



6 (34) 2003

Журнал выходит 6 раз в год.
Издается с апреля 1998 г.
Подписной индекс 22405

Журнал награжден Почетной грамотой и Памятным знаком Кабинета Министров Украины

Свидетельство о регистрации КВ № 3102 от 09.03.98

Учредители: Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Государственное внедренческое предприятие «Экотехнология»

Издатель: ГВП «Экотехнология»

Издание журнала поддерживают:



Общество сварщиков Украины, Национальный технический университет Украины «КПИ»
Журнал издается при содействии UNIDO

Главный редактор К. А. Ющенко

Зам. главного редактора Б. В. Юрлов

Редакционная коллегия: В. В. Андреев, В. Н. Бернадский, Ю. К. Бондаренко, Л. Н. Горбань, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, А. А. Кайдалов, О. Г. Левченко, П. П. Проценко, И. А. Рябцев, А. М. Сливинский

Редакционный совет: В. Г. Фартушный (председатель), Н. М. Кононов, П. А. Косенко, М. А. Лактионов, Я. И. Микитин, Г. В. Павленко, В. Н. Проскудин, А. Д. Размышляев, А. В. Щербак

Редакция: Т. Н. Мишина, А. Л. Берзина, В. Ю. Демченко, Н. В. Кильчевский

Маркетинг и реклама Е. Б. Юрлов, Т. В. Гегельский

Верстка Т. Д. Пашигорова, А. Е. Рублева

Адрес редакции 03150 Киев, ул. Горького, 62

Телефон +380 (44) 268-3523, 227-6502

Факс +380 (44) 227-6502

E-mail welder@svitonline.com

URL http://www.et.ua/welder/

Представительство в Беларуси Минск
Вячеслав Дмитриевич Сиваков
+375 (17) 213-1991, 246-4245

Представительство в России Москва
Александр Николаевич Тымчук
+7 (095) 291-7733 (т./ф.)
e-mail: welder@sovintel.ru
www.welder.ru
ООО «АНТ «Интеграция»

Представительство в Прибалтике Вильнюс
Александр Шахов
+370 (2) 47-4301
ПФ «Рекламос Центрас»

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Предоставленные материалы должны быть напечатаны с указанием авторов, адреса, телефона. Редакция сохраняет за собой право редактировать и сокращать содержание статей. Переписка с читателями — только на страницах журнала. При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик» обязательна.

Подписано в печать 08.12.2003. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная №1.
Гарнитура PetersburgCTT. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2.
Зак. № 08/12 от 08 декабря 2003 г. Тираж 3000 экз.
Печать ООО «Людопринт Украина», 2003.
01023 Киев, ул. Ш. Руставели, 39-41, к. 1012-1014.
Тел. (044) 220-0879, 227-4280.

© «Экотехнология», «Сварщик», 2003

Информационно-технический журнал Сварщик™

Технологии
Производство
Сервис



СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологии	3
Производственный опыт	
○ Ремонт балки рукояти карьерного экскаватора РН-2300. <i>В. Д. Позняков, С. Б. Касаткин, П. А. Стрижак.</i>	6
○ Особенности термообработки сварных соединений трубопроводов из нержавеющей стали. <i>П. М. Корольков</i>	8
Заготовительное производство	
○ Обеспечение точности изготовления сварных конструкций. <i>Г. И. Лащенко</i>	12
○ Лазерно-кислородная резка стальных листов толщиной до 75 мм. <i>Росс Хенкок</i>	16
Технологии и оборудование	
○ Комбинированные лазерно-дуговые процессы. <i>В. Ю. Хаскин</i>	18
○ Электронно-лучевое сверление. <i>А. А. Кайдалов</i>	20
○ Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами применительно к силовым контактам. <i>В. И. Лакомский.</i>	22
○ Технология газодинамического нанесения металлических покрытий. Часть 3. Оборудование ДИМЕТ®. <i>О. Ф. Клюев, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин, Т. В. Бuzдыгар</i>	25
○ Информационно-расчетная система «Выбор сварочных материалов для дуговой сварки конструкционных сталей». <i>Т. В. Королева, И. Г. Лавринец.</i>	28
○ ООО «Фрониус-Факел» представляет новые установки для конденсаторной сварки. <i>В. А. Березюк</i>	31
○ Современная технология изготовления сплошной проволоки для сварки в защитных газах. <i>А. Занцрато, А. Сурнин</i>	32
Наши консультации	34
Конференции и семинары	
○ Международный семинар главных сварщиков предприятий нефтяной и газовой промышленности. <i>С. В. Раков</i>	36
○ Научно-практический семинар главных специалистов судостроительных и судоремонтных заводов «Судостроение—сварка 2003»	37
Экономика сварочного производства	
○ Производство сварочных материалов в странах СНГ в 2002 г. <i>П. В. Игнатченко, А. И. Бугай.</i>	38
○ Перспективы рынка сварочного оборудования в Восточной Европе	39
Юбилей	
○ Ярослав Ивановичу Микитину — 60 лет	41
Подготовка кадров	
○ Учебные программы на 2004 г. Межотраслевого учебно-аттестационного центра ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины	42
Из истории сварки	
○ Н. Н. Рыкалин. У истоков тепловых основ науки о сварке. <i>А. Н. Корниенко.</i>	44
● Новости из UNIDO. <i>А. А. Кайдалов</i>	45
● Вышли из печати	46



2003

ноябрь–декабрь

Новини техніки і технології	3
Виробничий досвід	
○ Ремонт балки рукояті кар'єрного екскаватора РН-2300. <i>В. Д. Позняков, С. Б. Касаткін, П. А. Стрижак</i>	6
○ Особливості термообробки зварних з'єднань трубопроводів з нержавіючої сталі. <i>П. М. Корольков</i>	8
Заготівельне виробництво	
○ Забезпечення точності виготовлення зварних конструкцій. <i>Г. І. Лашченко</i>	12
○ Лазерно-киснєве різання сталевих листів товщиною до 75 мм. <i>Ross Hancock</i>	16
Технології і устаткування	
○ Комбіновані лазерно-дугові процеси. <i>В. Ю. Хаскін</i>	18
○ Електронно-променево свердління. <i>А. А. Кайдалов</i>	20
○ Плазмово-дугове зварювання вуглецевих матеріалів з металами стосовно до сильнострумових електричних контактів. <i>В. Й. Лакомський</i>	22
○ Технологія газодинамічного нанесення металевих покриттів. Частина 3. Обладнання DIMET®. <i>О. Ф. Ключев, А. І. Каширін, А. В. Шкодкін, Т. В. Буздигар</i>	25
○ Інформаційно-розрахункова система «Вибір зварювальних матеріалів для дугового зварювання конструкційних сталей». <i>Т. В. Корольова, І. Г. Лавринцев</i>	28
○ ТОВ «Фроніус-Факел» представляє нові установки для конденсаторного зварювання. <i>В. А. Березюк</i>	31
○ Сучасна технологія виготовлення суцільного дроту для зварювання в захисних газах. <i>А. Занірато, А. Сурін</i>	32
Наші консультації	34
Конференції і семінари	
○ Міжнародний семінар головних зварників підприємств нафтової та газової промисловості. <i>С. В. Раков</i>	36
○ Науково-практичний семінар головних фахівців суднобудівельних і судноремонтних заводів «Суднобудівництво—зварювання 2003»	37
Економіка зварювального виробництва	
○ Виробництво зварювальних матеріалів в країнах СНД в 2002 р. <i>П. В. Ігнатченко, А. І. Бугай</i>	38
○ Перспективи ринку зварювального обладнання в Східній Європі	39
Ювілеї	
○ Ярославу Івановичу Мікітіну — 60 років	41
Підготовка кадрів	
○ Учбові програми на 2004 р. Міжгалузевого учбово-аттестаційного центру ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.	42
З історії зварювання	
○ М. М. Рикалін. У джерел теплових основ науки про зварювання. <i>О. М. Корнієнко</i>	44
● Новини з UNIDO. <i>А. А. Кайдалов</i>	45
● Вийшли з друку	46
CONTENTS	
News of technique and technology	3
Production experience	
○ Repair of arm beam of quarry excavator RN-2300. <i>V. D. Poznyakov, S. B. Kasatkin, P. A. Strizhak</i>	6
○ Peculiarity of thermal treatment of welding joints of stainless steel pipelines. <i>P. M. Korol'kov</i>	8
Preparation production	
○ Providing of accuracy of welding structure production. <i>G. I. Lashchenko</i>	12
○ Laser-oxygen cutting of steel plates of thickness up to 75 mm. <i>Ross Hancock</i>	16
Technologies and equipment	
○ Combined laser-arc processes. <i>V. Yu. Khaskin</i>	18
○ Electron beam drilling. <i>A. A. Kaydalov</i>	20
○ Plasma-arc welding of carbon materials with metals applicably to strongly current electric contacts. <i>V. I. Lakomskiy</i>	22
○ Technology of gas dynamic metal coating. Part 3. Equipment DIMET®. <i>O. F. Klyuev, A. I. Kashirin, A. V. Shkodkin, T. V. Buzdygar</i>	25
○ Information and calculation system «Choice of welding materials for arc welding of structural steels». <i>T. V. Koroleva, I. G. Lavrinets</i>	28
○ Fronius-Fakel Ltd represents new installations for condenser welding. <i>V. A. Bereznyuk</i>	31
○ Contemporary technology of solid wire production for welding in shielded gases. <i>A. Zanirato, A. Surin</i>	32
Our consultations	34
Conferences and seminars	
○ International seminar of chief welders of enterprises in oil and gas industry. <i>S. V. Rakov</i>	36
○ Scientific and practical seminar of chief specialists of ship building and ship repair plants «Ship building—welding 2003»	37
Economy of welding production	
○ Production of welding materials in countries of NIS in 2002. <i>P. V. Ignatchenko, A. I. Bugay</i>	38
○ Perspectives of welding equipment market in Eastern Europe	39
Jubilees	
○ Yaroslav Ivanovich Mikitin — 60 years	41
Training of personnel	
○ Educational programs — 2004 of Interbranch education and certification center of The E. O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine.	42
From history of welding	
○ N. N. Rykalin. At sources of heat basis of welding science. <i>A. N. Kornienko</i>	44
● News from UNIDO. <i>A. A. Kaydalov</i>	45
● Published	46

Сварщик

Технології
Виробництво
Сервіс



6 (34) 2003

Журнал виходить 6 раз на рік.
Видається з квітня 1998 р.
Передплатний індекс **22405**

Журнал нагороджений Почесною грамотою і
Пам'ятним знаком Кабінету Міністрів України

Свідоцтво про реєстрацію KB № 3102 від 09.03.98

Засновники:

Інститут електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України,
Державне впроваджувальне
підприємство «Екотехнологія»

Видавець:

ДВП «Екотехнологія»

Видання журналу підтримують:

Товариство зварників України,
Національний технічний університет
України «КПІ»
Журнал видається за сприяння
UNIDO



Головний редактор

К. А. Ющенко

Заст. головного редактора

Б. В. Юрлов

Редакційна колегія:

В. В. Андреев, В. М. Бернадський,
Ю. К. Бондаренко, Л. М. Горбань,
Ю. В. Демченко, В. М. Ілющенко,
А. А. Кайдалов, О. Г. Левченко,
П. П. Проценко, І. О. Рябцев,
А. М. Сливинський

Редакційна рада:

В. Г. Фартушний (голова),
М. М. Кононов, П. О. Косенко,
М. О. Лактіонов, Я. І. Мікітін,
Г. В. Павленко, В. М. Проскудін,
О. Д. Розмишляев, О. В. Щербак

Редакція:

Т. М. Мішина, Г. Л. Берзіна,
В. Ю. Демченко, М. В. Кільчевський

Маркетинг і реклама

Є. Б. Юрлов, Т. В. Гегельський

Верстка

Т. Д. Пашигорова, А. Є. Рубльова

Адреса редакції

03150 Київ, вул. Горького, 62

Телефон

+380 (44) 268-3523, 227-6502

Факс

+380 (44) 227-6502

E-mail

welder@svitonline.com

URL

<http://www.et.ua/welder/>

Представництво в Білорусі

Мінськ
Вячеслав Дмитрович Сиваков
+375 (17) 213-1991, 246-4245

Представництво в Росії

Москва
Олександр Миколайович Тимчук
+7 (095) 291-7733 (т./ф.)
e-mail: welder@sovintel.ru
www.welder.ru
ТОВ «АНТ «Інтеграція»

Представництво в Прибалтиці

Вільнюс
Олександр Шахов
+370 (2) 47-4301
ПФ «Рекламос Центрас»

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці. Думка авторів статей не завжди збігається з позицією редакції.

Рукописи не рецензуються і не повертаються.
Представлені матеріали повинні бути надруковані із зазначеним адреси, телефону. Редакція зберігає за собою право редагувати та скорочувати зміст статей. Листування з читачами тільки на сторінках журналу. У разі використання матеріалів у будь-якій формі посилання на «Сварщик» обов'язкове.

Підписано до друку 08.12.2003. Формат 60×84 1/8.

Офсетний друк. Папір офсетний №1. Гарнітура

PetersburgCTT. Ум. друк. арк. 5,0. Обл.-вид. арк. 5,2.

Зам. № 08/12 від 08 грудня 2003 р. Тираж 3000 прим.

Друк ТОВ «Людопринт Україна», 2003.

01023 Київ, вул. Ш. Руставелі, 39-41, к. 1012-1014.

Тел. (044) 220-0879, 227-4280.

© «Екотехнологія», «Сварщик», 2003



Полуавтоматы с дистанционным управлением скорости подачи электродной проволоки

Качество сварного соединения, выполняемого механизированной сваркой, во многом зависит от правильно выбранной скорости подачи электродной проволоки (силы сварочного тока). Традиционно для регулировки этого параметра на блоке подачи сварщик вынужден прерывать сварочный процесс. Гораздо удобнее и производительней регулировку осуществлять с помощью дистанционного управления.

Комплектация полуавтоматов блоками дистанционного управления позволяет выбирать оптимальной силу сварочного тока (рис. 1) в процессе горения дуги по ее внешним проявлениям, таким как характер издаваемого шума, степень разбрызгивания и пр.

Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона выпускает полуавтоматы с дистанционным управлением различных модификаций на силу номинального сварочного тока 100, 180, 250, 315 и 600 А (рис. 2 и 3, таблица).

● #382

В. А. Титов, канд. техн. наук,
Опытный завод сварочного оборудования
ИЭС им. Е. О. Патона
01042 Киев, ул. И. Кудри, 5
Тел. (+380 44) 226-2720
Факс (+380 44) 269-1256
www.paton-ozso.kiev.ua

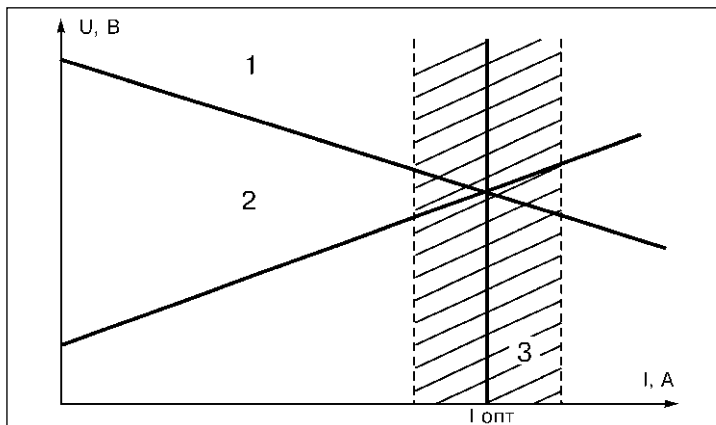


Рис. 1. Схема выбора оптимальной силы сварочного тока: 1 — внешняя вольт-амперная характеристика полуавтомата; 2 — статическая характеристика сварочной дуги; 3 — оптимальная сила тока сварки (заштрихованная зона — диапазон регулирования силы сварочного тока с помощью дистанционного управления)



Рис. 2. Полуавтомат ПС-180 с источником питания



Рис. 3. Полуавтомат БП-601



Таблица. Характеристика сварочных полуавтоматов с дистанционным управлением

Параметр	ПС-101	ПС-180	ПС-250	ПС-254	БП-315	БП-601
Напряжение сети частотой 50Гц, В	220	380	380	380	—	—
Сила номинального сварочного тока, А (ПВ, %)	100 (50)	180 (60)	250 (60)	250 (60)	315 (100)	600 (100)
Диапазон регулирования напряжения, В	15–22	16–25	17–30	17–30	От источника	
Диапазон регулирования силы сварочного тока, А	40–100	50–195	50–250	50–250	315 max	630 max
Потребляемая мощность, кВт·А	3,3	7	12	12	0,1	0,2
Число роликов, шт.	2	2	2/4	2/4	4	4
Скорость подачи проволоки, м/мин	1–6	2–16	2–16	2–16	2–20	2–20
Диаметр сварочной проволоки, мм:						
сплошной	0,8	0,8–1,2	0,8–1,4	0,8–1,4	0,8–1,4	1,2–2,5
порошковой	—	—	1,0–2,2	1,0–2,2	1,2–2,0	1,2–3,6
Габаритные размеры, мм:						
длина	530	607	850	850	650	650
ширина	240	466	440	440	320	320
высота	660	594	810	810	442	442
Масса, кг	50	90	145	145	22	24

Лазерная проникающая (трансмиссионная) сварка пластмасс

Среди различных технологических процессов лучевой сварки пластмасс в последние десятилетия ведущее место занимает лазерная сварка. Отличительными особенностями процессов лучевой сварки являются отсутствие при нагреве прямого контакта между излучателем и свариваемой поверхностью, а также возможность управления в широких пределах режимами нагрева за счет изменения мощности излучения, тепло- и светопоглощающей способности свариваемых материалов.

