



## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СВАРНЫХ ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ В УКРАИНЕ

Т.Н. БУРЯК<sup>1</sup>, И.А. КАЦАЙ<sup>2</sup>, В.Г. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, А.И. НОВИКОВ<sup>2</sup>, А.А. ТАРАНЕНКО<sup>1</sup>, Н.В. ЯРОШЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГП «НИТИ». 49005, г. Днепропетровск, ул. Писаржевского, 1а. E-mail: lab241@i.ua

<sup>2</sup>ООО «АЛЬФА-ФИНАНС». 49000, г. Днепропетровск, ул. Баррикадная, 4г. E-mail: igor\_ka\_68@mail.ru

Сварные тонкостенные трубы находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря ряду их преимуществ по сравнению с бесшовными трубами. В работе описан опыт освоения в Украине производства сварных тонкостенных труб малого диаметра из стали TP 316L по двум вариантам: с деформацией металла шва раскаткой и без деформации. Продольные швы выполняются способом сварки TIG. Приведены результаты комплексных испытаний образцов изготовленных труб, свидетельствующие о том, что по своим технологическим, механическим свойствам, коррозионной стойкости и металлографическим характеристикам они не уступают бесшовным трубам, а по ряду параметров даже превосходят их. Они удовлетворяют требованиям соответствующих стандартов по ASTM и EN. Библиогр. 10, табл. 4, рис. 4.

*Ключевые слова:* труба сварная, технология, аргонодуговая сварка, шов, качество, механические свойства, межкристаллитная коррозия, конденсаторы АЭС

Широкое применение за рубежом в теплообменном оборудовании, в частности в конденсаторах турбин атомной, тепловой энергетики, химической промышленности, получили сварные особотонкостенные трубы из коррозионностойких сталей марок TP 321/321H, TP 304/304L, TP 316L/316Ti по стандартам [1–3]. Отечественные сварные трубы, поставляемые ранее по [4], значительно уступали им по целому ряду причин: отставание производства, связанное с неудовлетворительным качеством сварного шва, отсутствием оборудования для изготовления, термообработки и неразрушающего контроля длинномерных труб, дефицитом качественной ленточной заготовки (штрипса) с толщиной стенки до 1 мм и др.

Из-за этого исторически сложилось недоверие к сварным трубам из коррозионностойких сталей, особенно молибденсодержащих типа 03X17H13M3, 08X17H13M2T. Поэтому в ряде случаев предпочтение отдавалось другим материалам: бесшовным трубам из более дешевого материала (медных, медно-никелевых сплавов) либо бесшовным трубам общего назначения из коррозионностойкой стали типа 08-12X18H10T, поставляемым по различным ГОСТ. При этом в конденсаторах АЭС практически во всем мире давно осуществлена замена труб на сварные из коррозионностойкой стали с молибденом TP 316L/316Ti или из титана [1, 5, 6]. Процесс получения таких труб высокопроизводительный, обеспечивает снижение стоимости сварных труб по отношению к бесшовным из аналогичной стали на

30...35 %. Однако до настоящего времени оставались довольно ограниченными сведения о качестве украинских труб, получаемых в современных условиях. Поэтому в данной работе выполнены комплексные всесторонние исследования сварных труб отечественного производителя.

В производственных условиях ООО «АЛЬФА-ФИНАНС» (г. Днепропетровск) разработана технология по которой из ленточной заготовки (штрипса) изготовлены трубы электросварные прямошовные диаметром 20 мм с толщиной стенки 0,8 мм, длиной до 15 м из коррозионностойкой стали TP 316L по двум вариантам: с деформацией сварного шва (раскаткой) в соответствии с требованиями стандарта ASTM A 249 (вариант «р») и без деформации сварного шва (вариант «н»), что допускается отечественной нормативной документацией. Применяется сварка неплавящимся электродом в среде инертного газа (сварка TIG) — аргонодуговая сварка с коэффициентом сварного шва  $V = 1$ .

