он наиболее нагружен рабочим давлением, поэтому от его надежности зависит безопасная работа всего оборудования. С этой целью корпуса задвижек и вентилях, работающих при высоком давлении,

изготавливают не из чугуна и цветных металлов, а из сталей (рис. 1).

Для соединения с трубами корпуса задвижек выполняют заодно с патрубками. В трубопроводах высокого давления применяют два типа соединения — болтовое и сварное. Для болтовой патрубки задвижек заканчивают фланцами. Задвижки с фланцами используют в случае, когда в процессе эксплуатации требуется их быстрая замена без применения огневых работ (резки и сварки). Такие задвижки используют при добыче нефти и газа в составе фонтанной арматуры и для ее присоединения к промышленным трубопроводам.

Корпуса задвижек имеют сложную форму с резким изменением толщины стенок. Как правило, их изготавливают способом обычного литья. Однако в условиях эксплуатации при высоком давлении металл литых корпусов не обеспечивает необходимых значений прочности и пластичности. Деформированный металл, в отличие от литого, характеризуется более высокими показателями этих свойств. Поэтому для работы при давлении 35 МПа и выше

корпуса задвижек изготавливают из поковок, а заготовки корпусов с фланцами — в закрытых штампах [1]. Такая штамповка представляет собой сложную многоступенчатую технологию, позволяющую получать заготовки, форма наружной поверхности которых близка к таковой у готовой детали. Свойства металла штампованных и литых заготовок корпусов задвижек приведены в табл. 1. Однако наряду с хорошим качеством кованные или штампованные заготовки корпусов задвижек отличаются высокой ценой.

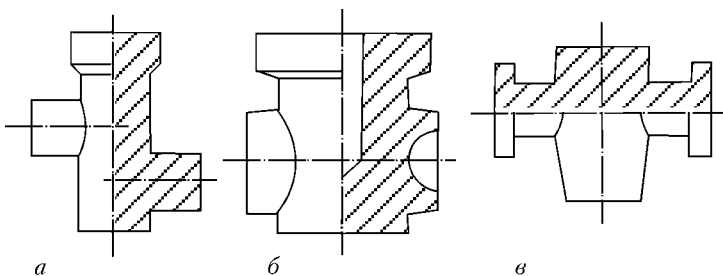


Рис. 1. Заготовки корпусов арматуры, работающих при высоком давлении, с различным типом присоединения к трубопроводам: а — вентиль из стали 15X1M1F; б — задвижка из стали 0X18H10T; в — фланцевая задвижка из стали 38XM



Таблица 1. Механические свойства металла штампованных и литых заготовок корпусов задвижек по данным работы [1]

Тип заготовки	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\gamma$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>
Штампованные 1	483,0	735,0	22,3	48,80	95,6
Штампованные 2	472,5	748,5	18,5	31,10	28,5
Штампованные 3	486,5	756,0	23,0	56,50	131,6
Штампованные 4	486,0	718,5	22,0	47,25	115,3
Литые	376,0	695,0	11,1	17,70	21,1

Примечание. 1-3 — образцы, вырезанные в продольном направлении соответственно из средней части штампованного корпуса задвижки, ее патрубка и фланца; 4 — то же, в поперечном направлении из патрубка.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона использовали другой способ повышения качества корпусов задвижек высокого давления и впервые в мире применили для их производства способ электрошлакового литья (ЭШЛ). В отличие от металлургического процесса электрошлакового переплава, при котором выплавляют передельные слитки простой геометрической формы, при ЭШЛ заготовку отливают в охлаждаемом кристаллизаторе, внутренняя полость которого соответствует наружной форме будущей заготовки [2].

Благодаря интенсивному теплоотводу и постоянной подпитке свежими порциями расплавленного металла в электрошлаковой отливке формируется плотная направленная мелкокристаллическая структура. При ЭШЛ также происходит удаление неметаллических включений, газов и других вредных примесей. Плотность литого электрошлакового металла выше, чем у деформированного. Так, например, у литой электрошлаковой стали 34ХМ плотность на 0,5% выше, чем у деформированной обычной выплавки [3].

В ходе исследования электрошлакового металла в литом состоянии установлено, что его качество значительно лучше, чем у металла обычного литья, не уступает качеству деформированного металла, а по ряду показателей даже превосходит его. В частности, литой электрошлаковый металл отличается более высокими значениями пластичности и вязкости, что позволяет успешно использовать электрошлаковые отливки вместо поковок [4, 5].