До недавнего времени в промышленных масштабах применяли, в основном, сварку полимерных материалов CO₂-лазером. Однако излучение этого типа лазеров хорошо поглощается пластмассами, и по этой причине с их использованием можно производить лишь сварку полимерных пленок малой толщины, хотя и с очень высокой скоростью — до 750 м/мин.

Разработка и промышленный выпуск твердотельных лазеров непрерывного действия, в первую очередь Nd:YAG и диодных, значительно расширили технологические возможности лазерной сварки пластмасс. Лазеры этого типа в отличие от CO₂-лазера имеют намного меньшую длину волны, а следовательно, и более высокую проникающую способность (таблица).

Относительно мощные диодные лазеры (больше 100 Вт) появились в начале 1997 г. Ныне их мощность достигла 6 кВт, и они по этому показателю сравнялись с Nd:YAG-лазерами. Характерно, что коэффициент полезного действия диодных лазеров (30%) гораздо выше, чем CO₂-лазеров (10%) или Nd:YAG-лазеров (3%). Излучение диодных лазеров имеет прямоугольную форму, что в некоторых случаях обеспечивает им определенные преимущества. Кроме того, излучение диодных и Nd:YAG лазеров может передаваться с помощью как системы зеркал, так и волоконно-оптических световодов, что значительно расширяет их технологические возможности.

Именно на способности излучения Nd:YAG и диодных лазеров проникать в прозрачные пластмассы на относительно большую глубину основан разработанный в Британском институте сварки процесс проникающей (трансмиссионной) лазерной сварки пластмасс. Процесс предназначен для соединения прозрачных пластмасс, в которых отсутствуют специальные наполнители или пигменты.

Процесс применим и для случаев, когда прозрачен только один из свариваемых элементов, на который направляется излучение лазера. По толщине, цвету и наполнению пластмассовой подложки в этом случае ограничений нет. С помощью лазерной проникающей сварки можно сваривать пластмассы значительно большей толщины, чем при использовании CO₂-лазера.

В Британском институте сварки при описании нового процесса сварки пластмасс используют термины Laser Transmission Welding и Clear Weld™. Последний зарегистрирован как официальная торговая марка. В немецком языке принят термин Laserdurchstrahlschweissen. В русском языке, на наш взгляд, наиболее отвечает сути процесса термин «лазерная проникающая сварка».

Суть процесса лазерной проникающей сварки пластмасс, когда одна из них является непрозрачной, хорошо иллюстрирует схема на рис. 1. Верхняя прозрачная пластмасса с определенным усилием прижимается к нижней непрозрачной пластмассе. Луч Nd:YAG или диодного лазера без потери энергии проникает в зону соединения, где вследствие выделения теплоты происходит сварка (рис. 2). Если сваривают две прозрачные пластмассы, поглощающее лазерное излучение, покрытие наносят в зоне соединения на поверхность одной из свариваемых пластмасс.

Ранее в качестве поглотителя лазерного излучения при сварке пластмасс использовали сажу, которая загрязняла сварное соединение. В лазерной проникающей сварке применяют бесцветную инфракрасную поглощающую среду, что устраняет всяческое загрязнение. Инфракрасная поглощающая среда позволяет сделать сварной шов прозрачных пластмасс практически невидимым.

Лазерная сварка пластмасс требует значительных первоначальных затрат. Однако такие преимущества лазерной сварки, как возможность управлять мощностью лазер-

Таблица. Сравнение различных типов технологических лазеров (применительно к сварке пластмасс)

Характеристики	Тип лазера		
	CO ₂	Nd:YAG(ИАГ)	Диодный
Длина волны, мкм	10,6	1,06	0,8–1,0
Максимальная мощность, кВт	60,0	6,0	6,0
КПД, %	10	3	30
Способ передачи луча	Зеркала	Зеркала или волоконная оптика	
Минимальный (усредненный) размер пятна нагрева, мм	∅ 0,2–0,7	∅ 0,1–0,5	0,5×0,5
Характер взаимодействия с пластмассами	Полное поглощение на глубине менее 0,5 мм		Проникновение на глубину до 10,0 мм

Экспресс-анализаторы содержания углерода и серы в сталях и сплавах

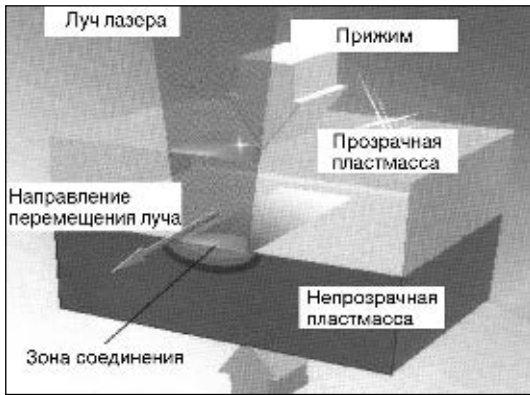


Рис. 1. Схема лазерной проникающей сварки пластмасс

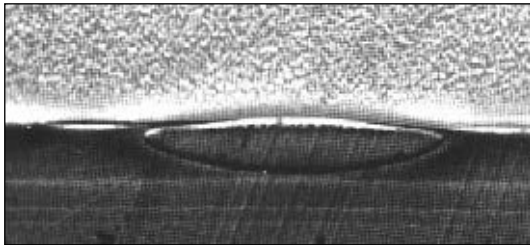


Рис. 2. Поперечное сечение сварного шва, выполненного лазерной проникающей сваркой

ного луча в процессе сварки, точность наведения лазерного луча, высокое качество сварного соединения, экологическая безопасность, быстро оправдывают эти затраты. По мнению британских разработчиков, для лазерной проникающей сварки можно использовать коммерчески вполне доступные твердотельные лазеры. Сварочные расходные материалы (специальные красители, тонкие пленки и т. д.), обеспечивающие поглощение инфракрасного излучения, в настоящее время находятся в стадии разработки: необходимо наладить их промышленное производство и коммерчески доступные системы поставки.

Высокоскоростная лазерная проникающая сварка особенно эффективна при соединении термопластичных пленок внахлест, например в упаковочной промышленности. Изучается возможность ее применения в биомедицине, при сварке водонепроницаемой слоистой ткани и т. д.

На последней международной выставке «Laser-2003» (Мюнхен, Германия) в экспозиции ряда европейских и американских фирм уже были представлены лазерные системы и технологии лазерной проникающей сварки.

● #383

Информация подготовлена пресс-группой ИЭС по материалам Британского института сварки и Международного института сварки

РУП «Гомельский завод измерительных приборов» является ведущим предприятием приборостроительной отрасли, специализирующимся на выпуске стеклянных электродов для потенциометрических измерений и приборов для электрохимического анализа, в том числе экспресс-анализаторов содержания углерода (модель АН-7529) и серы (модель АС-7932) в сталях и сплавах методом автоматического кулонометрического титрования в лабораториях предприятий, НИИ, на заводах-изготовителях сварочных материалов при контроле химического состава наплавленного металла.

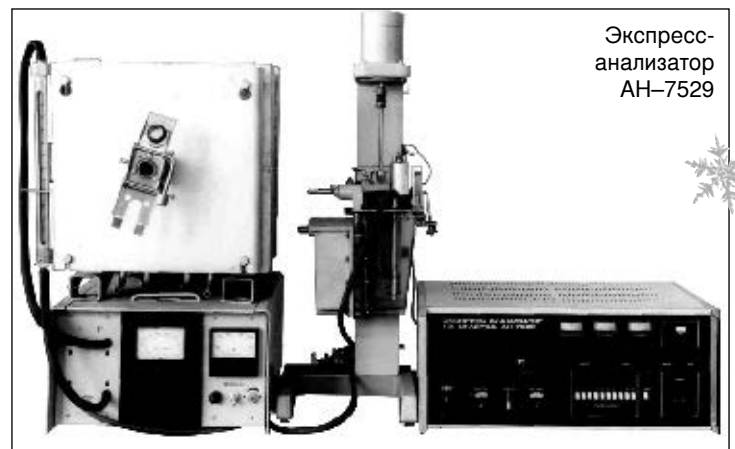
В состав экспресс-анализатора входят измерительный блок, датчик, блок газоподготовки, устройство сжигания. Продолжительность анализа от 1 до 3 мин, ввод данных о массе навески — ручной, возможна автоматизация.

Техническая характеристика:

	АН-7529	АС-7932
<i>Диапазон измеряемых концентраций, %:</i>		
углерода	0,03–9,99	—
серы	—	0,001–0,2
<i>Потребляемая мощность, кВт·А</i>		
(без устройства сжигания)	210	150
<i>Потребляемая мощность устройства сжигания, кВт·А</i>		
	1300	1300
<i>Индикация результатов измерений, %</i>		
		Цифровая
<i>Габаритные размеры, мм:</i>		
измерительный блок	500×200×415	500×220×415
датчик	300×730×300	300×500×300
блок газоподготовки	120×200×450	150×200×450
устройство сжигания	420×630×450	420×630×450
<i>Масса, кг:</i>		
измерительный блок	20	20
датчик	15	6
блок газоподготовки	5	5
устройство сжигания	60	60

● #384

Отдел маркетинга
РУП «Гомельский завод измерительных приборов»



Экспресс-анализатор АН-7529



Ремонт балки рукояти карьерного экскаватора РН-2300

В. Д. Позняков, С. Б. Касаткин, кандидаты техн. наук, П. А. Стрижак, инж.,
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Балка рукояти карьерного экскаватора РН-2300 представляет собой сложную конструкцию коробчатого сечения размерами 15240×3150×2368 мм и массой 70 т. Она изготовлена из высокопрочной стали марки РОК 81. Внутри балки к основному поясу конструкции угловыми швами приварены ребра жесткости, в результате образуется тавровое соединение типа Т2 по ГОСТ 14771 (рис. 1). В процессе эксплуатации балка испытывала комбинированное циклическое и динамическое нагружение, и это через 5–7 лет работы экскаваторов, эксплуатирующихся на Междуреченском угольном разрезе, привело к образованию усталостных трещин в местах перехода углового шва к основному металлу. Их размер достигал от 400 до 2000 мм. В некоторых случаях трещины поражали металл на всю его толщину и были видны на наружной поверхности балки.

Массовость и интенсивность развития таких трещин вызвали необходимость проведения ремонтных работ по восстановлению конструкции. Это потребовало разработки научно обоснованных подходов к выполнению данных работ.

Были проведены специальные исследования по выбору сварочных материалов для ремонтной сварки сталей повышенной прочности, направленные на изыскание систем легирования наплавленного металла, обеспечивающих высокую сопротивляемость сварных соединений усталостным разрушениям и высокую хладостойкость металла сварных соединений при низких климатических температурах. Длительное время для сварки низколегированных высокопрочных сталей с $\sigma_{0,2} = 600...700$ МПа применяли универсальный электрод АНП-2. Однако сварные соединения при этом не обеспечивали высокую сопротивляемость. Поэтому был разработан новый электрод АНП-6П (таблица).

Сопротивляемость образованию холодных трещин на сварных соединениях из высокопрочной низколегированной стали 13ХГМРБ, выполненных электродами АНП-2 и АНП-6П, исследовали по методике Имплант. Результаты исследований показали, что критическое напряжение разрушения металла ЗТВ сварных соединений, выполненных электродами АНП-2 и АНП-6П, равно 725–775 МПа. По показателям замедленного разрушения в ЗТВ сварного соединения электроды АНП-6П превосходят электроды АНП-2. Это объясняется тем, что электроды АНП-6П обеспечивают более медленное охлаждение сварного соединения по сравнению с элек-

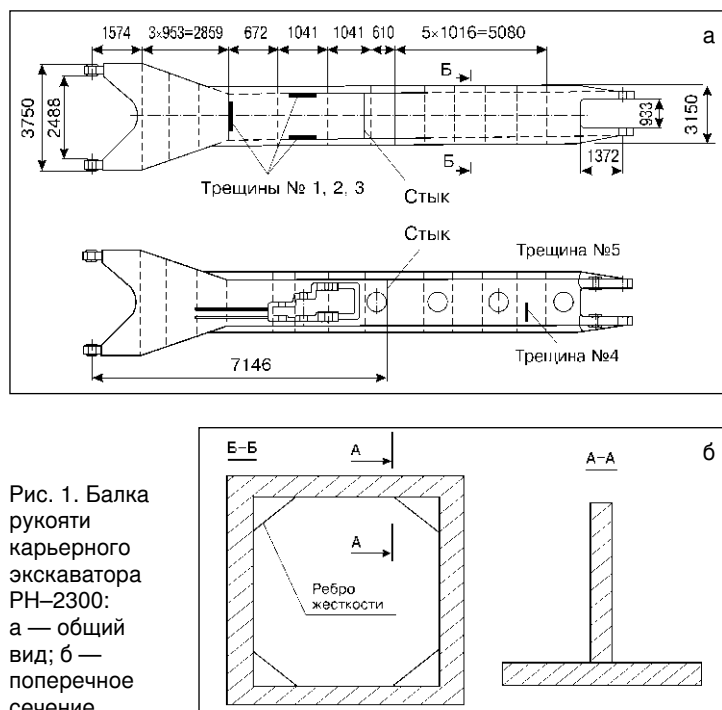


Рис. 1. Балка рукояти карьерного экскаватора РН-2300: а — общий вид; б — поперечное сечение

Таблица. Химический состав и механические свойства металла швов

Марка электрода	Массовая доля, %								$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	KCU, Дж/см ²	KCV, Дж/см ²
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P							
УОНИ-13/45	0,07	0,72	0,28	0,39	0,07	0,14	0,020	0,020	510	645	20	55	-70	34	—
АНП-2	0,1	1,15	0,23	1,4	1,55	0,55	—	—	730	820	14,8	53	—	—	—
АНП-6П	0,11	1,3	0,35	0,34	1,2	0,65	—	—	705	770	18,6	59	—	—	—
АНП-9	<0,1	0,8–1,2	0,15–0,30	0,35–0,50	2,3–2,8	0,25	<0,025	<0,025	720	870	17,3	62	-70	87	51

тродами АНП-2, а это обеспечивает получение структуры с меньшей твердостью и склонностью к водородному охрупчиванию.

Исследования с применением пробы Теккен показали, что, используя электроды АНП-2 для предотвращения образования холодных трещин, следует применять предварительный подогрев до 120–130 °С, а при сварке электродами АНП-6П — только до 80–90 °С.

Исследования на усталость сварных соединений, выполненных универсальными электродами УОНИ-13/45 и АНП-2 и новыми электродами АНП-6П, проводили на тавровых образцах из высокопрочной низколегированной стали 13ХГМРБ по общепринятой методике на базе двух миллионов циклов при симметричном цикле изгибающей нагрузки. Сварные соединения, выполненные электродами АНП-6П, имеют предел выносливости в 2,0–2,5 раза больше, чем соединения, выполненные электродами АНП-2 и УОНИ-13/45. Сопротивляемость сварных соединений, выполненных электродами АНП-2, усталостным разрушениям весьма близка к аналогичному показателю для сварных соединений, выполненных электродами УОНИ-13/45. Высокий предел выносливости, полученный для сварных соединений, выполненных электродами АНП-6П, объясняется тем, что эти соединения имеют вогнутую форму валика, тогда как соединения, выполненные электродами АНП-2 и УОНИ-13/45, — выпуклую. При вогнутой форме валика существенно уменьшается коэффициент концентрации напряжений в месте перехода от шва к основному металлу, а это, как известно, является важным фактором, определяющим сопротивляемость сварных соединений усталостному разрушению.

Электроды АНП-2 не обеспечивают достаточную сопротивляемость сварных соединений из высокопрочных низколегированных сталей хрупкому разрушению при низких климатических температурах.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны новые электроды АНП-9 (тип Э85), которые обеспечивают низкое содержание кислорода и других вредных примесей в наплавленном металле, пониженное содержание в нем диффузионного водорода (менее 5 мл/100 г по хроматографу), высокую стойкость металла шва против образования холодных трещин (см. таблицу).

При сварке электродами АНП-9 металл шва имеет преимущественно бейнитную

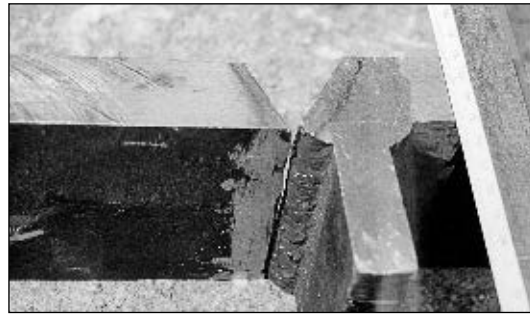


Рис. 2. Образец, подготовленный для ремонтной сварки

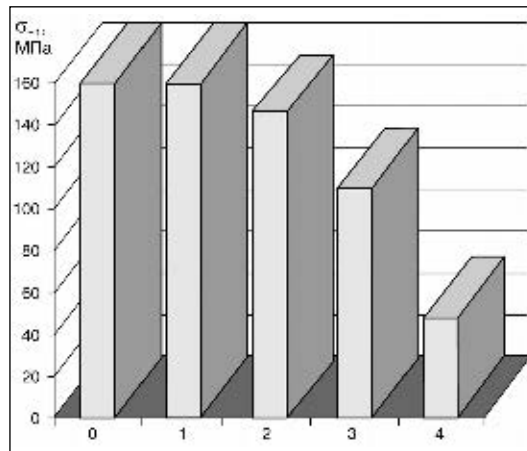


Рис. 3. Сопротивляемость отремонтированных сварных соединений усталостным разрушениям: 0 — в исходном состоянии; 1 — после первого ремонта; 2 — после второго ремонта; 3 — после третьего ремонта; 4 — после четвертого ремонта

структуру в широком диапазоне скоростей охлаждения и характеризуется низкой температурой перехода из вязкого состояния в хрупкое, а также высокими значениями критического раскрытия трещины.