Современная технология сварочного производства способом TIG (Tungsten Inert Gas) берет свое начало с 40-х годов прошлого столетия и использовалась для сварки алюминиевых и магниевых сплавов [7]. Однако более глубоко этот метод усовершенствовали применительно к сварке коррозионностойких сталей и сплавов. При сварке TIG электрическая дуга используется для нагрева и расплавления кромок металла, а защитный газ (аргон), который поступает из газового сопла, подается в зону сварки, а также на внутреннюю поверхность труб и защищает шов от внесения

примесей извне, способствуя хорошей проварке корня сварного шва. В последствии данный способ сварки назвали аргонодуговым. Сам электрод/катод, выполненный из тугоплавкого материала (вольфрам), расположен в центре газового сопла на специальном удалении от кромок свариваемого металла. В современных условиях производства электросварных труб, сварка осуществляется автоматически тремя катодами, обеспечивающими расплавление, формирование и сохранение так называемой «ванночки» металла с равномерным заполнением по всей глубине шва без подачи в зону сварки каких-либо присадочных материалов. Применение многодуговой сварки продольного шва в камере с защитной атмосферой (аргон) обеспечивает его высокое качество, так как при этом полностью сохраняется химический состав материнского металла в структуре шва. Преимуществом аргонодуговой сварки TIG является очень высокое качество сварного шва, отсутствие брызг, практическое отсутствие шлаков и примесей. Этот способ очень универсален и дает возможность применять варианты различных настроек токов и смесей газа при сварке аустенитных, молибденовых, а также ферритных марок сталей с толщиной металла от 0,4 до 3,0 мм.

**Технологический процесс производства труб.** Технологический процесс производства труб состоит из следующих операций:

1. Входной контроль качества поступающего предварительно порезанного на агрегате продольной резки (АПР) холоднокатаного рулонного проката, включающий выборочный визуальный контроль, постоянный контроль геометрических размеров и проверку соответствия данных сертификатов качества.

2. Изготовление труб на трубоэлектросварочных станках ТЭСА 5-25 и ТЭСА 10-60 (Италия) (рис. 1) включает последовательность операций: формовка ленты на формовочном стане; сварка кромок в сварочном узле; вихретоковый контроль качества сварного шва и околошовной зоны; шлифовка наружного и/или раскатка внутреннего грата; калибровка труб.

3. Термическая обработка труб в защитной атмосфере (водород).

4. Вихретоковый контроль качества тела трубы.

5. По требованию потребителя шлифовка наружной поверхности труб.

6. Маркировка труб с помощью автоматического струйного принтера.

7. Порезка труб на заданную длину на летучих ножницах.

8. Приемка труб ОТК, проведение испытаний предусмотренных нормативом.

9. Упаковка труб.

10. Оформление документа о качестве и необходимой отгрузочной документации; отгрузка труб потребителю в соответствии с заказом.

На указанных трубоэлектросварочных станках возможно изготовление труб наружным диаметром от 5,0 до 60,3 мм включительно с толщиной стенки от 0,4 до 3,0 мм включительно, длиной до 15 м.

Во всем мире сварные трубы для конденсаторов чаще всего поставляются по стандарту [2]. Исследуемые в данной работе трубы изготовлены и испытаны с учетом основных требований этого стандарта. Для большей наглядности оценка полученных результатов выполнялась с учетом европейских норм [8], а также других норм, существующих для данного вида труб.

Поскольку к трубам предъявляется комплекс высоких требований относим их к прецизионным. Сталь TP 316L и ее аналоги 03X17H14M3, 1.4404 по совокупности характеристик коррозионной стойкости, технологических и теплофизических считаются оптимальными для конденсаторов и теплообменного оборудования, работающих в агрессивных средах [6, 9, 10].

Исследования выполнены на базе Испытательного центра ГП «НИТИ», аккредитованного на техническую компетентность по ДСТУ ISO/IEC 17025:2006, для чего был применен комплексный подход. Предварительно осуществлен непосредственный входной контроль исходной заготовки (штрипса) на соответствие техническим требованиям стандарта ASTM A 240 для тонких ленты и листа.

*Анализ химического состава.* Установлена принадлежность металла к стали марки TP 316L по ASTM и ее аналогу 1.4404 по нормам EN (табл. 1). В металле довольно низкое содержание углерода, что положительно влияет на коррозионную стойкость. При этом в трубах в результате технологической обработки содержание углерода незначительно повысилось по сравнению со штрипсом. Обращает на себя внимание содержание фосфора на верхнем пределе, а содержание дорогостоящих никеля и молибдена на нижнем пределе.