На первом этапе в Институте электросварки им. Е. О. Патона разработали технологию ЭШЛ заготовок корпусов задвижек и клапанов для тепловых и атомных электростанций. Корпуса имели приливы в виде патрубков, которыми приваривались к трубопроводам. Для получения патрубков в боковой поверхности кристаллизатора выполняли специальные водоохлаждаемые ниши. В процессе плавки ниши заполнялись расплавленным металлом, в результате чего патрубки становились единым целым с корпусом.

Способом ЭШЛ изготавливали заготовки корпусов не только сплошного сечения, но и с полужамкнутой полостью [2]. Для этого внутри основного кристаллизатора размещали дополнительный, формирующий полость. Схема электрошлаковой выплавки такой заготовки корпуса задвижки приведена на рис. 2. По этой схеме в промышленном мас-

штабе изготавливают заготовки клапанов, задвижек с проходным каналом диаметром 80, 100, 200 и 300 мм из сталей 15Х1М1Ф и 0Х18Н10Т массой до 2 т [6, 7].

Результаты исследования литых электрошлаковых корпусов клапанов и задвижек показали, что качество их металла значительно превосходит качество металла корпусов, полученных обычным литьем. Электрошлаковые корпуса имеют более плотную и однородную структуру без дефектов ликвационного и усадочного происхождения. Их металл характеризуется повышенными значениями пластичности, вязкости и длительной прочности [8].

Таким образом, использование ЭШЛ дает возможность получать высококачественные корпуса энергетической арматуры без примененияковки. Хорошие механические свойства и отсутствие дефектов в литых электрошлаковых корпусах позволяют гарантировать эксплуатационную надежность энергетической арматуры, в том числе при работе на атомных электростанциях.

В настоящее время фланцевые задвижки высокого давления, используемые для добычи нефти и газа с больших глубин, имеют значительный спрос

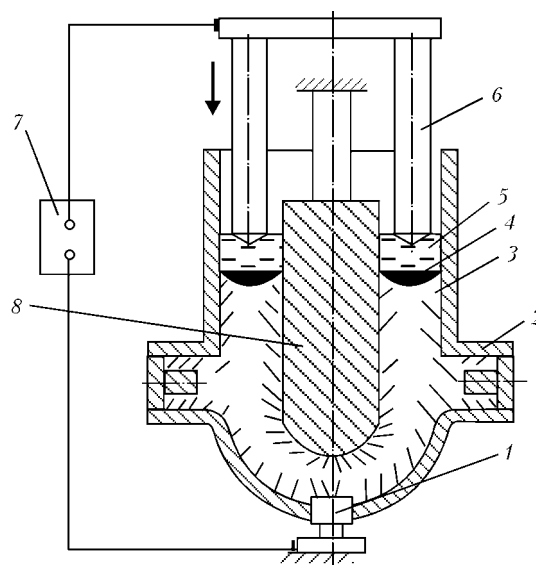


Рис. 2. Схема выплавки полых заготовок корпусов задвижек с патрубками: 1 — поддон; 2 — наружный кристаллизатор; 3 — выплавляемая заготовка; 4 — металлическая ванна; 5 — шлаковая ванна; 6 — расходные электроды; 7 — источник питания; 8 — внутренний кристаллизатор

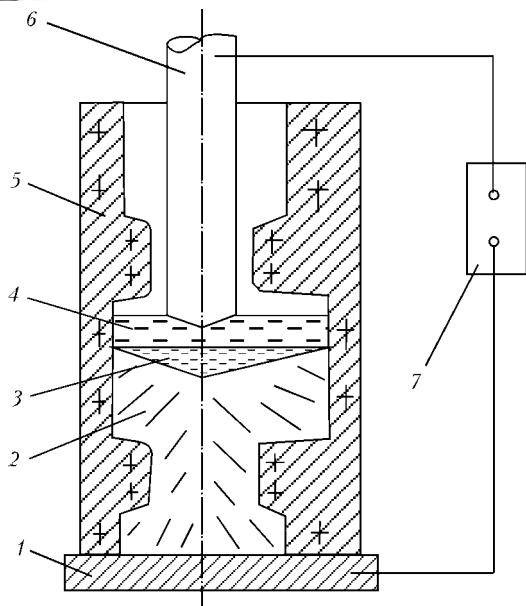


Рис. 3. Схема выплавки заготовок корпусов задвижек с фланцами на концах патрубков: 1 — поддон; 2 — выплавляемая заготовка; 3 — металлическая ванна; 4 — шлаковая ванна; 5 — кристаллизатор; 6 — расходный электрод; 7 — источник питания

[9]. Однако корпуса задвижек данного типа невозможно получать по рассмотренной схеме ЭШЛ, поскольку в процессе плавки не удастся на концах патрубков сформировать фланцы.