Следующим этапом разработки технологии ремонтной сварки было создание специальной методики имитации происходящих процессов. Методика предусматривала имитацию реальных условий нагружения отдельных узлов изделия до образования усталостных трещин, доведение их до полного разрушения, последующий ремонт и повторное испытание на усталость.

Ремонт сварных соединений включает следующие операции: выполнение V-образной разделки кромок газовым резаком или воздушно-дуговой строжкой, зачистку кромок до металлического блеска, сварку кромок с применением тех или иных технологических приемов (рис. 2).

Чтобы трещины не образовывались в местах перехода от металла шва к основному металлу на участках, которые не были разрушены на предварительном этапе испытаний, после ремонтной сварки выполняли дополнительную наплавку угловых швов со стороны ребра жесткости. Это позволяло перенести концентратор напряжений в область сварного соединения, которое в меньшей степени подвергалось изменениям, вызванным циклическим нагружением,

(Окончание на стр. 15)

Особенности термообработки сварных соединений трубопроводов из нержавеющей стали

П. М. Корольков, инж., ОАО «ВНИИмонтажспецстрой» (Москва)

В последние годы увеличился объем работ по местной термообработке сварных соединений технологических трубопроводов из нержавеющей (коррозионно-стойких сталей), в первую очередь на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Термообработка таких соединений – сложный технологический процесс, связанный в первую очередь с высокой температурой нагрева. При термообработке сварных соединений технологических трубопроводов различают два режима: стабилизирующий отжиг и аустенизацию (табл. 1).

Стабилизирующий отжиг применяют для снижения уровня сварочных напряжений, он обеспечивает получение стабильной структуры, хорошо противодействующей возникновению межкристаллитной коррозии. На нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях стабилизирующий отжиг назначают для сварных соединений из нержавеющей сталей, работающих при температуре ≥ 350 °С, по требованию проектно-технологических организаций.

Аустенизацию проводят для снижения содержания феррита в сварном шве (обычно с 11–14 до 3–4%). Кроме того, аустенизация способствует снижению уровня сварочных напряжений, склонности к возникновению локальных разрушений в ЗТВ сварных соединений и повышению пластичности металла соединения.

Основные особенности коррозионно-стойких сталей, влияющие на проведение термообработки:

- коэффициент теплопроводности, равный 0,036 кал/(см·с·°С), т. е. в 2,5 раза ниже, чем у углеродистых сталей;

- коэффициент линейного расширения, равный $17,9 \cdot 10^{-6}$ мм/(мм·°С) (в 1,5 раза больше, чем у углеродистых сталей);
- теплоемкость 0,12 кал/(2·°С), т. е. на 20% выше, чем у углеродистых сталей;
- высокая окисляемость (почернение) внутренней и наружной поверхностей сварного соединения, вызванная высокой температурой нагрева.

Основные трудности при проведении местной термообработки сварных соединений коррозионно-стойких сталей:

- высокая температура нагрева;
- необходимость охлаждения сварного соединения после окончания выдержки на спокойном воздухе;
- высокий коэффициент линейного расширения, вызывающий опасность возникновения деформаций сварного соединения при термообработке, особенно у сварных соединений труб больших диаметров (более 600 мм);
- высокая теплоемкость коррозионно-стойких сталей, что требует применения большой мощности при термообработке;
- необходимость использования электронагревателей, обеспечивающих нагрев до высокой температуры, и высокотемпературной теплоизоляции.

Технология термообработки по режиму стабилизирующего отжига принципиально не отличается от технологии термообработки сварных соединений трубопроводов сталей перлитного класса по режиму высокого отпуска. Для термообработки применяют установки с дистанционным или программ-

Таблица 1. Режим термической обработки сварных соединений стальных технологических трубопроводов из нержавеющей сталей, работающих под давлением до 10 МПа (100 кг/см²), по ОСТ 35–50–86

Марка стали	Вид термической обработки	Толщина стенки трубы, мм	Температура нагрева, °С	Скорость нагрева, °С/ч	Время выдержки, ч, не менее	Условия охлаждения
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	Аустенизация	≤20	1080–1130	≤150	1,5	На воздухе
12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т	Стабилизирующий отжиг	≤20	850–870	≤150	3,0	

ным управлением, гибкие электронагреватели сопротивления (пальцевые электронагреватели типа ГЭН, комбинированного действия КЭН, плоские поверхностные электронагреватели и т. п.). Электронагреватели необходимо размещать на сварном соединении с небольшим зазором для их сохранности при расширении трубопровода в процессе нагрева. Для изготовления электронагревателей следует использовать нихромовую проволоку марки Х20Н80–Н с рабочей температурой 1175 °С, с помощью которой можно выполнять нагрев до 1050–1100 °С, или проволоку марки Х20Н80 с рабочей температурой 1100 °С (нагрев до 1000 °С). Для труб диаметром до 600 мм возможно применение индукционного нагрева токами средней частоты 1000–2500 Гц, но, учитывая незначительную величину магнитных свойств этих сталей, нужно затратить большие электрические мощности. Запрещается применение газопламенного нагрева, который способствует образованию большой зоны нагрева, что снижает механические и специальные свойства стали, а также загрязняет наружную и внутреннюю поверхность труб. В качестве теплоизоляции рекомендуют использовать высокотемпературный кремнеземный материал «Супер-Сил» с рабочей температурой 1200 °С. В качестве средств контроля следует выбирать систему приборов со статической характеристикой (градуировкой) ХА (К).

Охлаждение после выдержки необходимо проводить на спокойном воздухе. Для этого на электронагревателе устанавливают теплоизоляцию. После окончания выдержки теплоизоляционные маты демонтируют, соблюдая правила техники безопасности. Снимать горячие электронагреватели в этом случае не требуется.

Значительные трудности возникают при проведении аустенизации. Это связано с более высокой температурой нагрева (на 200–250 °С), вследствие чего увеличивается опасность деформации сварного соединения. При проведении аустенизации рекомендуют для нагрева применять электронагреватели сопротивления и комбинированного действия, которые должны быть выполнены из высокотемпературных материалов (Х20Н80–Н, в крайнем случае Х20Н80), при этом обязательно соблюдение жестких требований эксплуатации (не допускать превышения номинальной силы тока, замыканий нагревательного элемента на термообрабатываемое сварное соединение и т. п.).

Таблица 2. Требования к проведению аустенизации

Диаметр и толщина стенки труб, мм	Минимальная величина зоны равномерного нагрева, мм	Минимальная величина зоны, защищаемой аргоном, мм
219×10	150	1300
245×11	170	1300
325×12	200	1300
630×13	280	2000
820×13	310	2000

Допустимо использование индукционного нагрева токами средней частоты 1000–2500 Гц, но для этого нужна значительная электрическая мощность. Высокие требования к теплоизоляции (прочности, температурной стойкости) обусловили применение кремнеземного высокотемпературного материала «Супер-Сил».

Контроль температуры вполне может быть выполнен приборами со статической характеристикой ХА (К).

Наиболее ярким примером проведения аустенизации является выполнение термообработки сварных соединений технологических трубопроводов второго контура для транспортировки натрия между теплообменниками и парогенераторами (натриепроводов второго контура) на Белоярской атомной электростанции с реактором БН–600 на быстрых нейтронах.

Трубы натриепровода выполнены из коррозионно-стойкой стали марки Х18Н9, их диаметр 219–820 мм, толщина стенки 10–13 мм (табл. 2). В соответствии с предписаниями головной научно-исследовательской организации аустенизацию проводили с нагревом до 1030–1070 °С, выдержкой 1 ч, скоростью нагрева 400–1500 °С/ч, охлаждением на спокойном воздухе (перепад температуры по толщине стенки не более 20 мм). Кроме того, были установлены требования к величине зоны равномерного нагрева и зоны внутренней поверхности сварного соединения, защищаемой от окисления поддувом инертного газа аргона.

Разработка и внедрение оборудования для аустенизации было поручено сварочной лаборатории треста «Центроэнерго-монтаж». При выборе средств нагрева был выполнен тепловой расчет, который показал, что для проведения аустенизации в соответствии с нормативными требованиями необходимы электронагреватели удельной мощностью 28–32 Дж/см².

В качестве средств нагрева были предложены и разработаны гибкие пальцевые электронагреватели сопротивления типа



ГПЭС-А, в керамических изоляторах которых были проложены четыре нихромовых проволоки марки Х20Н80. Секции (полупояса) соединили в блоки электронагревателей (по 4 шт.) с общей шириной 445 мм (рис. 1). Длина полупоясов соответствовала окружности трубы, при этом для труб диаметром 219–245 мм по окружности трубы был установлен один полупояс, для труб диаметром 325–820 мм — два. Для теплоизоляции использовали высокотемпературные маты толщиной 40–80 мм из кремнеземной ткани КТ-11 с набивкой коалиновой ватой ВК-200. В процессе экспериментальных работ было установлено, что нагревательный элемент выдерживает не бо-

лее 3–4 циклов термообработки, а теплоизоляционные маты — не более одного-двух циклов. Было предложено установить на сварное соединение специальный кожух из нержавеющей листа (рис. 2), внутрь которого вдували аргон из расчета 3–6 л/мин, а между стенками кожуха располагали теплоизоляционные маты из кремнеземных материалов. Это резко улучшило показатели их работоспособности: электронагреватели выдерживали по 25–30 циклов термообработки, теплоизоляция — не более 20 циклов. Кожух был разъемным и состоял из двух половин, которые соединяли между собой болтами. Верхняя крышка кожуха была съемной, что позволяло в случае сгорания теплоизоляции легко ее менять.

Во внутреннюю полость трубы установили отражательные экраны 8, в промежуток между которыми также подавали аргон из расчета 5–6 л/мин. Для гарантии полного удаления воздуха под кожух и внутрь сварного соединения подавали аргон в течение 30 мин. Аргон, подаваемый под кожух, способствовал также выравниванию температуры по окружности сварного соединения.

По требованиям нормативно-технической документации при аустенизации сварных соединений труб к патрубку теплообменника место сварки после термообработки должно охлаждаться с максимально возможной скоростью. Было опробовано три варианта охлаждения: естественное воздушное, принудительное воздушное и принудительное водяное. Для принудительных вариантов охлаждения вокруг сварного соединения 7 патрубка с теплообменником (рис. 2) была установлена трубка 9 для подачи воды или воздуха. Из трех вариантов охлаждения наибольшая скорость наблюдалась при охлаждении водой, однако на практике применили более простой метод принудительного воздушного охлаждения.

При аустенизации горизонтальных сварных стыков труб диаметром 219–820 мм был достигнут равномерный нагрев по окружности сварного соединения (разность температуры составляла не более $\pm 5^\circ\text{C}$). Однако возникли трудности при закреплении поясов электронагревателей и теплоизоляционных кожухов, так как в процессе термической обработки они смещались со своих мест. Для обеспечения их надежного крепления было предложено устройство (рис. 3), состоящее из верхнего и нижнего хомутов, перемычек, приваренных между хомутами, и подвесок для теплоизоляционного

Рис. 1. Общий вид блока электронагревателей с четырьмя секциями полупоясами: 1 — клемма; 2 — токоподводящая шина; 3 — секция (полупояс) электронагревателей ГПЭС-А

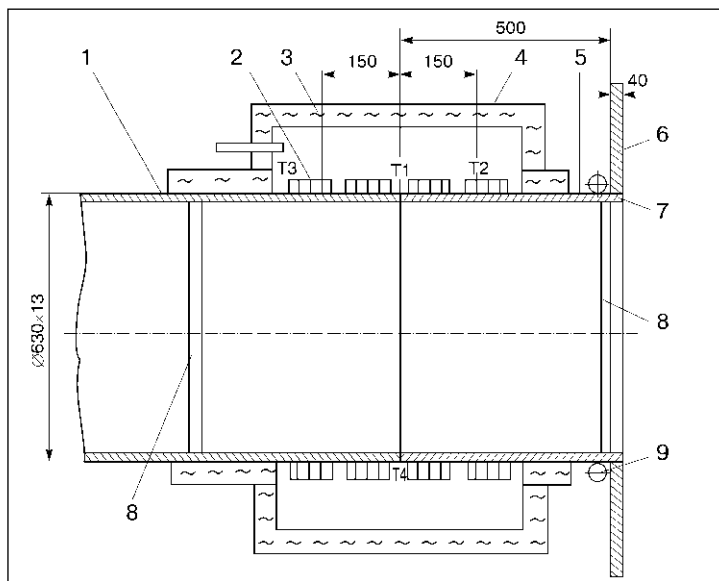
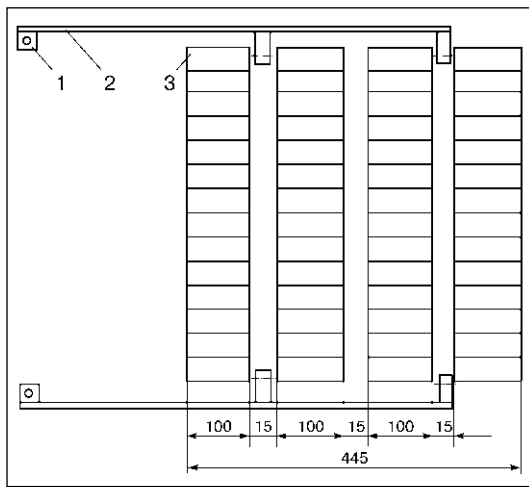


Рис. 2. Схема проведения термообработки сварного соединения приварки трубы диаметром 630 мм к патрубку теплообменника с установленным кожухом: 1 — труба; 2 — пояса ГПЭС-А; 3 — защитный кожух; 4 — теплоизоляционные маты; 5 — патрубок теплообменника; 6 — стенка теплообменника; 7 — сварной шов приварки патрубка к теплообменнику; 8 — отражательные экраны; 9 — трубка для подачи воды или воздуха; Т1–Т5 — места установки термодпар

кожуха. Основной опорной частью устройства крепления электронагревателя является верхний хомут, который устанавливают на расстоянии 1 м от теплоизоляционного кожуха для электронагревателя. К перемычкам в местах зазора между поясами электронагревателей приварены штыри для установки изоляционных колец, с помощью которых фиксируется зазор между этими поясами.

Аустенизация ответственных сварных соединений из нержавеющей стали возможна только при тщательной технологической подготовке (технические данные аустенизации сварных соединений натриепроводов диаметром 219–820 мм приведены в табл. 3).

Из приведенного выше можно сделать следующие выводы:

- При проведении стабилизирующего отжига и аустенизации необходимо тщательно соблюдать режим термообработки, чтобы не допустить излишнего нагрева сварного соединения.
- Для этих видов термообработки нагрев нужно осуществлять электронагревателями сопротивления и комбинированного действия, а также в отдельных случаях индукционным нагревом токами средней частоты 1000–2500 Гц. Они обеспечивают равномерный нагрев сварного соединения. Категорически недопустимо применение газопламенного нагрева.
- В производственных условиях могут применяться комбинированные сварные соединения из сталей различных марок и классов: коррозионно-стойкие нержавеющие и перлитные, например, стали марок 08X18H10T и 20. Такие сварные соединения подвергать термообработке нельзя, так как различные коэффициенты линейного расширения вызовут появление нового уровня напряжения, который может привести к разрушению сварного соединения.

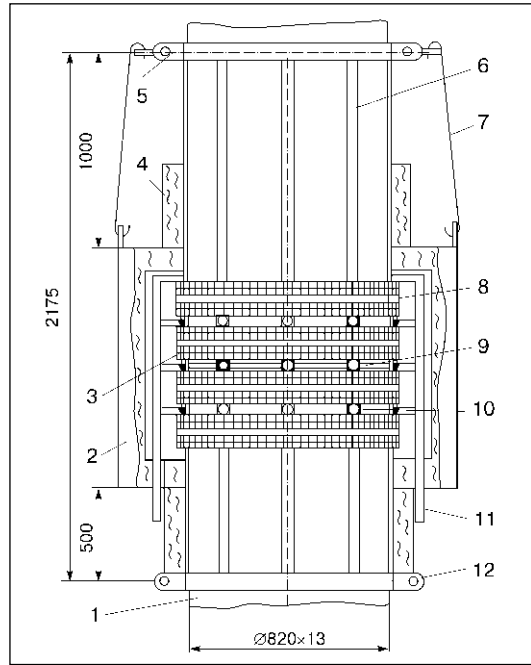


Рис. 3. Схема установки электронагревателя при аустенизации горизонтального стыка: 1 — сварной стык; 2 — теплоизоляционный кожух для электронагревателя; 3 — пояс электронагревателей; 4 — теплоизоляционный кожух для трубы; 5 — верхний хомут; 6 — перемычки между хомутами; 7 — подвеска для кожуха; 8 — стяжные полосы для крепления электронагревателей; 9 — сварной шов; 10 — изоляторы ИКН; 11 — токоподводящие шины; 12 — нижний хомут

● При проведении стабилизирующего отжига и аустенизации сварное соединение труб должно иметь возможность свободно расширяться как по окружности трубы, так и в осевом направлении, т.е. должны быть устранены различного рода заземления, например опоры.

● На предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности стабилизирующему отжигу должны подвергаться сварные соединения, работающие при температуре не менее 350 °С. При назначении режимов и технологии термообработки следует руководствоваться ОСТ 36–50–86.