*Визуальный осмотр труб.* Осмотр без увеличительных приборов показал, что поверхность светлая, чистая, недопустимые дефекты типа трещин, глубоких рисок, плен, налипаний, раковин, расслоений и др. не обнаружены. Наружная поверхность после тонкой абразивной обработки (шлифовки), наружный грат и сварной шов не визуализуются. На внутренней поверхности наблюдаются:

– вариант «р» — тонкий сварной шов со следом от деформации (внутреннего грата нет), а на диаметрально противоположной стороне трубы — продольный след, образовавшийся скорее всего от



Таблица 1. Химический состав исследуемых проб от исходного штрипса и сварных труб 20×0,8 мм из стали TP 316L (мас. %)

Проба	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
Штрипс	0,011	16,79	1,18	1,91	10,05	0,042	0,0099	0,477
По сертификату	0,012	16,63	1,11	2,092	10,00	0,043	0,0010	0,51
Труба «р»	0,015	16,77	1,17	1,94	10,07	0,044	0,012	0,494
Труба «н»	0,016	16,89	1,19	1,91	9,94	0,044	0,012	0,49
Нормы EN 10217-7 (1.4404)	max 0,030	16,50...18,50	max 2,00	2,0...2,50	10,0...13,0	max 0,045	max 0,015	max 1,0
Нормы ASTM A 249 (TP 316L)	max 0,030	16,0...18,0	max 2,00	2,00...3,00	10,0...14,0	max 0,045	max 0,030	max 1,0

Примечания. 1. Ошибка измерения по молибдену составляет 0,08 %; в готовой продукции допускается отклонение по молибдену  $\pm 0,10\%$  по EN 10217-7. 2. Ошибка измерения по никелю составляет 0,11 %; в готовой продукции допускается отклонение по никелю  $\pm 0,15\%$  по EN 10217-7.

Таблица 2. Геометрические размеры исследуемых труб 20×0,8 мм

Вариант исполнения	Диаметр наружный $D_{нр}$ , мм	Толщина стенки $S$ , мм
«р»	19,94...20,01 19,93...20,02	0,77...0,79 0,78...0,80
«н»	19,93...20,03 19,94...20,02	0,77...0,79 0,78...0,80
Нормы ASTM для данного размера	19,9...20,11	0,72...0,88

Примечание. Овальность труб составляет 0,07...0,10 мм при нормах от +0,11 до -0,10 мм.

механического контакта с оправкой или калибром при раскатке шва;

– вариант «н» без деформации шва — тонкий сварной шов с высотой внутреннего грата до 0,1 мм, диаметрально противоположная сторона чистая, без особенностей.

*Шероховатость  $R_a$*  внутренней (рабочей) поверхности при требовании не более 2,0 мкм составляет: вариант «р» от 0,31 до 0,76 мкм (сред. 0,56 мкм), вариант «н» от 0,27 до 1,34 мкм (сред. 0,63 мкм).

*Точность геометрических размеров труб.* Измерение диаметра и толщины стенки подтвердило высокую точность изготовления (табл. 2).

*Макро- и микроструктура* исследованы в основном металле, околошовной зоне термического влияния и зоне сварного шва, а также в штрипсе.

Металл заготовки чистый по содержанию неметаллических включений. Оценка включений в штрипсе выполнена по ДСТУ 3295–95 — шкала № 3 для оценки металла толщиной стенки менее 2,5 мм. Содержание единичных равномерно расположенных включений глобулярного типа составляет до 1 балла. Микроструктура штрипса мелкозернистая, величина зерна составляет № 9–10, с сильно выраженной полосчатостью, характерной для высоколегированных сталей.

Макроструктура труб при увеличении 10 не содержит дефектов в виде пор, трещин, непроваров, инородных включений, проплавлений и т.п. (рис. 2). Внутренний грат в образце с недеформированным швом незначителен до 0,1 мм ( $\sim 0,08...0,09$  мм, см. рис. 2, а).

В результате раскатки меняется геометрическая форма шва и он становится шире (рис. 2, б).

В микроструктуре четко различимы:

– сварной шов с морфологией литой структуры и наличием небольшой доли ферритной составляющей;

– небольшая (до 200 мкм) околошовная зона с незначительным (на 1 номер) увеличением зерна по сравнению с основным металлом;

– основной металл с рекристаллизованным зерном № 7–8 (зерно в основном металле незначительно укрупнилось по сравнению с исходным штрипсом в результате проведенной термообработки труб).

