



УДК 669.117.56

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ СОЕДИНЕНИЯ В ЗАГОТОВКАХ КОРПУСОВ ФЛАНЦЕВЫХ ЗАДВИЖЕК ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЭШЛ С ПРИПЛАВЛЕНИЕМ

М. А. Полещук, Т. Г. Соломийчук, Г. М. Григоренко,
В. Л. Шевцов, Л. Г. Пузрин

Определены механические свойства и проведены металлографические исследования металла в области соединения патрубка и литой части заготовки корпуса фланцевых задвижек, изготовленных из стали 40X способом электрошлакового литья с приплавлением. Впервые установлено, что после закалки с отпуском пластические свойства, особенно ударная вязкость металла в высокотемпературной части зоны термического влияния, значительно превосходят таковые литого электрошлакового и приплавляемого катаного металла.

Mechanical properties were determined and metallographic examinations of metal were carried out in the area of joining a branch pipe and cast part of billet of stop valve bodies made of steel 40X by the method of electroslag casting with melting-on. It was found for the first time that after temper hardening the ductile properties, in particular the impact strength of metal in high-temperature part of heat-affected zone, exceed greatly those of cast electroslag and melted-on rolled metal.

Ключевые слова: электрошлаковое литье с приплавлением; сталь 40X; область соединения; механические свойства; микроструктура

Фланцевые задвижки высокого давления служат основой оборудования, используемого для добычи нефти и природного газа с больших глубин. В процессе эксплуатации при высоком рабочем давлении их корпуса испытывают значительные нагрузки. Поэтому для обеспечения надежной работы корпус таких задвижек изготавливают из среднеуглеродистых легированных сталей повышенной прочности, которые одновременно должны иметь высокий уровень пластичности для предотвращения хрупкого разрушения [1].

Наиболее простым и экономически выгодным способом изготовления заготовок корпусов фланцевых задвижек (рис. 1) является электрошлаковое литье с приплавлением (ЭШЛП). Этот способ, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, предусматривает ЭШЛ только центральной части заготовки корпуса задвижки с одновременным приплавлением к ней двух заранее изготовленных патрубков с фланцами [2, 3].

К началу работы по ЭШЛП заготовок корпусов фланцевых задвижек в промышленности этим способом серийно изготавливали заготовки изделий только из низкоуглеродистых сталей 20, 20Г и 22К [4–6]. В то же время на промыслах, где давление добыва-

емых газа и нефти достигает 70 МПа и выше, а содержание примеси CO_2 не превышает 6 %, применяют задвижки, корпуса которых изготовлены преимущественно из сталей 34CrMo4 или 38ХМ. Эти стали относятся к трудносвариваемым, поэтому в ходе создания технологии ЭШЛП заготовок кор-

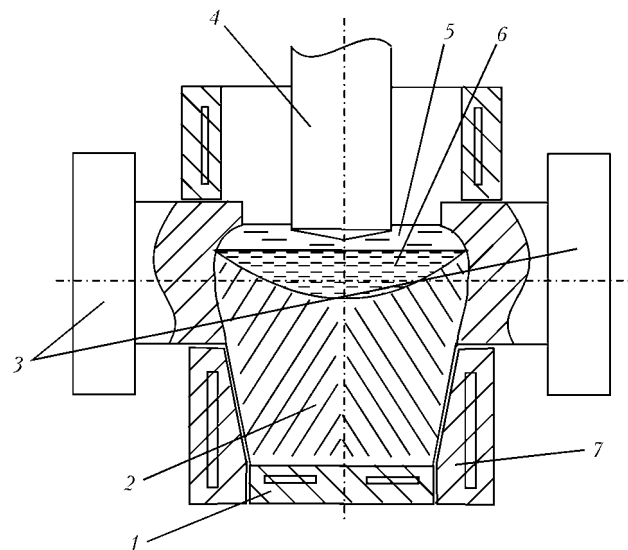


Рис. 1. Схема ЭШЛП заготовки корпуса фланцевой задвижки: 1 – поддон; 2 – литая часть заготовки корпуса; 3 – приплавляемые патрубки; 4 – расходный электрод; 5 – шлаковая ванна; 6 – металлическая ванна; 7 – разборный кристаллизатор