● Для высокотемпературного нагрева коррозионно-стойких сварных соединений необходимы электронагреватели мощностью на 50% больше, чем для аналогичных сварных соединений из сталей перлитного класса (Ст3, 20, 15ГС и др.) при проведении высокого отпуска.

● #386

Таблица 3. Технические данные циклов термообработки сварных соединений

Электронагреватель	Наружный диаметр трубы, мм	Количество поясов нагревателя, шт.	Количество секций в каждом поясе, шт.	Общее количество параллельно включаемых секций, шт.	Ориентировочные параметры работы нагревателей			Время нагрева до температуры 1130–1070 °С, мин	Масса электронагревателя (без кожуха и теплоизоляционных матов), кг	Установочные размеры теплоизоляции, мм	
					сила тока, А	напряжение, В	мощность, кВт			с кожухом	без кожуха
ГПЭССА–219	219	3	1	3	360–450	29–36	10,5–16,2	60–90	9,5	560×430	330×285
ГПЭСА–245	245	3	1	3	360–450	33–41	12,0–18,5	60–90	11,0	560×460	330×310
ГПЭСА–325	325	4	2	8	720–900	21–26	15,2–23,4	75–120	21,8	560×570	330×390
ГПЭСА–630	630	4	2	8	960–1200	39–46	37,5–57,6	120–150	38,0	675×895	445×700
ГПЭСА–820	820	4	2	8	960–1200	51–63	49,0–75,6	120–150	58,0	675×1070	445×885

Таблица. Примеры деформированных элементов и сварных узлов и режимы их правки местным нагревом

Эскиз элементов и частей конструкции	Размер элементов конструкции, мм	Характер нагрева	Температура нагрева, °С	Номер наконечника горелки
	L до 12, h до 0,5, b до 12	Нагрев кромки, нагрев участков $a=(0,6...0,8) h$	650–700	5–6
	Швеллер до № 20, лист δ до 8 мм	Полосы поперек полки	700	5–6
	L до 12, h до 0,5, площадь сечения до 200 см ²	Треугольные участки на стенке и полке	700	6–7
	a до 30, b до 16, a ₁ =30...50, b ₁ =16...30	Одна полоса $d=20...30$ мм, две полосы $d_1=30...40$ мм	700–800	6–7
	b = 4...8, h до 6	Полоса нагрева $d_1=20...30$ мм по контуру выпучины. Пятна нагрева $d_2=50...70$ мм в шахматном порядке	700–800	6–7

Ремонт балки рукояти карьерного экскаватора РН–2300

(Окончание. Начало на стр. 7)

и тем самым повысить ее сопротивляемость усталостным разрушениям.

Применение методики имитации ремонтных сварочных мероприятий позволило исследовать влияние количества ремонтов в одном месте сварной конструкции на сопротивляемость усталостным разрушениям повторно отремонтированных сварных соединений. Эти исследования проводили на тавровых образцах с поперечным ребром. Образцы были изготовлены из высокопрочной низколегированной стали 13ХГМРБ. Часть образцов была сварена электродами АНП–9, обеспечивающими высокую хладостойкость металла шва, а последние валики — электродами АНП–6П, которые обеспечивали высокую сопротивляемость угловых швов усталостному разрушению. После выполнения ремонтных сварных швов по вышеуказанной

технологии тавровые образцы подвергали усталостным испытаниям по общепринятой методике, определяли их предел выносливости. Тавровые образцы, выполненные электродами АНП–2 и УОНИ–13/45, имеют предел выносливости при симметричных циклах σ_{-1} , равный соответственно 55 и 50 МПа. Для тавровых образцов, выполненных электродами АНП–9, с последними валиками, выполненными электродами АНП–6П, значения $\sigma_{-1} = 160$ МПа.

Если в исходном состоянии сварные соединения обладали пределом выносливости $\sigma_{-1} = 160$ МПа, то после первого ремонта эта величина практически не изменилась. После второго, третьего и четвертого ремонтов значения σ_{-1} снизились соответственно на 10–12, 30–32 и 70–75%. Поэтому количество ремонтов сварных соединений из высокопрочных низколегированных сталей, которые в процессе эксплуатации испытывают преимущественно циклические нагружения не должно превышать двух-трех (рис. 3).

● #385





Обеспечение точности изготовления сварных конструкций*

Г. И. Лащенко, канд. техн. наук, ОАО «УкрИСП»

Деформации, вызванные сваркой, являются одной из главных причин, которые приводят к отклонению действительных размеров металлоконструкций от проектных. Благодаря многолетней работе ученых и практиков разработан ряд конструктивных и технологических мероприятий по уменьшению величины остаточных напряжений, деформаций и перемещений в сварных конструкциях.

Обычно выделяют методы предупреждения и методы устранения (уменьшения) сварочных деформаций, напряжений и перемещений. К методам предупреждения относят регулирование теплового состояния металла сварного соединения, активное нагружение свариваемых элементов при сварке и компенсацию деформаций.

Регулирование теплового состояния металла сварного соединения сводится к уменьшению объема металла сварного соединения, подвергающегося пластической деформации, возникающей на стадии нагрева металла. Для этого используют следующие пути:

1. Применение тех видов сварки, которые требуют меньше тепловложения, например, механизированной дуговой вместо ручной, дуговой, контактной вместо дуговой, сварки трением взамен дуговой и контактной, лазерной электронно-лучевой и плазменной вместо дуговой и др. Сегодня в мировой практике сварочного производства продолжают расти объемы применения лазерной сварки не только за счет ввода сложных автоматизированных комплексов, но и ручных установок. Последнее стало возможным благодаря разработке компактных диодных лазеров, КПД преобразования энергии в которых достигает 50%. Интенсивно развивается и способ линейной сварки трением (FSW), позволяющий выполнять стыковые и нахлесточные швы листовых заготовок из алюминия и его сплавов, меди и даже стали с чрезвычайно низким тепловложением.

2. Назначение минимальных сечений сварных швов и уменьшение объемов наплавленного металла. Площадь поперечного сечения и величина погонной энергии

сокращаются пропорционально квадрату катета шва. Примерно пропорционально квадрату катета шва уменьшаются усадочная сила и поперечная усадка. При этом снижаются общие деформации сварной конструкции как в продольном, так и в поперечном направлениях. В общем объеме выпуска сварных конструкций только 30–40% швов являются расчетными, а 60–70% — конструктивными (соединительными).

Применительно к расчетным швам следует назначать минимальные получающиеся по расчету на прочность сечения угловых швов. В случае конструктивных (соединительных) швов к числу наиболее важных технологических критериев, по которым оценивают швы минимальных сечений, является технологическая прочность материала, т. е. способность сопротивляться образованию горячих и холодных трещин. Сварные соединения низкоуглеродистых сталей обычной прочности, являющихся основным конструкционным материалом для многих сварных конструкций общего назначения, не склонны к образованию холодных трещин. Поэтому значения минимальных катетов для этой группы сталей необходимо устанавливать по критерию стойкости к образованию горячих трещин.

В качестве мер снижения общей массы наплавленного металла следует выделить использование гнутых и гнуто-сварных профилей, гнутых элементов и профилей проката, повышение точности заготовок и обеспечение точной сборки под сварку и др.

3. Регулирование тепловых процессов за счет дополнительного охлаждения зоны сварки водой, водо-воздушной смесью, специальными теплоотводящими подкладками и теплоотводящими пастами.

4. Применение предварительного и сопутствующего подогревов с целью уменьшения разности температур между отдельными точками свариваемого изделия. Это приводит к уменьшению пластических деформаций и напряжений.

* Продолжение. Начало см. *Сварщик*. — 2003. — №1, 2, 3, 4, 5.



Активное нагружение свариваемых элементов осуществляют как в процессе сварки, так и после ее завершения. Наиболее известными способами активного нагружения являются растяжение деталей в процессе сварки, вибронагружение в процессе сварки, ударное деформирование (проковка) шва.

Сварка с предварительным растяжением заключается в том, что в свариваемых элементах создаются напряжения растяжения, которые после выполнения сварного шва снимаются. Нагружение обычно осуществляют в пределах зоны пластических деформаций сварного соединения. Предварительное растяжение приводит к снижению напряжений в этой зоне, а также и в остальной части поперечного сечения сварного соединения, что в конечном итоге уменьшает продольное укорачивание свариваемых деталей.

Устройства для нагружения сварных элементов достаточно громоздки и энергоемки. Вибронагружение в процессе сварки реализуется с помощью менее энергоемкого и громоздкого оборудования. При этом деформации снижаются на 20–25%. Однако сам процесс сварки вибрируемого изделия вызывает определенные затруднения.

Проковку можно проводить по горячему металлу сразу после сварки шва полностью или отдельного слоя. При этом осадка металла в направлении толщины вызывает расширение металла в перпендикулярном направлении, что снижает напряжение растяжения в зоне проковки или вызывает напряжение сжатия. В зависимости от температуры проковки и количества тепловой энергии, выделяющейся в зоне ударов, последующее охлаждение и сокращение прокованного металла ведет к изменению собственных напряжений, которые могут оказаться после полного выравнивания температуры как сжимающими, так и растягивающими. Различают режимы с малыми до 6–7 м/с скоростями деформирования, средними — до 100 м/с и высокими — свыше 100 м/с. При использовании проковки с целью изменения напряжений особое внимание следует обращать на возможность ухудшения пластических свойств металла. Для ряда сплавов наилучшими являются скорости в диапазоне 20–30 м/с.

Компенсация деформаций при сварке является одним из наиболее эффективных средств предупреждения деформаций изгиба. Это направление включает ряд основных мероприятий:

- Элементы балочного типа необходимо конструировать с таким расположением швов, чтобы сумма моментов усадочных сил от продольных швов относительно центра сечения балки была близка к нулю. Поперечные швы, создающие угловые изломы балок, также желательно располагать по обе стороны от линии центра тяжести сечений, чтобы сумма угловых поворотов и прогибов была минимальной.
- При выполнении длинных швов (более 1000 мм) следует отдавать предпочтение сварке «на проход» механизированными способами, а при ручной сварке использовать обратно-ступенчатый способ.
- При сварке многопроходных швов каждый последующий слой нужно выполнять в направлении, обратном предыдущему, чтобы деформации от предыдущего шва ликвидировались обратной деформацией следующего шва.
- При сварке листовых конструкций в первую очередь необходимо сваривать поперечные швы, соединяющие листы в длинные полосы, а затем производить сварку полос между собой. При сварке двутавровых балок первоначально выполнять стыковые соединения стенок и только после этого сваривать поясные швы.
- Деформации должны быть равны по величине и обратны по направлению сварочным, их нужно создавать путем пластического деформирования, закрепления снимать после остывания шва.
- При сварке деталей с симметричным расположением многослойных швов сварку следует вести по методу «уравнивания» деформаций.
- Необходимо предусматривать рациональную последовательность выполнения сборочно-сварочных операций.

Все это позволяет значительно снизить сварочные деформации, однако часть сварных конструкций получает деформации (общие или местные), превосходящие допустимые величины. В этих случаях применяют правку.

Правку можно производить холодным (механическим воздействием), тепловым безударным и комбинированным способами (кратковременные нагревы с механическим воздействием).

Холодный способ правки включает правку изгибом под прессом или грузом, прокатку роликами, в вальцах и др. Тепловой безударный способ предусматривает

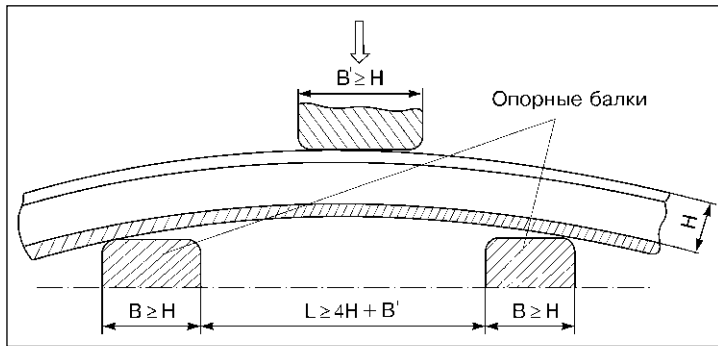


Рисунок. Схема правки холодным способом общего изгиба плоскостных секций с набором одного направления

правку нагревом полос, пятен и треугольников без расплавления поверхности (пламенем газовых горелок, плазменной струей, токами высокой частоты и правку нагревом полос электрической дугой с расплавлением поверхности (плавящимися и неплавящимися электродами).

Комбинированный способ представляет нагрев одним из указанных выше способов с применением механического воздействия посредством скоб, стяжек, домкратов или просто ударов кувалды (молотка).

Холодный способ правки обычно применяют для удлинения волокон зоны сварных соединений, а тепловой и комбинированный — для укорочения волокон основного металла с целью компенсации укорочения сварных соединений.

Холодный способ правки. Общие деформации конструкций балочного типа рекомендуют править изгибом под прессом (рисунок). При этом необходимо создать напряжения растяжения, близкие к пределу текучести.

Аналогичные явления удлинения волокон зоны сварных соединений происходят при правке полотнищ или труб с продольным швом в правильных вальцах. Размеры полотнищ или труб ограничены мощностью и размерами правильных вальцов.

Удлинение волокон сварных соединений в плоскости листа достигают прокаткой или проколачиванием этой зоны. Способ дает хорошие результаты на конструкциях, изготовленных из металла толщиной 5–8 мм.

Тепловой способ правки. Суммарная величина остаточных пластических деформаций при правке зависит от температуры концентрированного нагрева и мощности источника, расположения мест нагрева, остаточных напряжений и жесткости конструкции, характера внешнего закрепления и др.

Повышение температуры нагрева способствует увеличению пластических деформаций укорочения. В то же время при нагреве свыше некоторой температуры начинают возникать при остывании обратные

пластические деформации растяжения, и остаточные пластические деформации от правки достигают своего предела. Учитывая эти обстоятельства, оптимальную температуру при правке определяют из условия получения максимальных остаточных деформаций укорочения при минимальных обратных пластических деформациях удлинения.

Температуры нагрева при правке углеродистых стальных конструкций газовым пламенем равна 600–800 °С (вишневый цвет каления), для некоторых низколегированных сталей — 800–900 °С (красный цвет каления). Примеры деформированных элементов и сварных узлов и режимы их правки местным нагревом приведены в *таблице*.

При нагреве газовым пламенем трудно выдержать в узком диапазоне и гибко регулировать параметры нагрева. Газопламенный нагрев имеет также низкие экологические показатели. Перспективным считают использование в автоматизированных комплексах для термической правки сварных конструкций плазменных источников нагрева.

В мировой практике получил распространение индукционный нагрев токами высокой частоты (ТВЧ). Фирмой «ELVA» (Норвегия) разработаны технология и оборудование для правки с нагревом ТВЧ (система «ТЕРАК»). Комплекс оборудования включает преобразователь выходной мощностью 17,5 кВт при частоте 18–22 кГц. Мощность регулируют бесступенчато. Преобразователь соединен с устройством индукционного нагрева при помощи гибкого кабеля длиной 15 м.

Устройство индукционного нагрева охлаждают сжатым воздухом. Оборудование фирмы «ELVA» эксплуатируют во многих странах. Киевский судостроительный завод «Ленинская кузница» имеет многолетний опыт эксплуатации такого оборудования.

Фирма «ЧКД Локомотивка» (Чехия) использует индукционный нагрев для термической правки балочных конструкций. При этом применяют преобразователи мощностью 150 кВт с рабочей частотой 3 кГц. Обработке подвергают двутавровые балки с полками толщиной 15–25 мм. Нагрев осуществляют полосами шириной 30–300 мм. Оборудование скомпоновано на стационарной установке порталного типа. Таким образом, существует ряд приемов, способов и технических решений, позволяющих минимизировать деформации и выпускать сварные конструкции практически любой степени точности.

● #387

Таблица. Примеры деформированных элементов и сварных узлов и режимы их правки местным нагревом

Эскиз элементов и частей конструкции	Размер элементов конструкции, мм	Характер нагрева	Температура нагрева, °С	Номер наконечника горелки
	L до 12, h до 0,5, b до 12	Нагрев кромки, нагрев участков $a=(0,6...0,8) h$	650–700	5–6
	Швеллер до № 20, лист δ до 8 мм	Полосы поперек полки	700	5–6
	L до 12, h до 0,5, площадь сечения до 200 см ²	Треугольные участки на стенке и полке	700	6–7
	a до 30, b до 16, a ₁ =30...50, b ₁ =16...30	Одна полоса $d=20...30$ мм, две полосы $d_1=30...40$ мм	700–800	6–7
	b = 4...8, h до 6	Полоса нагрева $d_1=20...30$ мм по контуру выпучины. Пятна нагрева $d_2=50...70$ мм в шахматном порядке	700–800	6–7

Ремонт балки рукояти карьерного экскаватора РН–2300

(Окончание. Начало на стр. 7)

и тем самым повысить ее сопротивляемость усталостным разрушениям.

Применение методики имитации ремонтных сварочных мероприятий позволило исследовать влияние количества ремонтов в одном месте сварной конструкции на сопротивляемость усталостным разрушениям повторно отремонтированных сварных соединений. Эти исследования проводили на тавровых образцах с поперечным ребром. Образцы были изготовлены из высокопрочной низколегированной стали 13ХГМРБ. Часть образцов была сварена электродами АНП–9, обеспечивающими высокую хладостойкость металла шва, а последние валики — электродами АНП–6П, которые обеспечивали высокую сопротивляемость угловых швов усталостному разрушению. После выполнения ремонтных сварных швов по вышеуказанной

технологии тавровые образцы подвергали усталостным испытаниям по общепринятой методике, определяли их предел выносливости. Тавровые образцы, выполненные электродами АНП–2 и УОНИ–13/45, имеют предел выносливости при симметричных циклах σ_{-1} , равный соответственно 55 и 50 МПа. Для тавровых образцов, выполненных электродами АНП–9, с последними валиками, выполненными электродами АНП–6П, значения $\sigma_{-1} = 160$ МПа.