Для изготовления заготовок корпусов фланцевых задвижек в Институте электросварки им. Е. О. Патона разработана другая схема ЭШЛ, при которой ось задвижки, проходящей через патрубки, располагают вертикально [10], расходный электрод подается в плавильное пространство фасонного кристаллизатора со стороны будущего верхнего фланца, а нижний фланец формируется в начале плавки непосредственно на поддоне (рис. 3).

В процессе плавки происходит резкое изменение площади поперечного сечения плавильного пространства. Плавление расходного электрода начинается в полости кристаллизатора, формирующей нижний фланец. Затем зона плавления переходит в более узкую полость патрубка и, наконец, в самую широкую, где выплавляется центральная часть корпуса. В дальнейшем изменение площади поперечного сечения плавильного пространства происходит в обратном порядке. Это обстоятельство порождает ряд трудностей.

Во-первых, глубина шлаковой ванны существенно изменяется при переходе из одной полости кристаллизатора в другую. Максимальное ее значение достигается при формировании патрубков, а минимальное — при выплавке центральной части отливки. Это вызывает необходимость соответствующим образом периодически изменять рабочий режим процесса.

Во-вторых, формирование центральной части корпуса происходит при очень малом коэффициенте заполнения кристаллизатора расходным электродом. Процесс перехода зоны плавления расходного электрода из полости патрубка в среднюю

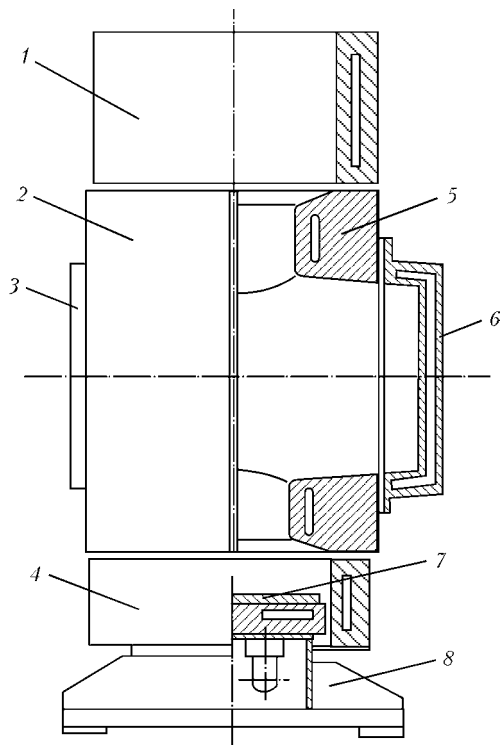


Рис. 4. Схема разборного кристаллизатора для выплавки заготовок корпусов фланцевых задвижек: 1 — обечайка, формирующая верхний фланец и прибыль; 2, 5 — соответственно левая и правая полуформы с вертикальным разъемом; 3, 6 — соответственно левая и правая крышки к полуформам; 4 — обечайка, формирующая нижний фланец; 7 — заправка; 8 — поддон

часть аналогичен процессу заполнения расплавленным металлом и шлаком охлаждаемых ниш на боковой поверхности кристаллизатора [11]. В начале процесса заполнения в такие ниши расплав поступает порциями, которые застывают друг над другом отдельными слоями. На определенном расстоянии от края ниши, зависящем от коэффициента заполнения и выделяемой в шлаке мощности, слои металла перестают сплавляться. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе режима ЭШЛ отливки требуемого размера.

В третьих, отливка с фланцами на концах патрубков в процессе охлаждения может свободно усаживаться только в поперечном направлении. Усадке в продольном направлении препятствует жесткий кристаллизатор. Это приводит к возникновению в отливке растягивающих напряжений. Кроме того, происходит зажатие кристаллизатора, что затрудняет последующее разделение отливки и уменьшает срок его службы. Для предотвращения этого явления потребовалось создание кристаллизатора специальной конструкции, позволяющей устранить зажатие.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона успешно преодолели указанные трудности и разработали технологический процесс выплавки заготовок задвижек с фланцами по схеме, приведенной на рис. 3. Для ЭШЛ разработали разборный кристаллизатор, отличающийся податливостью в вертикальном направлении. Его схема представлена на рис. 4.