© М. А. ПОЛЕЩУК, Т. Г. СОЛОМИЙЧУК, Г. М. ГРИГОРЕНКО, В. Л. ШЕВЦОВ, Л. Г. ПУЗРИН, 2009

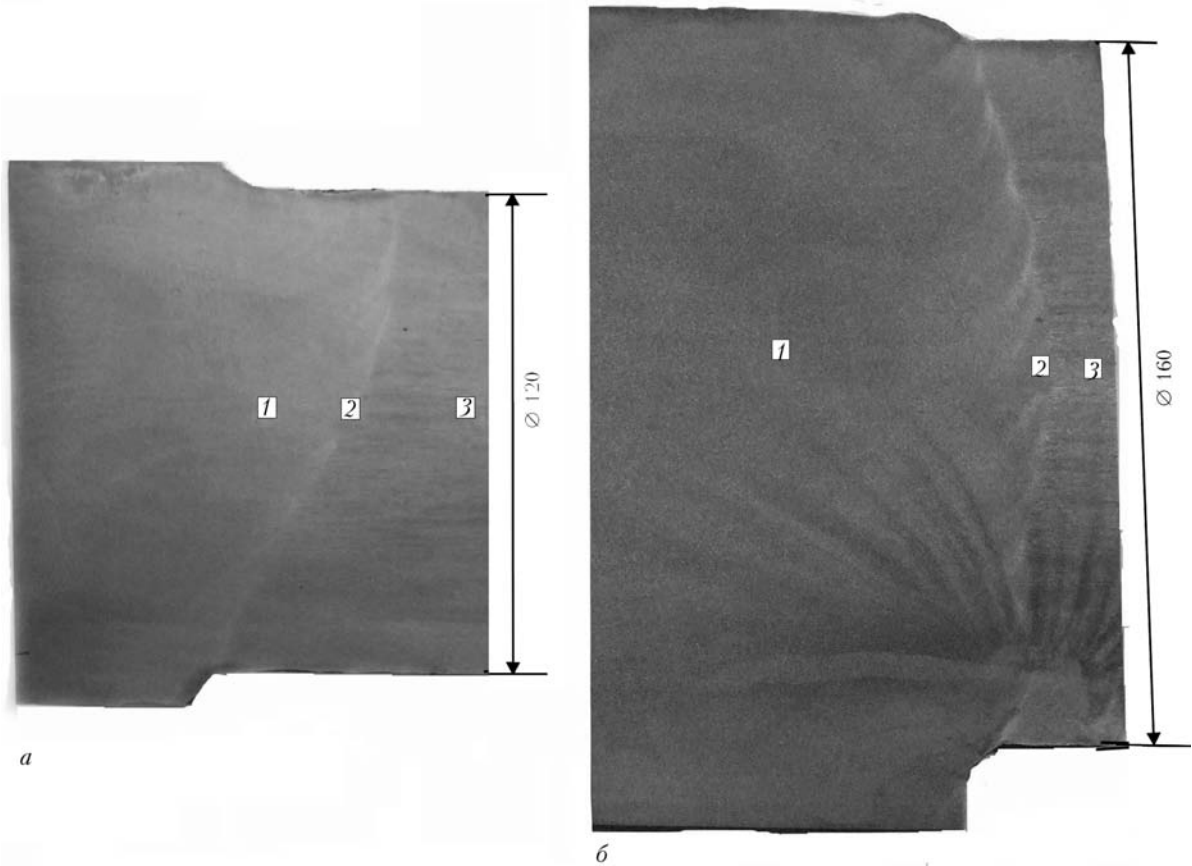


Рис. 2. Макрошлифы зоны соединения патрубка с литым корпусом задвижки Ду50 (а) и Ду80 (б): 1 – литой электрошлаковый металл; 2 – линия сплавления; 3 – зона термического влияния на металле патрубка

пусов фланцевых задвижек основное внимание уделяли получению качественного соединения литой центральной части корпуса с фланцевыми патрубками, изготовленными из проката или поковок.

Способ ЭШЛП, по сути, объединяет в единый технологический процесс ЭШЛ и электрошлаковую сварку (ЭШС). Поскольку ЭШС производят со ско-

ростью, значительно меньшей, чем дуговую сварку, то ее термический цикл более растянут во времени. Это создает благоприятные условия для получения соединений из трудносвариваемых среднеуглеродистых сталей без трещин в околосшовной зоне [7].