Если в исходном состоянии сварные соединения обладали пределом выносливости $\sigma_{-1} = 160$ МПа, то после первого ремонта эта величина практически не изменилась. После второго, третьего и четвертого ремонтов значения σ_{-1} снизились соответственно на 10–12, 30–32 и 70–75%. Поэтому количество ремонтов сварных соединений из высокопрочных низколегированных сталей, которые в процессе эксплуатации испытывают преимущественно циклические нагружения не должно превышать двух-трех (рис. 3).

● #385



Лазерно-кислородная резка стальных листов толщиной до 75 мм*

Росс Хенкок, «Welding Journal» (Майами, США)

Компанией «Bender Shipbuilding» (США, штат Алабама) разработана и внедрена в производство новая технология гибридной лазерно-кислородной резки металла. Пластина из малоуглеродистой стали толщиной 25–50 мм (1–2") разрезается с использованием CO₂-лазера мощностью менее 2 кВт (рис. 1).

* «Welding Journal», № 8–2003

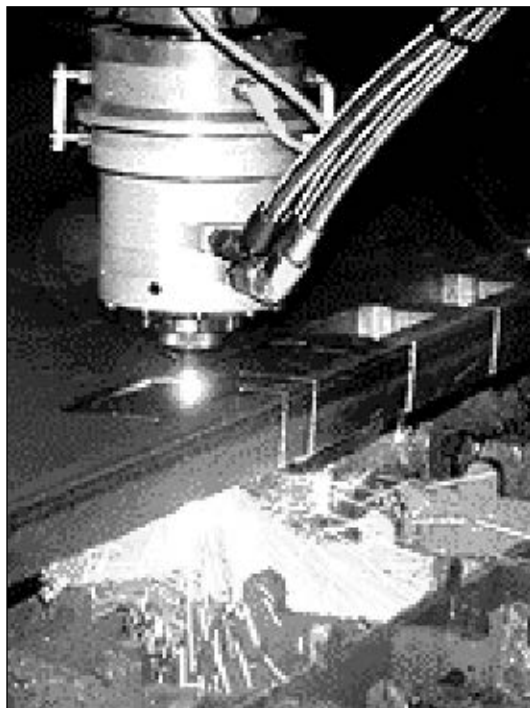
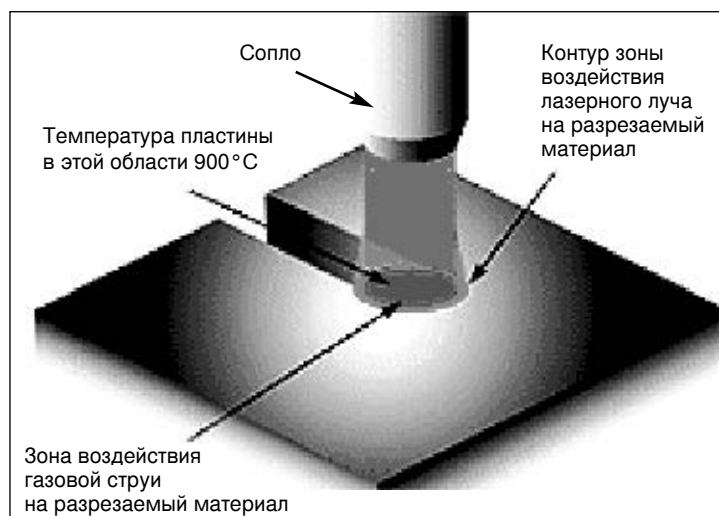


Рис. 1. Режущая головка LASOX



«Год назад, — говорит менеджер отдела НИОКР Пет Кехил, — никто и подумать не мог о резке стали толщиной более 50 мм лазером мощностью 2 кВт. Новая технология позволит скоро резать стальные пластины толщиной 100 мм. Это изобретение открывает возможность появления нового поколения кораблей из стали, которые будут прочнее и дешевле в изготовлении».

Технология LASOX, изобретенная компанией «BOC Gases», реализуется с использованием режущей головки и лазера, луч которого направлен по оси газового сопла. Лазерный луч обеспечивает предварительный нагрев стального изделия до температуры горения, а высокоскоростная струя кислорода, направленная на пятно лазерного луча, окисляет сталь в узком резе (рис. 2). Головку механически передвигают относительно плиты, и резка заготовки происходит по мере того, как сверхзвуковой поток кислорода выталкивает расплавленный и окисленный металл из реза.

В отличие от кислородной резки новая технология не нуждается в «пламени» для предварительного подогрева зоны реза. За одну-две секунды лазерный луч подогревает круговую зону на заготовке до температуры более 900 °С. Мощность лазерного луча сама по себе недостаточна для резки стали, а при более мощном луче уменьшилась бы эффективность требуемой окислительной реакции. Лазерный луч оптически расфокусирован для того, чтобы его энергия создавала и поддерживала температуру зажигания во всей зоне действия газовой струи.

«Необходимо получить аккуратное, круглое пятно лазера и направить струю кислорода точно в центр этого пятна», — говорит технический менеджер Производ-

Рис. 2. Схема процесса резки LASOX, при котором лазерный луч, направленный соосно с высокоскоростной струей кислорода, подогревает заготовку для осуществления точной резки

ственно-Технологического Центра компании «ВОС» в Великобритании Дункан Йетес. Именно в этом Центре д-р Джек Гебзил (компания «ВОС») совместно с д-ром Билом О'Нилом (Ливерпульский университет) в 90-х годах разработали технологию LASOX.

Компания «Bender» осуществила коммерциализацию этого изобретения при поддержке фирмы «Alabama Laser Systems» (ALS), которая разработала программное обеспечение для контроля взаимодействия лазерного луча и потока кислорода со столом для резки с программным управлением, так как обычные столы для лазерной резки не оснащены для резки стальных пластин толщиной 50 мм (2"). Результат новой технологии — прошивка стальной пластины толщиной 4 мм приблизительно за 1 с, продолжение резки со скоростью 3,4 мм/с. Рез при этом формируется шириной всего в несколько миллиметров.

По сравнению с кислородной резкой технология LASOX позволяет сэкономить в среднем 40 мин при резке одной пластины. Зазор между режущей головкой и заготовкой составляет до 7 мм, т.е. намного больше, чем при обычном процессе лазерной резки (0,5–2 мм). Это уменьшает вероятность попадания брызг металла на режущую головку.

«Я восхищен качеством резки деталей с использованием технологии LASOX, — говорит Боб Льюис — управляющий подразделением обработки металлов компании «Bender». — Высокое качество и точность резки, минимальная зона теплового воздействия позволяют сократить операции по обработке детали после резки» (рис. 3, 4).

По словам Джерри О'Коннора, вице-президента и генерального управляющего Северо-Американского подразделения промышленной продукции компании «ВОС» (Мюррей Хилл, штат Нью-Джерси), новая технология разрабатывалась как «усилитель» к обычным установкам лазерной резки.

«Если вам нужно разрезать лазером пластину толщиной 7 мм (1,5"), просто прикрепите к нему кислородную головку. Разрезать же это стандартным лазером невозможно», — говорит Джерри О'Коннор.

Проект разработки данной технологии компанией «Bender» был профинансирован Национальной программой исследований в отрасли судостроения (объединяет



Рис. 3. Малая партия толстолистовых заготовок, вырезанных из низкоуглеродистой стали



Рис. 4. Деталь, вырезанная из стали толщиной 37,5 мм (1,5") с использованием технологии LASOX на предприятии «Bender Shipbuilding»

одиннадцать американских судостроительных предприятий), а также Управлением военно-морских систем США.

С предприятиями «ВОС» и «ALS» также сотрудничают компании «Caterpillar» и «General Dynamics Electric Boat». Ожидается, что они внедрят следующую версию технологии LASOX при производстве оборудования для горной промышленности и подводных лодок.

Команда разработчиков, которая продемонстрировала разделку кромок с помощью технологии LASOX, работает над дальнейшим усовершенствованием процесса, чтобы осуществлять резку под наклоном при отрицательном влиянии силы тяжести.

«Не нужно быть Эйнштейном, чтобы понять, что новая технология позволит получить более дешевые и качественные детали для военного и гражданского строительства, а также может революционизировать некоторые виды резки листов. Это одна из лучших технологий резки листа, которую я видел за 37 лет работы в этой области», — говорит Боб Льюис. ● #388



Комбинированные лазерно-дуговые процессы

В. Ю. Хаскин, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Лазерно-дуговые способы сварки и резки появились во второй половине 1970-х гг. в Англии. С тех пор исследования в области совмещения лазерного и дугового процессов проводили в большинстве развитых стран. На сегодняшний день промышленное оборудование для лазерно-дуговых технологий выпускают в Германии, Израиле и некоторых других странах.

Обычно различают гибридный и комбинированный процессы. Первый предполагает подачу сфокусированного лазерного излучения и электрической дуги в одну точку общей ванны, второй характеризуется общим термическим циклом, хотя тепловые источники действуют на изделие в различных геометрических точках. Лазерно-дуговые технологии сварки возникли как попытка устранить недостатки, присущие каждому из этих способов в отдельности. Дуговой источник улучшает «жесткий» термический цикл лазерной сварки, снижает вероятность

образования твердых и хрупких закалочных структур в шве и зоне термического воздействия (ЗТВ); дуговая мощность позволяет несколько уменьшить долю дорогостоящей лазерной мощности. В свою очередь лазерное излучение стабилизирует горение электрической дуги и позволяет повысить скорость сварки или резки до нескольких сотен метров в час, способствует дополнительно сжатию дуги и переходу в режим сварки с глубоким (кинжальным) проплавлением. Наиболее характерные схемы лазерно-дуговой сварки показаны на рис. 1 и 2.

Для гибридной лазерно-дуговой сварки характерен так называемый «синергетический эффект» совместного использования лазерного излучения и электрической дуги — аддитивности теплового воздействия на изделие лазерного пучка и дуги. Концентрация энергии маломощных лазерного и дугового источников нагрева каждого по отдельности недостаточна для достижения сквозного проплавления металла (даже тонколистового). При совместном воздействии на металл происходит сжатие дуги в пределах факела лазерной плазмы, эффект блуждания анодного пятна устраняется. Благодаря дополнительному энергетическому вкладу, а также увеличению поглотительной способности перегретого металла и сжатию дуги происходит увеличение концентрации энергии совокупного источника нагрева и достигается глубокое проплавление. При этом образуется характерный для лазерной сварки пародинамический канал, в который, следуя за лазерным излучением и образуемой им плазмой из паров металла, опускается анодная область столба сжатой дуги. Как только преодолевается порог между режимами теплопроводного и глубокого проплавления, резко увеличивается объем переплавленного металла, что и позволяет в 1,5–2 раза увеличивать скорость сварки.

Преимущество синергетического эффекта реализуется в полной мере при лазерно-дуговой сварке тонкого металла (рис. 1), когда используют сравнительно малые лазерные мощности (до 1,0–1,5 кВт CO₂-лазера или 300–1000 Вт Nd:YAG-лазера), и

Рис. 1. Схема процесса лазерно-дуговой сварки при использовании электрической дуги с неплавящимся электродом

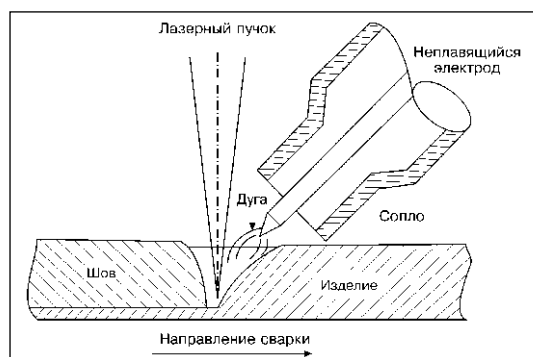
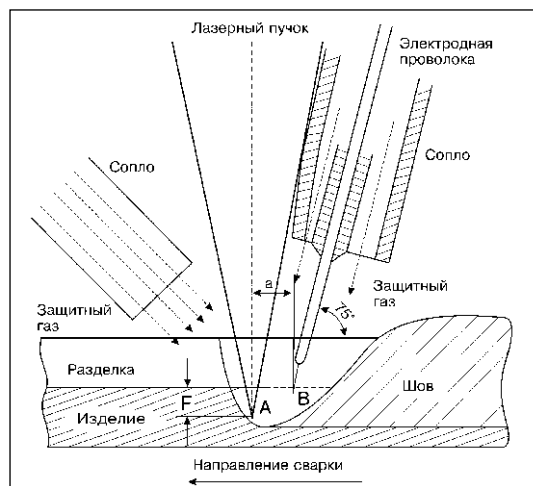


Рис. 2. Схема процесса лазерно-дуговой сварки при использовании электрической дуги с плавящимся электродом





примерно 1 кВт дуги способен оказать воздействие, эквивалентное увеличению мощности лазерного излучения на 1 кВт. Важным моментом также является использование малых и средних токов дуги. При силе тока больше 300 А эффект «привязки» анодной области дугового разряда к пятну лазерного нагрева до сих пор не зафиксирован. При сварке металла большой толщины возможно применение разнообразных технологических приемов, например сварки корневого шва лазерным излучением с одновременным заполнением разделки металлом плавящегося электрода (рис. 2).

Авторы проводили эксперименты по схеме, показанной на рис. 3, в диапазоне скоростей сварки от 15 до 300 м/ч. Мощность падающего на образец излучения CO₂-лазера изменяли в пределах от 0,2 до 2,7 кВт. Излучение фокусировали линзой из монокристалла хлорида калия (F=300 мм). Исследования проводили при наплавке на пластины и сварке стыковых соединений из сталей 09Г2С и СтЗкп толщиной 1–10 мм. При сварке стыковых соединений выполняли разделку кромок под углом 30°, притупление 4 и 6 мм (рис. 4). Присадочную проволоку Св–08Г2С (0,8 мм) подавали со скоростью от 200 до 450 м/ч. Угол наклона электрода к оси лазерного пучка был выбран $\alpha=25^\circ$, длина дуги L=6...8 мм. Силу сварочного тока дуги изменяли в пределах 75–200 А.

Совмещение действия лазерного излучения и дуги плавящегося электрода в среде защитного газа для сварки сталей обеспечивает хорошее формирование шва, снижает требуемую мощность лазерного излучения за счет замены ее мощностью электрической дуги (из расчета 1 кВт дуги вместо 0,5 кВт лазерного излучения при сварке металла толщиной 5 мм и один к одному при сварке металла толщиной менее 4 мм), уменьшает вероятность образования закалочных структур в шве и ЗТВ, характерных при лазерной сварке, повышает глубину проплавления (рис. 5).

Для скоростной сварки тонколистовых металлов целесообразно применять комбинацию излучения Nd:YAG-лазера с дугой неплавящегося электрода, так как в этом случае нет необходимости в использовании мощных лазерных установок и гелия в качестве защитного газа. При этом возможно получение благоприятных структур металла шва, улучшение дегазации сварочной ванны.

Геометрия и качество швов, выполненных комбинированной лазерно-дуговой

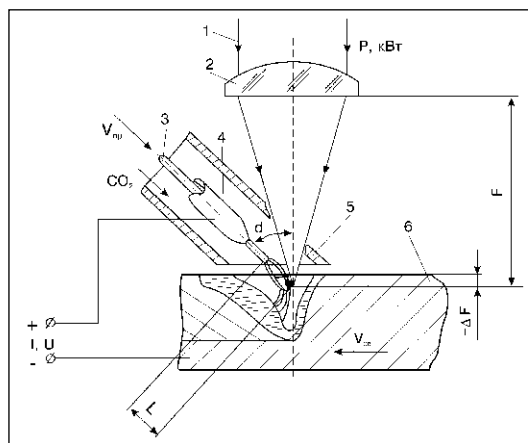


Рис. 3. Схема лазерно-дуговой сварки, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона: 1 — лазерное излучение; 2 — фокусирующий объектив; 3 — присадочная проволока; 4 — медный токоподводящий мундштук; 5 — защитное сопло; 6 — образец; V_{св} — скорость сварки; V_{пр} — скорость подачи присадочной проволоки; α — угол наклона электрода к оси лазерного пучка

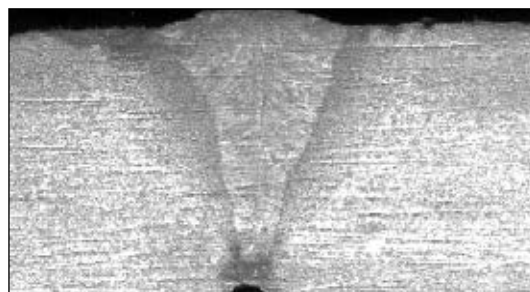


Рис. 4. Макроструктура поперечного сечения шва на стали 09Г2С ($\delta=10$ мм), сваренного лазерно-дуговым способом

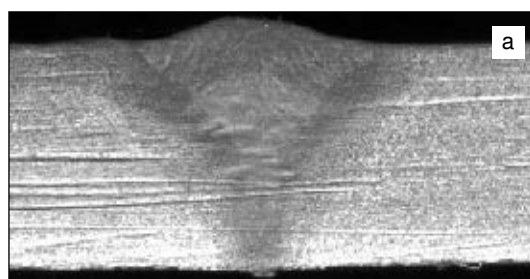
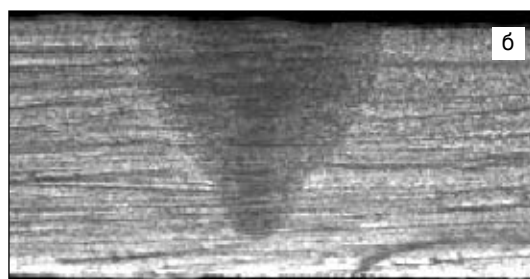


Рис. 5. Макроструктура поперечного сечения сварного соединения из стали 09Г2С ($\delta=6$ мм), выполненного гибридным лазерно-дуговым способом (а) и поперечного сечения сварного соединения из стали 09Г2С ($\delta=6$ мм), выполненного лазерным способом (б)



сваркой, в отдельных случаях приближается к геометрии и качеству швов, сваренных лазером при меньшей себестоимости погонного метра (например, при переходе совместно действующих тепловых источников в режим глубокого проплавления, когда примерно 1 кВт дуги способен оказать воздействие, эквивалентное увеличению мощности лазерного излучения на 1 кВт). ● #389

Электронно-лучевое сверление

А. А. Кайдалов, д-р техн. наук, Инновационный центр «Технологии и материалы» (Киев)

Термическое сверление металлов является одним из первых технологических применений электронного пучка. Еще в 1938 г. М. фон Арденне (Германия) создал устройство для сверления диафрагм электронных микроскопов электронным пучком. Первую промышленную установку для электронно-лучевого сверления разработал в 1953 г. К. Штейгервальд (ФРГ). С 1960 г. началось широкое использование технологии электронно-лучевого сверления сначала в ФРГ и США, а затем и в других странах.