Кристаллизатор состоит из двух полуформ, имеющих вертикальный разъем. С боков полости в по-



Рис. 5. Внешний вид заготовок корпусов фланцевых задвижек Ду-80 ЭШЛ, подготовленных к ультразвуковому контролю

луфORMах закрываются фасонными крышками. Снизу и сверху к полуформам пристыковываются две охлаждаемые обечайки разной высоты. В нижнюю обечайку вставляют поддон с токоподводом. Указанные элементы в собранном виде образуют составной кристаллизатор.

Такой разборный кристаллизатор состоит из семи отдельных охлаждаемых элементов. Во время плавки зазоры в горизонтальных разъемах обеспечивают необходимую податливость кристаллизатора, что уменьшает напряжения в отливке, возникающие при ее тепловой усадке.

В процессе ЭШЛ центральная часть корпуса задвижки вместе с патрубками отливается в плавильном пространстве, образованном полуформами с крышками. Фланцы на концах патрубков формируются в верхней и нижней обечайках. В ходе ЭШЛ заготовок таких корпусов верхний фланец выплавляют большей толщины, поскольку в прибыль над ним выводят усадочную раковину.

Во время создания технологии ЭШЛ заготовок корпусов задвижек с фланцами основное внимание уделяли поиску решений, позволяющих в ходе всего процесса поддерживать надежный электрический контакт между отливкой и нижним токоподводом.

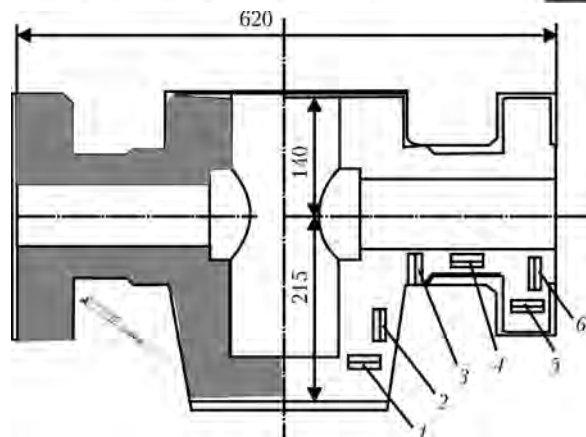


Рис. 6. Макроструктура (ЭШЛ) корпуса фланцевой задвижки и схема вырезки образцов для оценки анизотропии ее механических свойств; 1-6 — номера образцов (см. табл. 2)

Кроме того, определяли массу флюса, используемого для переплава, а также осуществляли выбор электрических режимов плавления расходуемого электрода в каждой зоне плавильного пространства, отличающейся размерами. В начальный период в качестве расходуемого электрода использовали прокат стали марки 40ХН2МА, а в дальнейшем применяли менее легированный и более дешевый прокат стали марки 38ХМ. В результате проведенных работ определили оптимальные режимы электрошлакового процесса, позволяющие получать заготовки с качественной наружной поверхностью без гофра и пережимов. Эти заготовки показаны на рис. 5.

Для исследования качества металла литые заготовки из стали 40ХН2МА разрезали на темплеты, затем из них изготавливали образцы для испытаний. Поскольку отдельные элементы корпуса задвижки (фланцы, патрубки и центральная часть) формируются при различных значениях выделяемой в шлаке мощности и в разных условиях теплоотвода, то нами были определены механические свойства металла каждого такого элемента и проведена оценка их ани-

Таблица 2. Механические свойства металла заготовки корпуса задвижки Ду-80 из стали 40ХН2МА, полученного способом ЭШЛ

№ образца	Место и направление вырезки образцов	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\gamma$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>
1	Центральная часть, продольные	659,0...672,9	801,3...806,5	18,7...20,0	46,2...59,9	116,0...124,0
		666,0	803,9	19,4	53,1	120,0
2	Центральная часть, поперечные	659,0...669,2	796,3...804,7	19,1...21,0	45,2...48,6	104,0...106,6
		664,1	800,5	19,6	46,9	105,3
3	Патрубок, продольные	586,9...654,7	706,6...741,2	12,5...13,9	35,5...37,7	109,7...129,9
		620,8	723,9	13,2	36,6	119,8
4	Патрубок, поперечные	686,8...686,8	822,1...825,5	15,3...19,3	46,2...57,8	149,1...155,6
		686,8	823,8	17,3	52,0	152,4
5	Фланец, продольные	572,5...579,9	691,2...695,6	12,1...13,3	35,2...37,8	71,0...96,8
		576,2	693,4	12,7	36,5	83,9
6	Фланец, поперечные	610,3...624,5	717,2...722,6	14,0...15,2	41,6...42,2	116,0...131,6
		617,4	719,9	14,6	41,9	123,8
	Стандарт на КП 540	≥540	≥685	≥12	≥35	≥44

Примечание. В числителе указан разбег значений, в знаменателе — средние.