Опыт ЭШС такого типа сталей, в том числе марок 30ХГСА, 38ХА и других показал, что сварное

Таблица 1. Механические свойства металла заготовок корпусов задвижек Ду50 и Ду80 из стали 40Х

Тип задвижек	Место вырезки образцов	σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
Ду50	Литой металл	<u>553,3... 587,1</u> 570,2	<u>774,4... 782,0</u> 778,2	<u>17,0... 19,0</u> 18,0	<u>58,2... 59,4</u> 58,8	<u>90,4... 97,0</u> 93,7
	Линия сплавления	<u>528,3... 540,0</u> 534,4	<u>732,5... 744,9</u> 738,7	<u>18,2... 18,8</u> 18,5	<u>64,0... 66,0</u> 65,0	<u>128,4... 132,8*</u> 130,6
	Металл патрубка	<u>564... 583</u> 573	<u>775... 777</u> 776	<u>17,0... 18,7</u> 17,8	<u>46,6... 48,8</u> 47,7	<u>89,9... 103,5</u> 96,7
Ду80	Литой металл	<u>573,1... 581,4</u> 577,2	<u>743,1... 743,8</u> 743,4	<u>19,3... 21,7</u> 20,5	<u>51,2... 57,3</u> 54,5	<u>101,7... 111,0</u> 106,3
	Линия сплавления	<u>542,5... 544,7</u> 543,6	<u>712,0... 717,6</u> 714,8	<u>18,3... 22,7</u> 20,5	<u>68,2... 69,9</u> 69,0	<u>152,2... 158,0*</u> 155,1
	Металл патрубка	<u>550,1... 567,2</u> 558,6	<u>725,5... 738,2</u> 731,8	<u>20,0... 20,7</u> 20,3	<u>50,0... 52,6</u> 51,2	<u>86,1... 107,7</u> 96,9
Требования для давления 70 МПа [1]		≥ 517	≥ 655	≥ 17	≥ 35	≥ 20

Примечания: 1. В числителе указан разбег значений, в знаменателе – средние. 2. Звездочкой помечены образцы, надрез в которых выполнялся по линии сплавления.

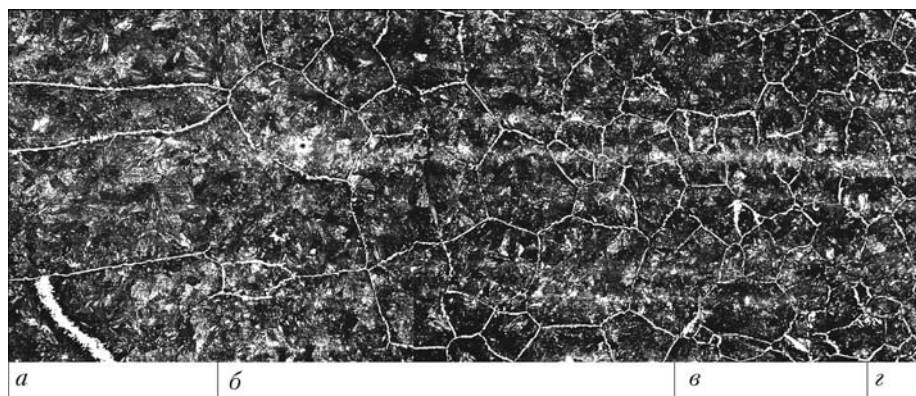


Рис. 3. Микроструктура (X25) зоны соединения после ЭШЛП без термообработки (обозн. см. в тексте)

соединение без трещин в шве с удовлетворительными свойствами можно получить лишь с применением низкоуглеродистых сложнелегированных сварочных проволок [8, 9].

В то же время при ЭШС крупногабаритных заготовок удается получать практически равнопрочное соединение из стали 25ХНЗМФА с использованием присадочного металла той же марки [10, 11] благодаря значительно меньшей скорости сварки таких заготовок и их последующей термической обработке.

С целью проверки возможности получения равнопрочного соединения при ЭШЛП заготовок из среднеуглеродистых легированных сталей проведена серия опытов, в ходе которых выплавляли заготовки корпусов фланцевых задвижек с условным проходом 50 (Ду50) и 80 мм (Ду80), предназначенные для работы при давлении до 70 МПа.

На первом этапе для ужесточения условий получения качественного соединения расходуемый электрод и приплавляемые патрубки изготавливали из стали 40Х, характеризующейся при сварке большей склонностью к образованию трещин, чем стали того же класса с молибденом или никелем.