Сверление отверстий электронным пучком является импульсным, динамическим процессом. Электронный пучок должен иметь резко очерченную форму и диаметр 0,01–0,2 мм при ускоряющем напряжении 60–150 кВ (плотность мощности 10^7 – 10^9 Вт/см²). Имеется два режима сверления: моноимпульсный и многоимпульсный (рис. 1). В первом режиме отверстие образуется за один импульс тока электронного пучка, а во втором — за два или более импульсов. В моноимпульсном режиме можно сверлить стали толщиной 0,1–10 мм (максимальное отношение диаметра к глубине отверстия 1:25), а в многоимпульсном режиме — толщиной до 50 мм.

Рис. 1. Диаграммы изменения силы тока I_n электронного пучка и скорости V перемещения изделия при сверлении: а — моноимпульсный; б — многоимпульсный режимы

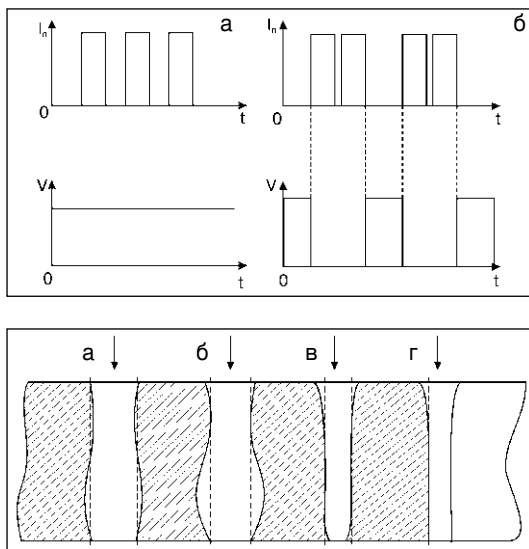


Рис. 2. Типичные формы отверстий при электронно-лучевом сверлении металла толщиной более 1 мм: а — входной и выходной диаметры отверстия равны; б, в, г — входной диаметр отверстия превышает выходной; а, б — кувшинообразная форма; в, г — мензуркообразная форма; в — входная и выходная часть отверстия имеют коническую форму, а основная часть отверстия цилиндрическая; г — входная часть отверстия имеет коническую форму, а остальная часть отверстия цилиндрическая. Стрелками показано направление падения электронного пучка

При аксиально-симметричном электронном пучке формируются круглые в поперечном сечении отверстия, близкие к цилиндрической или конической форме (рис. 2, 3). Наиболее идеальной формой отверстий является форма, приведенная на рис. 2, г. Коническая часть отверстия не превышает 10% его длины и, как правило, удаляется механической обработкой. Отверстия имеют полностью цилиндрическую форму при сверлении тонколистовых материалов (фольги). Электронным лучом, как правило, сверлят отверстия диаметром от 0,02 до 1,5 мм. Длительность импульса тока электронного пучка выбирают в диапазоне 0,1–5 мс. Максимальная мощность электронного пучка обычно не превышает 5 кВт. Частота сверления зависит от размера отверстия и составляет 4–3000 Гц. Для тонких пластин (типа фольги) толщиной 0,05–0,5 мм скорость сверления может быть 1500–3000 отверстий в секунду. Стальные пластины толщиной 3 и 5 мм можно просверливать со скоростью соответственно 120 и 20 отверстий в секунду при диаметре отверстий 0,3 и 0,7 мм.



Рис. 3. Продольное сечение круглых отверстий диаметром 0,2 мм после электронно-лучевого сверления стальной пластины толщиной 3 мм



Рис. 4. Установка фирмы «Steigerwald Strahltechnik GmbH (ФРГ) с телевизионным наблюдением для электронно-лучевого сверления сталей, сталита и неметаллов толщиной 0,5–5 мм

Поперечные размеры отверстий воспроизводятся с точностью $\pm 0,0025$ мм, а точность следования отверстий может достигать $\pm 0,00125$ мм.

Отверстия можно формировать и под углом до 60° от вертикали к поверхности заготовки.

Образование отверстия в металле происходит за счет интенсивного вскипания металла, расплавляемого высококонцентрированным электронным пучком, и выброса расплава реакцией отдачи при испарении. Такой кратковременный динамический «удар» сопровождается потоком капель металла, вылетающих из зоны обработки. Эти капли являются отходами производства. Все механизмы и устройства внутри вакуумной камеры должны быть защищены от воздействия капель и брызг металла.

Установки для электронно-лучевого сверления состоят из энергоблока (электронная пушка и источник ее питания), вакуумной камеры (где осуществляется процесс термического сверления), системы откачки воздуха из камеры и электронной пушки, высокоточного трех- или четырехкоординатного манипулятора для линейного и вращательного перемещения обрабатываемого изделия, системы оптического или телевизионного наблюдения за рабочей зоной и системы программного управления процессом сверления и работой установки. Технологический процесс на таких установках выполняется автоматически. Работа оператора сводится к загрузке и выгрузке изделия, заданию программы работы установки, замене быстроизнашивающихся элементов катодного узла электронной пушки и чистке вакуумной камеры, а также механизмов и устройств, расположенных в ней. Типичные установки и энергоблоки показаны на рис. 4 и 5. ИЭС им. Е. О. Патона (Киев) и АО «СЭЛМИ» (Сумы) разработан энергоблок ЭЛА-120/6 для электронно-лучевого сверления.

Техническая характеристика:

Максимальная мощность электронного пучка, кВт	6
Ускоряющее напряжение, кВ	120
Диапазон регулирования тока электронного пучка, мА	0,1–50
Нестабильность ускоряющего напряжения, %	$\pm 0,5$
Нестабильность тока электронного пучка, %	$\pm 0,5$
Расстояние от электронной пушки до обрабатываемого изделия, мм	100–300

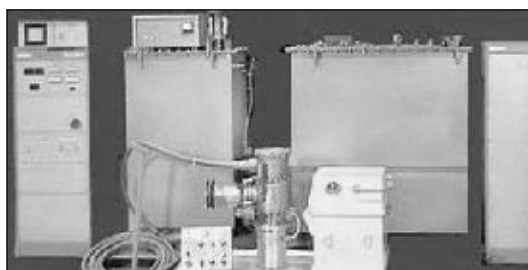


Рис. 5. Энергоблок для электронно-лучевого сверления ЭЛА-120/6 (Украина)

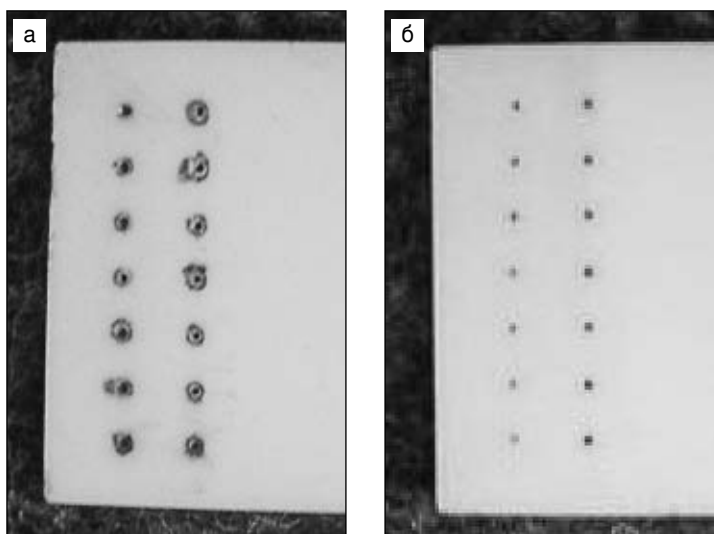


Рис. 6. Внешний вид керамической ($99,7\% \text{Al}_2\text{O}_3$) пластины толщиной 3 мм, просверленной электронным пучком: а — вид со стороны входа электронного пучка (средний диаметр отверстий 0,4 мм); б — вид со стороны выхода электронного пучка (средний диаметр отверстий 0,2 мм). Пластину не подвергали механической обработке и чистке после сверления

Питающая электросеть

с частотой тока	50/60 Гц, 380/220 В
Потребляемая мощность, кВт·А	8
Масса, кг	3500
Давление охлаждающей воды, МПа	0,3–0,4
Расход охлаждающей воды, л/мин	5

Процесс сверления можно осуществлять и с использованием оборудования для электронно-лучевой сварки. Для этого необходимо модернизировать электронную пушку (заменить катод и другие электроды электронно-оптической системы для получения тонкого электронного пучка) и канал управления током электронного пучка (повысить его быстродействие), а также дополнить системой программного управления импульсами тока электронного пучка и перемещения изделия.

Сверлить электронным пучком можно как металлы, так и на неметаллы, керамику, стекло, пластмассу, кварц, сапфиры (рис. 6, таблица). Производительность процесса электронно-лучевого сверления более чем в 10 раз превышает производительность процесса сверления лазерным лучом.

(Окончание на стр. 24)

Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами применительно к высоковольтным электрическим контактам

В. И. Лакомский, член-корр. НАН Украины, ИЭС им. Е. О. Патона

В настоящее время алюминий и магний получают в мощных металлургических агрегатах путем электролиза расплавленных солей. Электролизеры работают при повышенных температурах, превышающих тысячу кельвинов, и на токах в несколько сотен тысяч ампер. Каждый электролизер потребляет огромное количество электроэнергии. Достаточно сказать, что в мировом масштабе на производство алюминия ежегодно затрачивается столько электроэнергии, сколько вырабатывают за тот же период 15 таких гигантов гидроэнергетики, как Красноярская ГЭС.

Электроды для электролиза этих металлов изготавливают из графитированных и углеграфитовых материалов, поскольку только они могут устойчиво работать в течение нескольких лет в непосредственном соприкосновении с агрессивными расплавами фторидных и хлоридных солей. Электролиз магния ныне осуществляют на токах до 175 000 А, а алюминия — до 325 000 А.

Электрические соединения между указанными электродами и металлическими шинопроводами во всех электролизерах мира, даже в самых совершенных, выполняют с помощью прижимных (болтовых и клиновидных) контактов. С точки зрения теории электрических контактов для работы соединения в условиях повышенных температур это самые несовершенные контакты. В мощных современных электролизерах только в катодной части сосредоточена треть всех потерь электроэнергии.

При работе контактов в условиях повышенных температур контактные поверхности в местах соединения углеродного материала с металлом в одних случаях окисляются, а в других — загрязняются продуктами распада электролита, что приводит к значительному росту контактного сопротивления. В связи с этим возрастает удельный расход электроэнергии на производство металла. Если же учесть, что в себестоимости алюминия и магния электроэнергия составляет чуть ли не половину всех расходов, то можно себе представить, как это отражается на экономике производства.

Подсчитано, что, если снизить электросопротивление подины алюминиевого электролизера всего на 0,1 мкОм, то годовая экономия электроэнергии составит 92,5 МВт·ч.

Альтернатива прижимным электроконтактам, работающим при повышенных температурах, — сварные электрические контакты.

Однако до последнего времени дуговой сваркой не удавалось соединить электроды алюминиевых и магниевых электролизеров с металлическими шинами, так как:

- обычная электрическая дуга не пригодна для эффективного нагрева поверхностных слоев столь хрупкого материала, как углеграфит, поэтому требовалась разработка специального источника теплоты;
- два разнородных материала — углеродный материал и металл, особенно алюминий — резко отличаются по коэффициенту термического расширения, что при сварке и при дальнейшем нагреве

Рис. 1. Дуготрон Д-4 для вваривания электроконтактных пробок в углеродные блоки

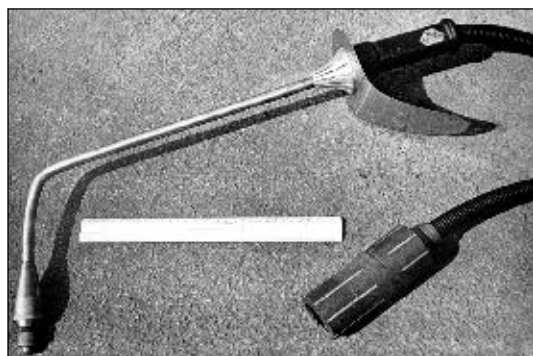
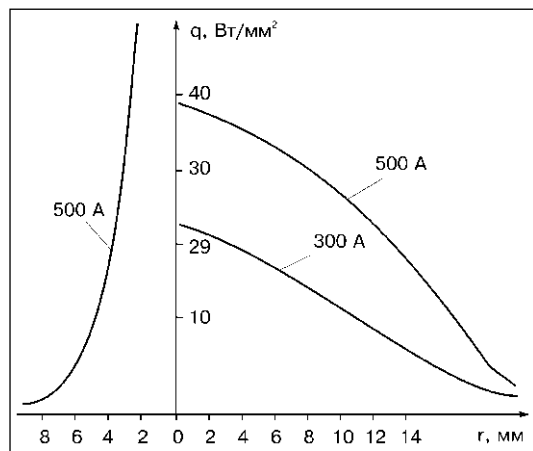


Рис. 2. Радиальное распределение теплового потока в анод-изделие: слева — вольфрамовая дуга в аргоне, справа — дуга с оксидным катодом при 300 и 500 А на воздухе



контакта в процессе запуска электролизера в работу может привести к разрушению сварного соединения, следовательно, необходимо было разработать конструкцию сварного соединения, исключающую опасность разрушения;

- не было прецедента сварки открытой дугой металлических сплавов с большим содержанием сильных раскислителей, таких как, например кремний, титан;
- не были разработаны специальные электродоконтактные сплавы для плазменно-дуговой сварки алюминия и углеродистых сталей с углеродными материалами без защиты зоны сварки флюсом или газами.

В 1980-х гг. в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины был разработан оксидный катод электрической дуги, способный работать на токах до 1000 А, и создан новый тип плазменно-дуговой горелки, названной дуготроном (рис. 1). Он представляет собой очень простую по сравнению с обычным плазмотроном бессопловую конструкцию горелки. Существенным отличием созданной горелки от плазмотрона и от свободно горящей дуги является «мягкий» нагрев изделия (анода). На рис. 2 показано, что плотность и степень концентрации теплового потока в анод с оксидного катода меньше, чем с вольфрамового катода. В такой горелке 65% теплового потока в анод осуществляется путем конвективной теплопередачи. Это позволяет с довольно высокой скоростью нагревать место сварки до 2000–2100 К, но без риска образования трещин в углеграфитовых катодах алюминиевых электролизеров.

Применительно к дуготрону были разработаны технология выполнения и конструкция сварного соединения. Вся технология сводится к ввариванию в массив углеродного блока электродоконтактной пробки диаметром и глубиной 30 мм. Перед сваркой на поверхности блока из углеродных материалов в заранее определенных местах высверливают глухие отверстия указанных размеров. Внутреннюю поверхность отверстия и объем углеродного материала вокруг этого отверстия прогревают дуготроном в течение 2 мин, затем за 1 мин полость пробки постепенно заполняют сплавом путем плавления присадочного прутка электродоконтактного сплава в столбе дуги. Благодаря прогреву места сварки и наличию в составе электродоконтактного сплава карбидообразующих элементов металл пробки не только смачивает, но и пропитывает



Рис. 3. Пример соединения шести прутков-компенсаторов из ЭКП с алюминиевым шинопроводом



Рис. 4. Задний торец печи Ачесона на 100 кА для производства графитированных электродов



Рис. 5. Один из торцов печи Ачесона на 20 кА для синтеза карбида кремния

ваает пористый углеродный материал на глубину до 10–15 мм. Это обеспечивает создание реальной контактной поверхности, в сотни раз превышающей геометрическую поверхность пробки. Такое соотношение беспрецедентно в теории контактов. Известно, что, чем больше контактная поверхность, тем меньше контактное сопротивление. В связи с этим сопротивление электродоконтактной пробки (ЭКП) из алюминиевого сплава составляет всего лишь около 50 мкОм, а из сплава на основе железа — около 100 мкОм. Контактная сборка, выполненная из нескольких ЭКП, в силу параллельного их включения имеет значительно меньшее сопротивление.