**Таблица 3. Коэффициент анизотропии механических свойств металла заготовок корпусов фланцевых задвижек**

Способ изготовления	Средняя часть	Патрубок	Фланец
ЭШЛ	1,14	1,35	1,31
Штамповка*	–	3,22	–

\* Согласно данным табл. 1.

зотропии. Исследования проводили на темплетях, вырезанных в плоскости главных осей заготовок.

В процессе изучения макроструктуры темплетов установлено, что металл ЭШЛ плотен и однороден. В нем отсутствуют дефекты усадочного и ликвационного происхождения. Образцы для проведения механических испытаний вырезали в двух взаимно перпендикулярных направлениях из различных участков заготовки, которые после механической обработки образовывали готовый корпус задвижки. Схема вырезки образцов приведена на рис. 6. Результаты испытаний образцов, полученных из заготовки после закалки с отпуском, представлены в табл. 2. Там же указаны требования стандарта к механическим свойствам металла поковок для категории прочности КП 540.

Как видно из табл. 2, электрошлаковый литой металл 40ХН2МА всех частей корпуса задвижки по основным механическим свойствам не уступает требованиям стандарта к ковальному металлу категории прочности КП540, а по показателям ударной вязкости значительно превосходит их. С учетом данных этой таблицы мы определили коэффициент анизотропии механических свойств металла  $N$  отдельных частей корпуса задвижки, формировавшихся при ЭШЛ в различных условиях. Коэффициент  $N$  рассчитывали по формуле, приведенной в работе [3], результаты расчетов сведены в табл. 3.

$$N = 0,5(\psi_1/\psi_2 + KCU_1/KCU_2),$$

где  $\psi$  и  $KCU$  — показатели соответственно относительного сужения и ударной вязкости металла; индексы 1 и 2 указывают на результаты испытания образцов, вырезанных во взаимно перпендикулярных направлениях.

Из табл. 3 видно, что корпус фланцевой задвижки, изготовленный способом ЭШЛ, имеет относи-

тельно небольшую анизотропию механических свойств металла. Так, коэффициент  $N$  в различных местах корпуса задвижки изменяется от 1,14 в средней части до 1,35 в патрубке. В то же время в патрубке штампованной заготовки корпуса он равен 3,22, т. е. почти в 2,5 раза больше.

Разработанная в Институте электросварки им. Е. О. Патона технология ЭШЛ заготовок корпусов задвижек с фланцами на концах патрубков позволила организовать на опытном заводе института выпуск таких изделий. Для серийного производства изготовили два типа разборных кристаллизаторов, отличающихся размерами: один — для выплавки заготовок корпусов задвижек с проходным каналом диаметром 80 мм, массой 350 кг (Ду-80), другой — диаметром 50 мм, массой 250 кг (Ду-50). Эти задвижки работают при давлении до 70 МПа в основном составе фонтанной арматуры на газоконденсатных месторождениях.

Выплавку заготовок осуществляли на установке УШ-148. После ЭШЛ заготовки помещали в термическую печь и подвергали отжигу при температуре полного аустенитного превращения для снятия внутренних напряжений и получения мелкозернистой структуры металла. Последняя необходима для ультразвукового контроля.

Заготовки изготовляли партиями. Партия корпусов Ду-80 состояла из 3 шт., а Ду-50 — из 4 шт. Ультразвуковому контролю подвергали каждую заготовку. Для этого торцевые поверхности фланцев и корпуса подвергали механической обработке (рис. 5). Механические свойства металла исследовали на образцах-свидетелях, вырезанных из прибыльной части одной заготовки от каждой партии. Статистика сдаточных испытаний приведена в табл. 4.