Трубы, полученные по двум исследуемым вариантам, выдержали все *технологические испытания*, а именно: сплющивание до получения между сплющиваемыми поверхностями заданного расстояния  $H = 7,2$  мм (шов расположен под углом  $90^\circ$  или в положении 3 ч); полное сплющивание; обратное сплющивание по методике ASTM; статический загиб трубного образца (патрубка) на  $90^\circ$  вокруг оправки  $D_{опр} = 60$  мм; раздачу до увеличения наружного диаметра на 10 % оправкой с углом конусности  $30^\circ$ ; бортование с углом отбортовки  $90^\circ$ .

После технологических испытаний отсутствовали дефекты и разрушения в виде трещин, надрывов, непроваров и перекрытий.

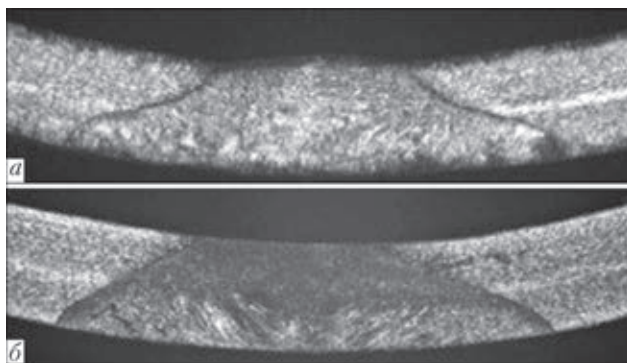


Рис. 2. Макроструктура ( $\times 12$ ) сварных соединений труб 20×0,8 мм из стали TP 316L: а — недеформированный шов; б — деформированный



Рис. 1. Внешний вид трубоэлектросварочной линии (стан 10-60) в цехе по производству труб

Механические свойства исходного штрипса и труб определяли путем испытаний на растяжение.

Результаты подтвердили соответствие штрипса стандарту ASTM A 240 для стали TP 316L (в скобках приведены нормы): предел прочности  $\sigma_b = 651...661$  МПа (не менее 485), предел текучести  $\sigma_{0,2} = 343$  МПа (не менее 170),  $\sigma_{1,0} = 379...381$  МПа, относительное удлинение  $\delta_{50} = 42,0\%$  (не менее 40%),  $\delta_5 = 48...48,5\%$ .

Механические испытания труб показали, что они имеют довольно высокий уровень показателей прочности и пластичности. По сравнению со свойствами штрипса, в трубах повысились значения относительного удлинения и снизились значения пределов прочности и текучести, что обусловлено незначительным укрупнением зерна в результате термообработки труб. По результатам механических испытаний на растяжение металл труб соответствует нормам стандартов ASTM A

249 для стали марки TP 316L и EN 10217-7 для стали — аналога номер 1.4404 (табл. 3).

Для сварных труб важным критерием их качества по прочности сварного шва является способность выдерживать без повреждений вышеперечисленные технологические испытания на сплющивание, раздачу, изгиб. Не менее важным критерием является *разрыв поперечных кольцевых образцов* с расположением шва под  $90^\circ$  относительно оси приложения усилия или в положении 3 ч (табл. 4).

Результаты подтверждают, что большей прочностью сварного соединения обладают трубы с раскатанным швом: разрыв колец произошел не по шву, а по основному металлу, т. е. они выдержали испытания на разрыв кольца без аномалий.

Испытания на межкристаллитную коррозию (МКК) выполнены по методу АМУ ГОСТ 6032 кипячением в серноокислом растворе сульфата меди в течение 8 ч. Согласно этому стандарту

Таблица 3. Механические свойства труб 20×0,8 мм из стали TP 316L после испытаний на растяжение

Вариант	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{1,0}$ , МПа	$\delta_{50}$ , %	$\delta_5$ , %
«р»	617 623	349 347	370 372	55,0 56,5	57,5 59,5
«н»	588 602	306 322	335 347	56,0 58,5	57,0 62,0
Нормы EN 10217-7	490...690	min 190	min 225	min 30	min 40
Нормы ASTM A 249	min 485	min 170	-	min 35,0	-

Таблица 4. Результаты испытаний на поперечный разрыв кольцевых образцов для определения прочности сварного шва и околошовной зоны

Образец	$\sigma_b$ , МПа	Расположение шва	Место разрушения
«р»	689 639 693	$90^\circ$ относительно оси приложения усилия	По основному металлу
«н»	650 642 673	$90^\circ$ относительно оси приложения усилия	По шву или в зоне термического влияния (разрушение пластичное)