Когда расплав в объеме пробки достаточно подстынет, в него вставляют пучок металлических компенсаторов из того же материала, что и электропроводная шина. После механической сборки электрода с шинопроводом компенсаторы с помощью

обычной дуговой сварки соединяют с металлом шинопровода.

Электроконтактная пробка с замороженными в нее компенсаторами является основным конструктивным элементом любой сварной электроконтактной сборки (рис. 3). Каждая ЭКП рассчитана на определенную силу тока, зависящую от условий работы пробки (температура, цикличность работы, наличие охлаждения, состав электроконтактного сплава, окружающая среда и т.д.). В катоде алюминиевого электролизера расчетная сила тока ЭКП составляет 400 А, в аноде магниевого электролизера — 500 А.

Переходное сопротивление сварных электрических контактов углеродного материала с металлами в отличие от прижимных не зависит от силы тока и от времени их эксплуатации. С повышением температуры контакта его переходное сопротивление понижается.

Следует отметить, что, используя ЭКП, можно подвести ток в любую заранее заданную точку на габаритном электроде из углеродного материала. Это открывает возможности создания новых конструкций электролизеров и термических печей сопротивления.

Разработанная технология выполнения сварного соединения углеродных материалов с металлами прошла промышленное опробование на Запорожском алюминиевом

комбинате, электродном заводе и абразивном комбинате, а также на трех алюминиевых заводах Италии, Великобритании и Австралии. Везде было достигнуто снижение удельного расхода электроэнергии, а в Австралии, кроме того — повышение выхода металла по току на 6%. Это значит, что, не увеличивая удельный расход электроэнергии, при выплавке каждой тонны металла получают дополнительно 60 кг алюминия.

Использование сварных электрических контактов взамен прижимных на термических печах Ачесона для производства графитированных электродов (рис. 4) и для синтеза карбида кремния (рис. 5) позволило экономить электроэнергию за счет снижения сопротивления в контактах до 400 кВт·ч/т, заменить дорогую медную ошиновку на сравнительно дешевую алюминиевую, а также снизить трудозатраты на обслуживание контактов (периодическую зачистку контактных поверхностей и подтяжку контактных соединений). ● #391

Технология плазменно-дуговой сварки, ее особенности, специфические свойства электроконтактных соединений изложены в книге В. И. Лакомского и М. А. Фридмана «Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами», которая выйдет в свет в начале 2004 г. Заказы на книгу направляйте в редакцию журнала «Сварщик» по тел./ф.: +380 44 227 6502; e-mail: welder@svitonline.com.

Электронно-лучевое сверление

(Окончание. Начало на стр. 21)

Основными областями применения электронно-лучевого сверления сейчас являются производство разнообразных фильтрующих элементов, «сит» (рис. 7) для изготовления тонкого стекловолокна, лопаток газовых турбин (отверстия охлаждения), воздухопроводов, оборудования для перера-

Таблица. Характеристики сверления электронным пучком различных материалов

Материал	Толщина, мм	Диаметр отверстия, мм	Ускоряющее напряжение, кВ
Вольфрам	0,25	0,025	140
Нержавеющая сталь	2,5	0,125	140
	1,0	0,125	140
Алюминий	2,5	0,125	140
Корунд (Al ₂ O ₃)	0,75	0,300	125
Кварц	3,0	0,025	140



Рис. 7. Внешний вид «сита» для изготовления стекловолокна

ботки пластмасс, сит для просеивания порошковых материалов (цемента, цветочных пигментов, пищи), очистителей сахара, центрифуг, изделий фармацевтической промышленности, бумагоделательных машин и т. д. ● #390

Технология газодинамического нанесения металлических покрытий

Часть 3. Оборудование ДИМЕТ®

О. Ф. Клюев, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин, Т. В. Буздыгар, кандидаты физ.-мат. наук, Обнинский центр порошкового напыления (Обнинск, Россия)

Технологическое оборудование серии ДИМЕТ предназначено для нанесения металлических покрытий газодинамическим методом. Конструкция оборудования обеспечивает создание воздушного сверхзвукового потока, введение в этот поток частиц напыляемого порошкового материала и ускорение этих частиц до скоростей, достаточных для эффективного формирования металлических покрытий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Оборудованию присвоен товарный знак ДИМЕТ®, оно сертифицировано в системе ГОСТ Р.

В настоящее время выпускают три модификации оборудования ДИМЕТ: модели 402, 403 и 412 (таблица), предназначенные для ручного нанесения ряда металлических покрытий при выполнении широкого спектра работ в производстве, при ремонте и восстановлении машин и механизмов различного назначения. Оборудование позволяет также производить струйно-абразивную обработку поверхностей (очистку поверхности от загрязнений и активацию поверхности перед нанесением покрытий). Для нанесения баббитовых покрытий дополнительно к оборудованию ДИМЕТ выпускают специальный сопловой блок СББ-03. Для проведения ремонтно-восстановительных работ на газоперекачивающих аппаратах (ГПА) магистральных газопроводов на базе оборудования ДИМЕТ предназначен комплекс ДИМЕТ-ГП-3.

Для работы оборудования необходим сжатый воздух давлением 0,6–1,0 МПа (расход 0,3–0,4 м³/мин). Чистота воздуха, согласно ГОСТ 17433–80, должна соответствовать классам 1, 3, 5. Необходима электросеть напряжением 220 В, 50 Гц.

Оборудование ДИМЕТ® модель 402 предназначено для ручного нанесения алюминиевых, цинковых и медных покрытий при изготовлении и ремонте различных

Таблица. Техническая характеристика оборудования ДИМЕТ®

Показатель	Модель		
	402	403	412
Напряжение питающей сети, В (Гц)	220 (50)	220 (50)	220 (50)
Потребляемая мощность, кВт	2,3	3,2	2,8
Количество режимов напыления покрытий	Один	Пять	Два
Производительность по массе наносимого покрытия на основе алюминия, г/мин	1–3 (0,3–1 см ³ /мин)	1–6 (0,3–2 см ³ /мин)	1–04 (0,3–1 см ³ /мин)
Габаритные размеры, мм	550×470×260	550×470×260	240×350×350
Масса, кг	14	16	7,5

деталей и узлов машин и механизмов. Оно выполнено в виде переносного комплекта, все узлы и элементы которого смонтированы на монтажной стойке (рис. 1). В комплект входят напылитель (включающий нагреватель воздуха и сверхзвуковое сопло), модуль подготовки воздуха, два порошковых питателя, электрический блок питания порошковых питателей. Элементы и узлы соединены электрическими кабелями и пневмошлангами.



Рис. 1. Комплект оборудования ДИМЕТ модель 402

Оборудование ДИМЕТ® модель 403 предназначено для ручного нанесения алюминиевых, цинковых, медных и никелевых покрытий, при изготовлении и ремонте различных деталей. Его также можно встраивать в автоматизированные линии, рабочие посты, участки по нанесению покрытий. Выполнено в виде переносного комплекта, все узлы и элементы которого смонтированы на монтажной стойке (рис. 2). Оборудование этой модели включает напылитель усовершенствованной конструкции, модуль подготовки воздуха, два порошковых питателя, блок контроля и управления. Для работы оборудования необходим сжатый воздух и напряжение питающей сети.



Рис. 2.
Комплект
оборудования
ДИМЕТ
модель 403



Рис. 3.
Комплект
оборудования
ДИМЕТ
модель 412

Модель 403 оснащена устройством стабилизации, обеспечивающим устойчивую работу комплекта при колебаниях напряжения питающей сети в диапазоне 180–250 В. Здесь также предусмотрена возможность дистанционного управления и подключения дополнительных устройств, например, пневмоэлектроклапана или других элементов, необходимых для включения оборудования в состав автоматизированного комплекса.

Оборудование ДИМЕТ® модель 412 предназначено для ручного нанесения металлических покрытий при изготовлении и ремонте машин и механизмов. В переносной комплект, смонтированный на металлическом трансформируемом корпусе, входит напылитель, модуль подготовки воздуха, один порошковый питатель, электрический блок коммутации и управления работой оборудования (рис. 3). Элементы и узлы оборудования соединены электрическими кабелями и пневмошлангами.

Напылительные сопла. Все модели ручного напылительного оборудования серии ДИМЕТ комплектуют круглыми и плоскими соплами со сменными сопловыми вставками. Круглое сопло формирует пятно напыления диаметром 5 мм, плоское — прямоугольное пятно размером 3×10 мм.

Порошковые питатели обеспечивают непрерывную подачу рекомендованных производителем порошковых материалов в заданном диапазоне производительности с неравномерностью не более 20%. Специальные технические решения позволяют обеспечивать равномерную подачу плохосыпучих материалов.

Сопловый блок СББ-03 для напыления баббитов. Все модели оборудования ДИМЕТ могут быть дополнительно укомплектованы сопловым блоком СББ-03, предназначенным для нанесения покрытий из баббитов БК2 и Б83 при выполнении ремонтных работ по устранению поврежденных антифрикционных покрытий подшипников скольжения. Сопловый блок включает асимметричное сопло и специальные сопловые термокинетические насадки, обеспечивающие размеры пятна напыления от 10 до 35 мм.

Расходные материалы. При использовании оборудования ДИМЕТ — это порошковые материалы (в предлагаемом предприятии ассортименте) и сменные (изнашиваемые) сопловые вставки. Предприятие-изготовитель рекомендует использовать оригинальные порошковые ма-

териалы и сменные сопловые вставки во избежание повреждения оборудования.

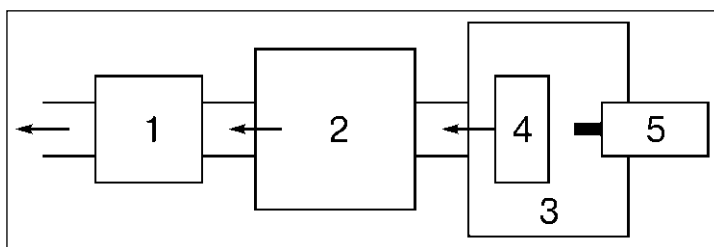
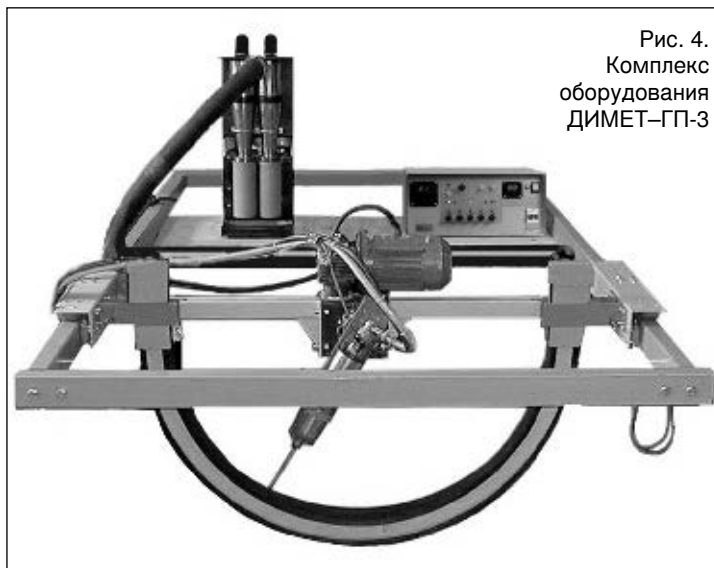
Комплекс оборудования ДИМЕТ-ГП-3 предназначен для проведения ремонтно-восстановительных работ на газоперекачивающих аппаратах (ГПА) типа ГТК-10-4, работающих в составе газоперекачивающих станций магистральных газопроводов (рис. 4). Комплекс включает комплект оборудования ДИМЕТ модели 403К для нанесения металлических покрытий; систему СППУ-3 для автоматизированного программного пространственного перемещения напылительного блока и управления работой комплекса; фильтровытяжное устройство ФВУ-3 для вытяжки и сбора пыли из рабочей зоны и фильтрации воздуха; пылезащитные устройства для локализации рабочей зоны при обработке статорных лопаток и поверхностей разъема турбины.

Оборудование обеспечивает повышение мощности и коэффициента полезного действия ГПА за счет уменьшения радиальных зазоров проточной части осевого компрессора и турбин высокого и низкого давления, снижения протечек рабочего тела по плоскостям разъемов турбины. Эффект достигается восстановлением нормативных геометрических размеров деталей и узлов ГПА при нанесении металлических покрытий согласно технологической карте дефектации изделия.

Рекомендации по организации рабочего места при работе с оборудованием ДИМЕТ®. К работе с оборудованием ДИМЕТ® допускают персонал, имеющий право работы с электроинструментом и сжатым воздухом. Для пылезащиты персонала и окружающей среды при работе с оборудованием ДИМЕТ® в закрытых помещениях необходимо оборудовать рабочее место вытяжкой. Примерная схема организации рабочего места показана на рис. 5.

Пылезащитная камера должна обеспечивать возможность размещения в ней обрабатываемых изделий при условии доступа к ним сопла напылительного блока. Персонал должен быть защищен индивидуальными средствами пылезащиты (очки, респиратор). Фильтр должен обеспечивать очистку запыленного воздуха от пыли (не вошедшего в покрытие порошка). Вытяжной вентилятор должен обеспечивать эффективную вытяжку запыленного воздуха из системы «пылезащитная камера—фильтр—воздуховоды». Производительность вентилятора должна быть не менее 2 м³/мин.

Рис. 4. Комплекс оборудования ДИМЕТ-ГП-3



В качестве системы пылеочистки можно использовать как готовые промышленные пылесосы с достаточной производительностью и степенью фильтрации воздуха, так и специально изготовленные устройства, которые могут включать циклоны, фильтры тонкой очистки и вытяжные вентиляторы.

Предприятие ДИМЕТ предлагает:

- поставки оборудования и технологии нанесения покрытий с обучением персонала;
- гарантийное и сервисное обслуживание оборудования, поставку расходных материалов;
- оказание консультационной, информационной, технической и другой помощи, необходимой для эффективной эксплуатации оборудования;
- доработку типовых покрытий и базовых вариантов оборудования ДИМЕТ® применительно к технологическому циклу производства заказчика.

● #392

Рис. 5. Схема организации рабочего места: 1 — вытяжной вентилятор; 2 — фильтр; 3 — пылезащитная камера; 4 — изделие; 5 — напылитель ДИМЕТ

Обнинский центр порошкового напыления
249031, Россия, Калужская обл.,
г. Обнинск, ул. Курчатова, д. 21, оф. 114б.
Тел./факс: (08439) 68-007
E-mail: ocps@obninsk.com
www.amazonit.ru/ocpn/default.html



Информационно-расчетная система «Выбор сварочных материалов для дуговой сварки конструкционных сталей»

Т. В. Королева, инж., ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины,
И. Г. Лавринец, инж., НПФ «Корба» (Буча, Киевская обл.)

Учитывая широкий ассортимент сварочных электродов, сплошной и порошковой проволоки, флюсов, защитных газов для дуговой сварки конструкционных сталей, трудно сделать оптимальный выбор сварочных материалов и режимов сварки для конкретного основного материала чисто экспериментальным путем, так как это требует либо большого опыта, либо многочисленных испытаний.

Разработанная компьютерная система поможет сократить объем сравнительных испытаний и выполнить прогнозирование свойств сварного шва для обоснованного выбора сварочных материалов. В качестве исходной информации для системы используют данные фирмы-изготовителя сварочных материалов (режим сварки, коэф-

Рис. 1. Схема разделки (а) и заполнения ее «ниточными швами» (б) или слоями (в)

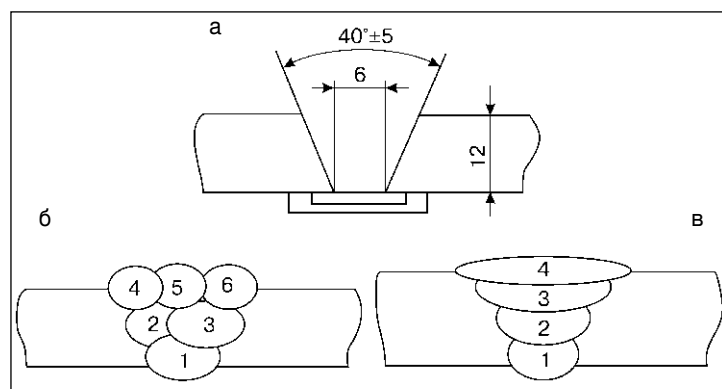


Таблица 1. Химический состав основного и наплавленного металлов, %, для примера 1

Металл	C	Si	Mn	Ni	Al
Основной	0,18	0,4	1,3	0,3	0,01
Наплавленный	0,09	0,3	1,5	—	—

Таблица 2. Режимы сварки рассматриваемого соединения для примера 1

Номер прохода	Сила тока I, А	Напряжение на дуге U _д , В	Скорость сварки V _{св} , см/с	Коэффициент наплавки α _н , г/(А·ч)
1	135	19	0,17	12
2, 3	210	27	0,20	14
4, 5, 6	170	20	0,42	13

фициент наплавки, химический состав наплавленного металла и др.). Эти данные вводит пользователь одновременно с указанием марки свариваемой конструкционной стали (основного материала) и ее химического состава. В обмен система выдает следующую информацию:

- размер и форму зоны проплавления (ЗП) для корневого шва и последующих проходов (условия формирования сварного шва, риск прожога и пр.);
- химический состав металла ЗП;
- микроструктурный состав металла ЗП и ЗТВ;
- механические свойства (твердость, временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость, KCV при температурах 20...70 °С в ЗП и ЗТВ);
- риск образования горячих и холодных трещин.