В табл. 4 сведены результаты сдаточных испытаний механических свойств металла, свидетельствующие о том, что литые электрошлаковые корпусы задвижек с фланцами на концах патрубков по своим механическим свойствам полностью соответствуют требованиям стандартов к стальным поковкам для КП 540. Высокие значения служебных свойств литых электрошлаковых корпусов фланцевых задвижек подтверждает их успешная многолетняя эксплуатация на многих газоконденсатных месторождениях Украины.

**Таблица 4. Механические свойства металла заготовок корпусов задвижек Ду-80 и Ду-50**

Марка стали	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\gamma$ , %	$KCU$ , Дж/см <sup>2</sup>
38ХМ*	567...863	785...955	17,2...22,3	48,7...57,0	82...146
	675	873	19,4	53,8	107
40ХН2МА**	673...924	883...1051	15,7...21,0	46,1...57,8	95...157
	791	984	18,7	51,3	119
Стандарт на КП 540	≥540	≥685	≥12	≥35	≥44

\* Корпус задвижки Ду-50, средние значения определены по результатам испытаний 74 образцов.  
 \*\* Корпус задвижки Ду-80, средние значения определены по результатам испытаний 32 образцов.



1. *Стальные* поковки вместо стального литья: Рекламный проспект фирмы «Самегон» (Выставка «Нефтегаз-90»). — М., 1990. — 12 с.
2. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье. Обзор — М.: НИИМАШ, 1974. — 70 с.
3. *Электрошлаковый* металл // Под. Ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.
4. Медовар Б. И., Цыкуленко А. К., Дяченко Д. М. Качество электрошлакового металла. — Киев: Наук. думка, 1990. — 312 с.
5. *Электрошлаковое* литье вместоковки в производстве фонтанной арматуры высокого давления // В. Л. Шевцов, М. Л. Жадкевич, В. Я. Майданник и др. // Современ. электрометаллургия. — 2003. — № 3. — С. 3-8.
6. *Новые* возможности электрошлакового фасонного литья // Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Г. А. Бойко и др. // Спец. электрометаллургия. — 1972. — С. 126-130.
7. Аликін А. П., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье в химическом машиностроении // Электрошлаковая технология. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 123-128.
8. *Разработка* и внедрение технологии электрошлаковой выплавки корпусов энергетической арматуры // В. И. Рабинович, Л. Д. Замошников, Ю. Н. Кригер и др. // Спец. электрометаллургия. — 1972. — Ч. 1. — С. 173-177.
9. *Фонтанна* арматура на тиск до 70 МПа // В. І. Артемов, В. В. Канаков, Ю. В. Максимов та ін. // Нафтова і газова пром-сть. — 2001. — № 3. — С. 25-28.
10. *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.
11. *Заполнение* шлаком и металлом охлаждаемых кристаллизаторов при электрошлаковом литье изделий сложной формы // В. Л. Шевцов, И. И. Кумыш, Г. С. Маринский и др. // Там же. — 1975. — № 2. — С. 26-31.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
Поступила 12.01.2009

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в работе

**V Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», посвященной 75-летию Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины которая проводится по инициативе Совета научной молодежи Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.**

Конференция состоится 27-29 мая 2009 г. в пгт Ворзель Киевской обл., в конференц-зале санатория «Ворзель» НАН Украины.

В работе конференции могут принять участие молодые ученые (доктора наук, докторанты, кандидаты наук), научные сотрудники, студенты, аспиранты и специалисты.

Конференция будет проходить в режиме пленарных заседаний. Длительность докладов — до 15 мин, сообщений — до 7 мин.

Рабочие языки конференции: украинский, русский, английский.

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

- ♦ Прогрессивные технологии сварки и соединения материалов.
- ♦ Прочность, надежность и долговечность сварных конструкций.
- ♦ Технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхностей.
- ♦ Процессы специальной электрометаллургии.
- ♦ Новые конструкционные и функциональные материалы.
- ♦ Техническая диагностика и неразрушающий контроль.
- ♦ Автоматизация процессов сварки и родственных технологий.
- ♦ Фундаментальные исследования физико-химических процессов (термодинамика, кинетика, микроструктура, фазовые превращения, электронная структура, свойства).
- ♦ Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах.

*По вопросам участия в конференции обращаться в оргкомитет.*

Председатель оргкомитета  
канд. техн. наук Сергей Войнарович  
Тел.: (+38 044) 271-25-60.

*Наш адрес: 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, СНМИ.  
E-mail: vorzel2009@gmail.com.  
http://www.paton.kiev.ua/rus/events/conf2009.html.*