сварные соединения, наплавленный металл и металл шва провоцирующему нагреву не подвергаются. В данном случае испытания выполнены как без предварительного провоцирующего нагрева, так и в жесточенном режиме с предварительным провоцирующим нагревом — 650 °С, выдержка 1 ч. После этого образцы были изогнуты специальным способом на предмет обнаружения возможных трещин. После испытаний трещин в местах Z-образных изгибов образцов не выявлено как на внутренней, так и наружной поверхности труб, ни по шву и околошовной зоне, ни по основному металлу, что свидетельствует о стойкости к МКК труб, полученных по обоим вариантам.

В данной работе для получения дополнительных сравнительных данных по коррозионной стойкости материала сварных труб (основной металл и зона сварного шва одной и той же трубы) в качестве экспериментальных выполнены исследования на *питтинговую коррозию* (ПК) в соответствии с основными положениями ГОСТ 9.912 и ASTM G 48. Образцы от труб выдерживали в агрессивном 10 %-м растворе: железа трихлорида гексагидрата ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) — 100 г соли на 900 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, в течение 5 ч при температуре ~20 °С ( $19,5 \pm 0,5$  °С). По окончании выдержки образцы промыли, просушили и оценили потерю их массы взвешиванием до и после выдержки в агрессивном растворе. Также анализировали состояние поверхности на наличие, размер, глубину питтингов и характер их расположения, особое внимание обращали на внутреннюю (рабочую) поверхность. В соответствии с традиционными представлениями подтверждено, что более подвержена ПК область сварного шва. В данном случае потеря массы образцов со швом 0,004...0,008 г незначительно превышает потерю массы образцов без шва 0,002...0,005 г. Однако в образцах с раскатанным швом «р» потеря массы 0,006...0,008 г оказалась большей, чем в образцах с внутренним гратом, т.е. без деформации шва «н»



Рис. 3. Вихретоковый дефектоскоп контроля сплошности сварного шва и околошовной зоны (находится сразу после сварочного блока)

0,004 г. Кроме того, образцы с раскатанным швом «р» показали большую склонность к питтингообразованию шва по внутренней поверхности, в то время как в образцах с нераскатанным швом «н» менее активно развивается ПК шва по внутренней поверхности, но более активно по наружной. В образцах основного металла без шва питтингов либо нет вообще, либо они единичные неглубокие. Сквозные питтинги отсутствовали во всех случаях. Можно заключить, что в целом данные трубы в результате испытаний в водном растворе  $\text{FeCl}_3$  имеют относительно небольшую скорость питтинговой коррозии.

*Неразрушающий контроль сварных труб* выполнен вихретоковым (ВТК) и ультразвуковым (УЗК) способами.

ВТК осуществлен на производстве на оборудовании ООО «АЛЬФА-ФИНАНС», где в линии станна проконтролированы шов и тело трубы (рис. 3). Контроль проводили на наличие продольных и поперечных дефектов на наружной и внутренней поверхностях. По результатам ВТК дефектов не обнаружено и 100 % проконтролированных труб признаны годными.

УЗК выполнялся в условиях ГП «НИТИ», для чего были изготовлены два стандартных образца с раскатанным и нераскатанным швом для настройки УЗ-дефектоскопа (искусственные продольные отражатели типа «риска» глубиной 10 % от номинальной толщины стенки). В проконтролированных по двум вариантам трубах «р» и «н» не выявлены дефекты, эквивалентные искусственным дефектам стандартного образца. Данные трубы можно считать прошедшими УЗК, т.е. соответствующими установленным требованиям для конденсаторных труб.

Полученные результаты дают возможность утверждать, что сварные трубы производства ООО «АЛЬФА-ФИНАНС» (г. Днепропетровск) (рис. 4) по своим технологическим, механическим, антикоррозионным, металлографическим характеристикам практически ничем не уступают бесшовным трубам,



Рис. 4. Виды стандартной упаковки на экспорт нержавеющей труб квадратного и круглого сечения

а в плане четкости соблюдения толщины стенки как в поперечном сечении, так и продольно по всей длине, и геометрических размеров в комплексе с чистой и светлой поверхностью по всей длине — даже превосходят бесшовные трубы.

### Выводы

Выполнены комплексные испытания металла сварных труб 20×0,8 мм из стали TP 316L на соответствие основным и дополнительным требованиям стандарта [2].