Качество соединений изучали на вертикальных темплетях, вырезанных из центральной части выплавленных заготовок. Типичные макрошлифы зоны соединения представлены на рис. 2.

При выплавке заготовок корпусов Ду50 глубина провара патрубков непрерывно возрастает, а на заготовках Ду80 он более стабилен. Такое изменение характера провара связано с различием в размере и массе приплавляемых патрубков. Визуальное исследование макрошлифов с десятикратным увеличением не выявило каких-либо дефектов в виде несплавов, трещин и шлаковых включений. На макрошлифах видны зона литого металла, линия сплавления и зона термического влияния.

Оценку механических свойств металла в зоне соединения производили после отжига литой заготовки при температуре 860 °С и последующей закалки в масле темплетов с температуры 860 °С и отпуска при 650 °С. Для испытания на растяжение и ударный изгиб изготавливали отдельно образцы из литого электрошлакового металла, металла патрубка и поперек линии сплавления. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, механические свойства металла всех зон области соединения превышают требования к металлу корпусов, работающих при давлении 70 МПа [1]. Обращает внимание необычно высокая пластичность и вязкость металла в зоне термического влияния. Так, значение ударной вязкости в этой зоне в среднем в 1,5 раза выше, чем в литом электрошлаковом и катаном металле патрубка.

Подобные результаты также получены при ЭШЛП заготовок ступицы из стали 38ХС [12]. В этом случае ударная вязкость металла в зоне термического влияния превышала ее значение в других зонах более чем на 10 %. В то же время при ЭШС такого не обнаружено. Значения ударной вязкости после термической обработки обычно находятся на уровне свойств основного металла и металла шва [9].

Технологические режимы ЭШС отличаются от таковых при ЭШЛП в основном скоростью перемещения шлаковой ванны. Минимальную скорость (примерно 0,35... 0,4 м/ч) применяют при ЭШС крупногабаритных заготовок с площадью свариваемого сечения в несколько квадратных метров [11, 13]. В то же время при ЭШЛП относительно небольших заготовок корпусов фланцевых задвижек скорость выплавки средней части корпуса не превышает 0,25 м/ч, т. е. почти в 1,5 раза ниже. При такой малой скорости термический цикл приплавления патрубков больше растянут во времени, чем при ЭШС.

Скорость нагрева и охлаждения металла вблизи линии сплавления меньше, а время его пребывания при высокой температуре значительно больше. За медленному остыванию заготовки способствует также большее количество теплоты в ее литой части, чем в металле сварного шва при ЭШС. Все это, несомненно, оказывает влияние на образование соответствующих структур металла в области соединения, которые в свою очередь обуславливают его механические свойства.

С целью определения структуры металла в месте соединения патрубка с литым корпусом фланцевой задвижки нами проведено его металлографическое исследование. Изучали структуру в заготовке после литья без последующего нагрева, а также после отжига и закалки с отпуском по температурному режиму, указанному выше.



Таблица 2. Массовая доля элементов в кристаллах литого металла и зоны термического влияния, %

Объект анализа	C	Fe	Cr	Mn	Si
Литое зерно	0,25... 0,75	97,5... 96,5	1,0... 1,1	0,60... 0,67	0,30... 0,35
Зерно зоны термического влияния	0,35... 0,40	97,1... 96,7	1,0... 1,2	0,6	0,4

В зоне соединения при ЭШЛП, как и при ЭШС, зафиксированы участки с различным размером зерна (рис. 3). Наиболее крупное зерно обнаружено у литого электрошлакового металла (рис. 3, а), примыкающего к металлу зоны термического влияния. Последний на границе с литым металлом также имеет крупное зерно (рис. 3, б). Далее располагаются участки металла мелкого зерна (рис. 3, в) и неполной перекристаллизации (рис. 3, г).

Литой электрошлаковый металл состоит из довольно крупных кристаллитов, вытянутых в направлении теплоотода, которые у линии сплавления имеют ширину до 1,2 и длину до 5 мм. Эти кристаллиты характеризуются структурой троостита с отдельными участками пластинчатого перлита. По их границам обнаружены тонкие выделения феррита. Литые кристаллиты вырастают на частично оплавленных крупных зернах металла патрубка. В зоне сплавления микроскопических трещин и других дефектов нет.

Участок крупного зерна зоны термического влияния, примыкающий к линии сплавления, имеет ширину примерно 4 мм. Он состоит из равноосных зерен размером 0,55... 1,2 мм, что соответствует баллам -3 и -2 (ГОСТ 5639-82). По их границам зафиксированы тонкие выделения феррита, а само зерно имеет структуру троостита.

Основным отличием структуры металла в зоне соединения при ЭШЛП стали 40Х от таковой при ЭШС легированных среднеуглеродистых сталей является значительно больший размер зерна в металле высокотемпературного участка зоны термического влияния. Так, при ЭШЛП балл зерна в этом участке составляет -3 и -2 против -1 и 1 при ЭШС [9, 14].

Это происходит из-за большего времени пребывания металла при высокой температуре. Длительное нахождение металла вблизи температуры солидуса способствует гомогенизации металла и может

являться причиной повышения его вязкости после измельчения зерна закалкой с отпуском.

Для проверки этого предположения методом локального микрорентгенспектрального анализа* оценивали химическую неоднородность кристаллов по обе стороны линии сплавления, т. е. в литом электрошлаковом металле и в примыкающем к нему участке крупного зерна зоны термического влияния. Результаты этой оценки приведены в табл. 2.

Как следует из полученных данных, в крупном зерне металла зоны термического влияния практически полностью отсутствует химическая неоднородность по всем легирующим элементам, в том числе и по углероду. В то же время в кристаллитах литого электрошлакового металла обнаружена неоднородность по этому элементу.

Структура металла в области соединения после указанной термической обработки стала значительно мельче, по сравнению со структурой после литья (рис. 4). Металл во всех участках зоны соединения имеет мелкодисперсную однородную структуру отпущенного сорбита с размером зерна, соответствующим 11-13 баллу. В литом и основном металле металлографически зафиксирована химическая неоднородность, в то же время в зоне термического влияния находится более светлая химически однородная структура. Она располагается на участке, в котором до термообработки было крупное зерно с равномерным в результате гомогенизации распределением углерода.

В этой зоне зафиксирована пониженная твердость, по сравнению с литым и основным металлом. После термической обработки твердость металла светлого участка составляет HV1 1860... 1880 МПа. В то же время твердость литого металла равняется HV1 1900... 2180, а основного — HV1 1203... 1224 МПа.

Анализируя приведенные выше результаты металлографических исследований, можно сделать предположение относительно причины повышения

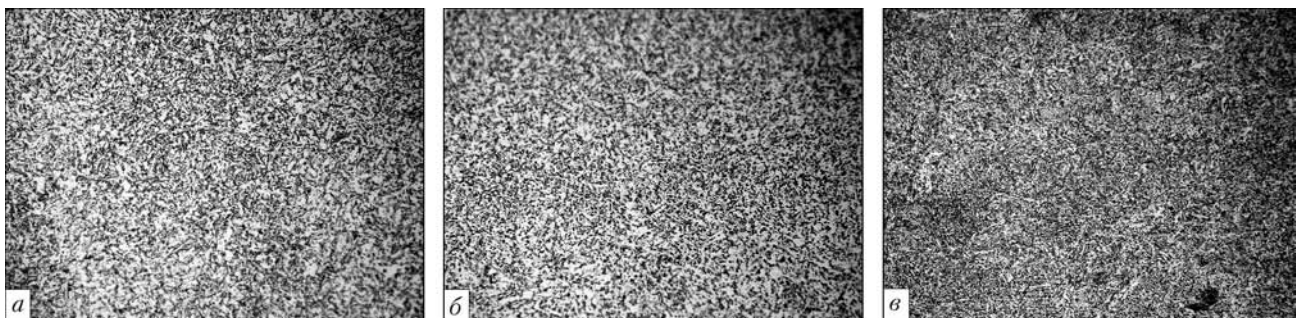


Рис. 4. Микроструктура (X500) металла зоны соединения после отжига и закалки с отпуском: а — литой электрошлаковый металл; б — зона термического влияния; в — металл патрубка

*Анализ выполнял канд. техн. наук Г. Н. Горданы.



пластичности и вязкости металла в высокотемпературном участке зоны термического влияния, прилегающем к линии сплавления.

В крупном зерне этой зоны равномерно распределен углерод (табл. 2), поэтому при закалке происходит выделение карбидов во всем объеме металла и образуется зерно 11–12 баллов.