Технология изготовления сварных труб из коррозионностойкой стали на ООО «АЛЬФА-ФИНАНС» включает основополагающие операции, определяющие качество и надежность труб: аргонодуговую сварку (сварка TIG), получение труб с раскаткой и без раскатки внутреннего грата (т.е. с деформацией и без деформации шва), термическую обработку в защитной атмосфере, вихре-токовый контроль качества сварного шва и тела трубы с полным соблюдением всех методик и рекомендаций изготовителя оборудования.

По геометрическим размерам трубы соответствуют требованиям высокой точности изготовления с высоким качеством как внутренней, так и наружной поверхностей. По результатам механических и технологических испытаний установлено, что механические свойства при растяжении трубы удовлетворяют требованиям стандартов ASTM A 249 и EN 10217-7. Все образцы выдержали испытания на сплющивание (в т. ч. полное, обратное сплющивание), а также бортование, раздачу, статический загиб без образования трещин, надрывов и др. дефектов как в основном металле, так и в шве и околошовной зоне.

Металлографическими исследованиями обнаружено недопустимых дефектов (непроваров, проплавлений, трещин, инородных включений) в металле шва, околошовной зоны и на поверхности труб. Структура соответствует требованиям трубам прецизионного сортамента из коррозионностойкой стали.

Металл труб стойкий к межкристаллитной коррозии. Образцы от исследованных труб характеризуются небольшими потерями массы в результате испытаний на питтинговую коррозию. Трубы прошли неразрушающий контроль УЗК и ВТК способами, дефекты не зафиксированы.

В целом на основании комплексного сравнительного контроля установлено, что трубы, изготовленные по двум вариантам — с раскаткой и без раскатки шва, удовлетворяют требованиям стандартов ASTM A 249 и EN 10217-7, при этом по отдельным показателям для ответственного назначения следует считать более предпочтительными трубы с раскатанным швом.

1. Оценка качества сварных длинномерных особотонкостенных труб из коррозионностойкой стали / Т.Н. Буряк, Н.В. Ярошенко, А.А. Тараненко, А.М. Лавриненко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2014. — № 5. — С. 40–43.
2. *ASTM A249/A249M-10a*. Стандартная спецификация на сварные трубы из аустенитной стали для котлов, пароперегревателей, теплообменников и конденсаторов. — ASTM Комитет США. — 2010. — 10 с.
3. *ASTM A 312/A 312M-08*. Стандартная спецификация для бесшовных, сварных и холоднодеформированных (сильная деформация) аустенитных труб из нержавеющей стали. — ASTM Комитет США. — 2008. — 20 с.
4. *ГОСТ 11068-81*. Трубы сварные из коррозионностойкой стали. — М.: Изд-во стандартов, 1982. — 8 с.
5. Хэнсон К.Ф. Тенденции использования титана в теплообменных аппаратах // *Материалы 3-й междунар. конф. «Титан. Металловедение и технология»*. — М.: ВИЛС, 1978. — С. 423–435.
6. *Обоснование материала для замены конденсаторов турбоагрегатов АЭС и создание технических условий на длинномерные трубы: Отчет о НИР (аннотац.) / ГП «НИТИ»*. — ГР № 0106U012027. Инв. № 108-206. — Днепрпетровск, 2006. — 65 с.
7. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений / Пер. Г.Н. Клебанова. — М.: Металлургия, 1977. — 288 с.
8. *EN 10217-7.2005*. Сварные стальные трубы для работы под давлением. Технические условия поставки. — Ч.7: трубы из нержавеющей стали. — Европейский комитет по стандартизации (CEN), Брюссель, 2005. — 38 с.
9. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1991. — 256 с.
10. *Нержавеющая сталь*. Характеристики, марки и всемирные стандарты стали // *Авеста Шеффилд АБ*. — 2000. — Бюл. № 10100. — 12 с.

Поступила в редакцию 17.12.2014



Национальная академия наук Украины  
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины  
Совет научной молодежи ИЭС

**VIII Международная  
научно-техническая конференция  
молодых ученых и специалистов  
«Сварка и родственные технологии»**

20–22 мая 2015 г.

Ворзель, Киевская обл.

[www.paton.kiev.ua/wmicys2015](http://www.paton.kiev.ua/wmicys2015); E-mail: [wmicys2015@gmail.com](mailto:wmicys2015@gmail.com)