При последующем высоком отпуске равномерно распределенные мелкодисперсные карбиды коагулируют. Происходит растворение более мелких и рост более крупных частиц карбидов, а ферритная матрица обедняется углеродом. Это приводит к понижению твердости, росту пластичности и вязкости металла [15]. Вероятно, этот процесс более полно протекает в зоне с равномерным исходным распределением углерода.

В результате проведенной работы определено, что ЭШЛП с последующей закалкой и отпуском позволяет получать высококачественные изделия из легированных среднеуглеродистых сталей. При этом впервые установлено, что благодаря растянутому во времени термическому циклу процесса в высокотемпературной части зоны термического влияния пластичность и вязкость металла значительно превышает таковые у литого электрошлакового и приплавляемого деформированного металла.

1. Спецификация на устьевое и фонтанное оборудование 6А АРІ. 17-е изд. — Введ. 01.02.96.
2. Электрошлаковое литье заготовок корпусов фланцевых задвижек с приплавлением патрубков // М. А. Полецук, Л. Г. Пузрин, В. Л. Шевцов и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 2. — С. 13–17.
3. Полецук М. А., Пузрин Л. Г., Шевцов В. Л. Электрошлаковое литье — самый прогрессивный способ производства корпусов арматуры высокого давления // Арматуростроение. — 2009. — № 4. — С. 49–54.

4. Аликин А. П., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье в химическом машиностроении // Электрошлаковая технология: Сб. научн. тр. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 123–128.
5. Электрошлаковое литье в производстве коленчатых валов крупных судовых дизелей // Б. И. Медовар, Г. А. Бойко, Л. В. Попов и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1979. — № 10. — С. 37–41.
6. 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.
7. Макара А. М., Готальский Ю. Н. Исследование температурного цикла околшовоной зоны при электрошлаковой сварке в связи с задачей сварки закаливающихся сталей // Автомат. сварка. — 1955. — № 5. — С. 3–9.
8. Слуцкая Т. М., Искра А. С. Получение высокопрочного стыкового шва при сварке сталей 30ХГСА и 38ХА // Там же. — 1954. — № 5. — С. 58–65.
9. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
10. Исследование свойств сварной заготовки ротора диаметром 1500 мм / В. П. Андреев, В. В. Косян, А. Н. Севрук и др. // Рафинирующие переплавы. — 1975. — Вып. 2. — С. 87–95.
11. Сварка массивных подштамповых плит из стали 25ХНЗМФ / М. Б. Рошин, А. С. Гельман, И. А. Борисов и др. // Свароч. пр-во. — 1975. — № 7. — С. 14–17.
12. Цыгуров Л. Г., Ковалев В. Г., Бойко Г. А. Технологические схемы ЭШЛ заготовок деталей типа ступица // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1991. — № 1. — С. 11–15.
13. Исследование качества электрошлаковых сварных соединений роторов диаметром 1500 мм из стали 25ХНЗМФ электрошлаковой и электропечной выплавки // Б. И. Медовар, В. П. Андреев, В. В. Косян и др. // Рафинирующие переплавы. — Киев: Наук. думка, 1974. — Вып. 1. — С. 109–118.
14. Грабин В. Ф., Денисенко А. В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 272.
15. Лахтин Ю. М., Леонтьева Ю. П. Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1990. — С. 528.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Поступила в редакцию 13.10.2009

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ

ПАТОН ЭКСПО 2010



ПАТОН ЭКСПО
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ

ОРГАНИЗАТОР:
ООО «Центр трансфера технологий
«Институт электросварки
им. Е. О. Патона»

т./ф. +380 44 200-80-89(91)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
«ИЭС им. Е.О. Патона»



Сварка.
Родственные
технологии



**Трубопроводный
транспорт**



**Неразрушающий
контроль**

www.paton-expo.kiev.ua

ПРИ СОДЕЙСТВИИ:



Национальная акционерная компания «Нафтогаз Украины»



Общество сварщиков Украины



Ассоциация промышленного арматуростроения Украины



Ассоциация производителей и строителей полимерных трубопроводов



Ассоциация ОКО



Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека



Торговый Дом «Сварка»



Выставочный портал ExpoNet.ru (Россия)



Компания ExpoTec (Германия)

Киев

1–3 июня 2010

ВЦ «КиевЭкспоПлаза»

12

СЭМ