Подробную информацию о принципах построения системы и ее возможностях можно получить в статье *Махненко В. И., Королева Т. В., Лавринец И. Г. Компьютерная система выбора сварочных материалов для дуговой сварки конструкционных сталей* (Автоматическая сварка, № 2, 2003, с. 14–18).

Ниже приведены примеры применения расчетной системы в сопоставлении с экспериментальными данными.

Пример 1. Сварное стыковое соединение (рис. 1) из пластин стали ДН-32 толщиной 12 мм выполнено дуговой сваркой (МАГ) в защитной среде 18% CO₂+82% Ar сплошной проволокой ОК Autrod 12.51 (d_э=1,2 мм) на керамической подложке. Сварка – «ниточными швами» (рис. 1, б). Химический состав основного и наплавленного металлов приведен в табл. 1, режимы сварки, примененные на судостроительном заводе «Океан», – в табл. 2.

Данные относительно коэффициентов наплавки α_н для сплошной проволоки при сварке МАГ в зависимости от диаметра электрода d_э, силы тока I и напряжения на дуге U_д генерируются системой на основе обобщения соответствующей справочной

информации фирм-изготовителей сварочных материалов. Для корневого шва (№ 1) и заполняющих проходов (№ 2, 3) данные табл. 2 полностью согласуются с данными системы для сварки с вылетом электрода примерно 15 мм. Для облицовочных проходов (№ 4, 5, 6) напряжение на дуге U_d соответствуют укороченному вылету электрода.

В табл. 3 (рис. 2, а) приведены результаты расчета параметров формирования сварного соединения для каждого прохода: погонная энергия $Q_{\text{пог}}$; скорость сварки $V_{\text{св}}$; высота валика H ; площадь сечения валика S_{hva} ; площади проплавления (общая $S_{\text{про}}$, предыдущих слоев либо основного металла $S_{\text{про2}}$, при укладке валиков слева направо $S_{\text{про3}}$); химический состав зоны проплавления $S_{\text{про}}$.

Рассчитанные системой механические свойства в сечении сварного соединения показаны на рис. 3. Выполненные штатные измерения твердости в поперечном сечении шва показали, что в ЗТВ значения HV равны 208–232 единицам, а в металле шва — 210–219, что вполне согласуется с данными на рис. 3, а. В результате измерений установлено, что ударная вязкость KCV_{-20} меняется по сечению соединения в пределах 1,27–2,8 МДж/м², что также достаточно хорошо согласуется с данными на рис. 3, б.

Пример 2. Сварное стыковое соединение пластин из стали 16Г2Ф толщиной 18 мм выполнено дуговой сваркой (МАГ) в защитной среде 20% CO₂+ 80% Ar порошковой проволокой марки ВетППс-ТМВ57 2,2 ПГ59-Арн, ТУ У 19369185017-98 ($d_3=2,2$ мм). Сварка выполнена слоями (см. рис. 1, в). Химический состав основного наплавленного металлов приведен в табл. 4, режимы сварки — в табл. 5.

В табл. 6 (см. рис. 2, б) приведены результаты расчета параметров формирования сварного соединения для каждого прохода аналогично результатам примера 1. Расчетные данные системы относительно механических свойств в сечении сварного соединения показаны на рис. 4.

Из изложенного видно, что представляемая системой информация вполне может служить основой для сравнения различных вариантов сварки как для выбора сварочных материалов, так и для определения режимов сварки.

Для работы с информационно-расчетной системой достаточно иметь компьютер с жестким диском не менее 1 Гб, оперативной памятью 32 Мб. Установка системы не требует специальной подготовки пользователя. Дополнительная информация расположена на сайте www.arc-welding.kiev.ua. ● #393

Таблица 3. Результаты расчета параметров формирования сварного шва при выполнении сварки «ниточными швами» (пример 1)

```

=====Корневой шов (1)
Qпог= 10561.76 Дж/см Vсв= .17 см/с H= .45 см
Shva= .42 см2 Sпро= .61 см2 Sпро2= .00 см2 Sпро3= .00 см2
C= .118 Mn= 1.439 Si= .747 Al= .003
=====1 Заполняющий слой, 1 шов (2)
Qпог= 19845.00 Дж/см Vсв= .20 см/с H= 1.20 см
Shva= .51 см2 Sпро= .95 см2 Sпро2= .16 см2 Sпро3= .00 см2
C= .121 Mn= 1.432 Si= .729 Al= .003
=====1 Заполняющий слой, 2 шов (3)
Qпог= 19845.00 Дж/см Vсв= .20 см/с H= 1.20 см
Shva= .45 см2 Sпро= .95 см2 Sпро2= .21 см2 Sпро3= .06 см2
C= .120 Mn= 1.433 Si= .732 Al= .003
=====Облицовочный слой, 1 шов (4)
Qпог= 5651.25 Дж/см Vсв= .42 см/с H= 1.20 см
Shva= .29 см2 Sпро= .36 см2 Sпро2= .00 см2 Sпро3= .04 см2
C= .096 Mn= 1.488 Si= .869 Al= .003
=====Облицовочный слой, 2 шов (5)
Qпог= 5651.25 Дж/см Vсв= .42 см/с H= 1.20 см
Shva= .25 см2 Sпро= .30 см2 Sпро2= .01 см2 Sпро3= .04 см2
C= .102 Mn= 1.474 Si= .836 Al= .003
=====Облицовочный слой, 3 шов (6)
Qпог= 5651.25 Дж/см Vсв= .42 см/с H= 1.20 см
Shva= .27 см2 Sпро= .32 см2 Sпро2= .01 см2 Sпро3= .04 см2
C= .096 Mn= 1.488 Si= .869 Al= .003
    
```

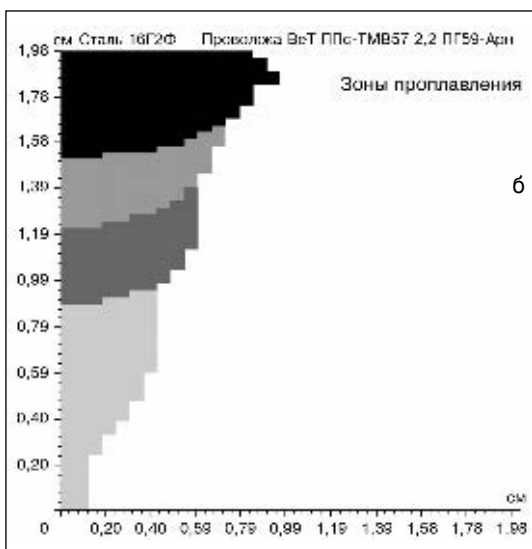
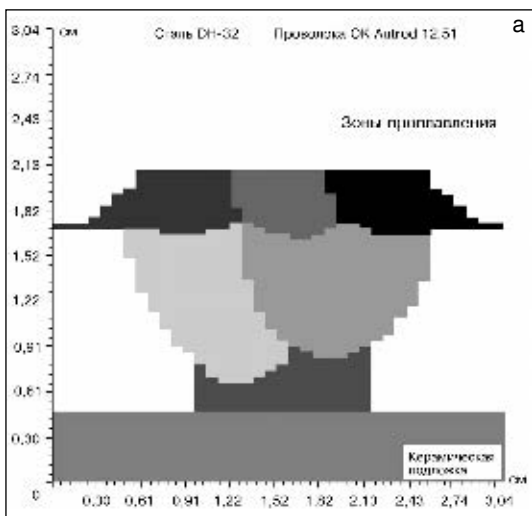


Рис. 2. Зоны проплавления, полученные при расчете для сварки «ниточными швами» (а) и слоями (б)

Таблица 4. Химический состав основного и наплавленного металлов, %, для примера 2

Металл	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	V	N	P	Mo	S
Основной	0,15	0,5	1,5	0,3	0,3	0,3	0,08	0,02	0,03	—	0,03
Наплавленный	0,1	0,3	1,2	1	0,35	—	—	—	0,02	0,3	0,02

Таблица 5. Режимы сварки рассматриваемого соединения для примера 2

Номер прохода	Сила тока I, А	Напряжение на дуге U _д , В	Скорость сварки V _{св} , см/с	Коэффициент наплавки α _н , г/(А·ч)
1	280	22	0,4	15
2	280	22	0,4	15
3	280	22	0,4	15
4	280	22	0,36	15

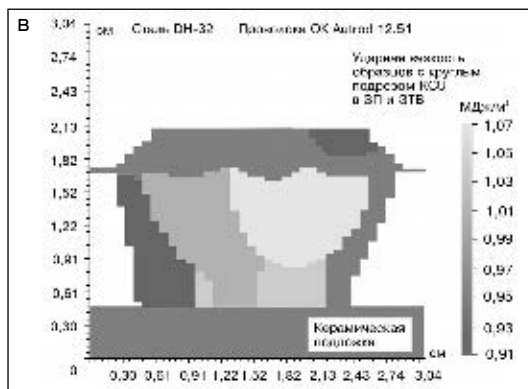
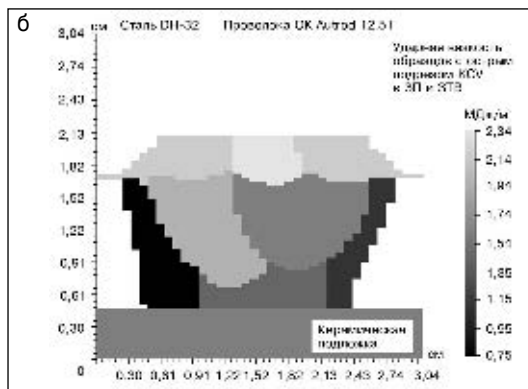
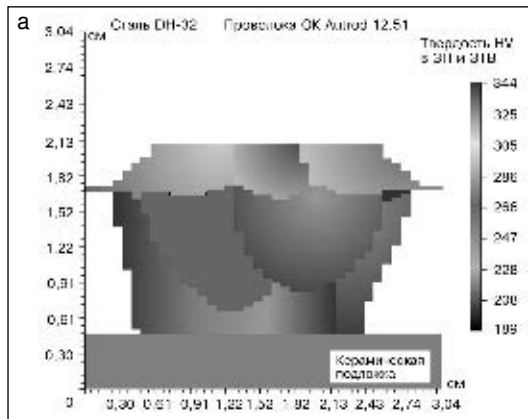


Рис. 3. Результаты расчета механических свойств в сечении сварного соединения (пример 1): а — твердость HV; б, в — ударная вязкость KCV₂₀, KCU

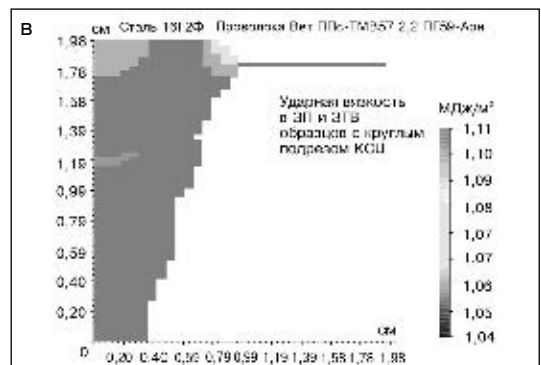
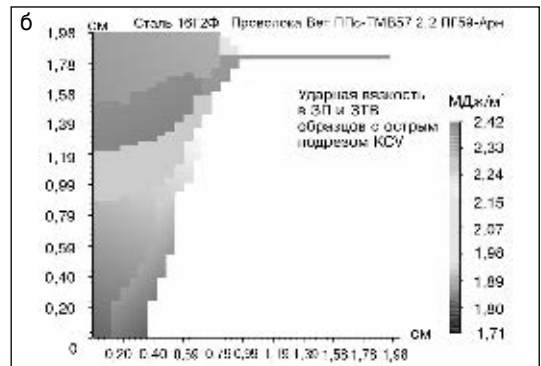
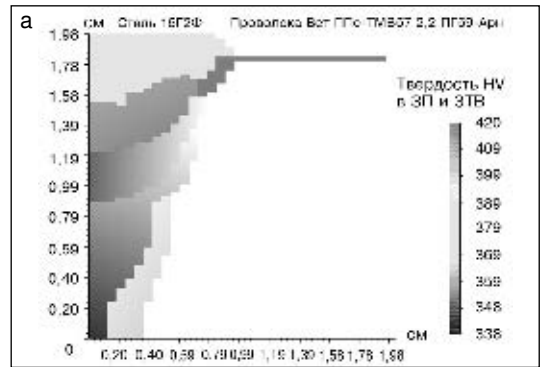


Рис. 4. Результаты расчета механических свойств в сечении сварного соединения (пример 2): а — твердость HV, б, в — ударная вязкость KCV₂₀, KCU

Таблица 6. Результаты расчета параметров формирования сварного шва при выполнении сварки слоями (пример 2)

```

=====Корневой шов (1)
Qpog= 10780.00 Дж/см Vsv= .17 см/с H= .92 см
Shva= .48 см2 Spro= .50 см2
C= .102 Mn= 1.213 Si= .309 Cr= .348 Ni= .969 Mo= .287
V= .004 Cu= .013 P= .020 S= .020
*****Непроплавление! .24 см*****
=====1 Заполняющий слой (2)
Qpog= 10780.00 Дж/см Vsv= .40 см/с H= 1.35 см
Shva= .46 см2 Spro= .50 см2
C= .102 Mn= 1.213 Si= .308 Cr= .348 Ni= .971 Mo= .287
V= .003 Cu= .013 P= .020 S= .020
=====2 Заполняющий слой (3)
Qpog= 10780.00 Дж/см Vsv= .40 см/с H= 1.66 см
Shva= .43 см2 Spro= .57 см2
C= .101 Mn= 1.203 Si= .302 Cr= .349 Ni= .993 Mo= .297
V= .001 Cu= .003 P= .020 S= .020
=====Облицовочный слой (4)
Qpog= 12010.00 Дж/см Vsv= .36 см/с H= 1.79 см
Shva= .42 см2 Spro= .65 см2
C= .101 Mn= 1.207 Si= .305 Cr= .349 Ni= .983 Mo= .293
V= .002 Cu= .007 P= .020 S= .020
    
```

ООО «Фрониус–Факел» представляет новые установки для конденсаторной сварки

При изготовлении крупногабаритных металлоконструкций широко применяют соединение стержней к плоским элементам методом дугоконтактной сварки с нагревом торца стержня дугой постоянного тока или конденсаторным разрядом.

Сварочные установки LBS 066 (рис. 1) и LBS 090 (рис. 2) предназначены для дугоконтактной сварки конденсаторным разрядом шпилек (болтов, бонок, штифтов, плоских штекеров и т. п.) диаметром до 8 мм из углеродистых и высоколегированных сталей, алюминия к листовому металлу толщиной от 0,8 мм.

Сварочная установка состоит из двух главных компонентов: блока питания и управления, а также сварочного пистолета (рис. 3).

Техническая характеристика

установки LBS 090:

Напряжение питающей сети 50 Гц, В. 220

Источник питания

сварочным током. Конденсатор

Продолжительность сварки, мс. 1–3

Диаметр привариваемых

стержней, мм. 2–8(10)

Материал. Углеродистая, нержавеющая стали, цветные металлы

Производительность сварки, шт./мин. До 60

Габаритные размеры, мм. 345×290×380

Масса, кг. 19

В зависимости от модели сварочного пистолета его заправку сварочными элементами осуществляют вручную или автоматически. Сварочные пистолеты оснащают специальными держателями для зажима деталей различной геометрической формы.

Процесс сварки начинают с позиционирования сварочного элемента на поверхности, к которой он должен быть приварен (рис. 4, а).

На следующем этапе при подаче сварочного тока происходит оплавление выступа (рис. 4, б) и возбуждение вспомогательной дуги. После этого осуществляют оплавление свариваемых поверхностей (рис. 4, в) и приварку стержня (рис. 4, г).

Прижимное устройство сварочного пистолета позволяет регулировать глубину погружения стержня в сварочную ванну на поверхности изделия.

Сварочные установки LBS можно применять для приварки стержней при изготовлении металлоконструкций различного назначения (рис. 5).

● #394

В. А. Березюк



Рис. 1. Сварочная установка LBS 066



Рис. 2. Сварочная установка LBS 090



Рис. 3. Сварочный пистолет РКМ-1

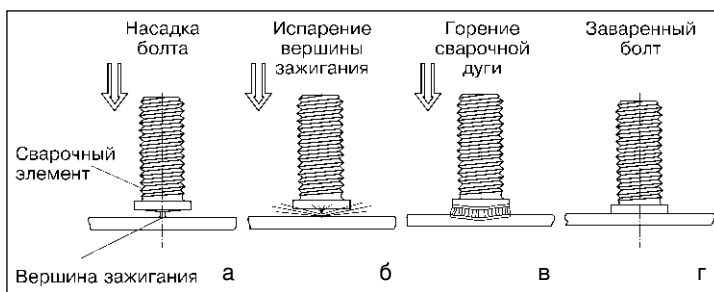


Рис. 4. Последовательность операций приварки шпилек

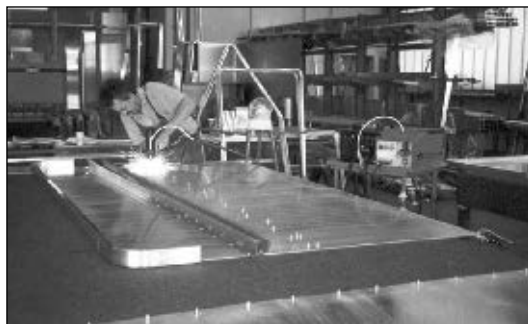


Рис. 5. Применение сварочной установки LBS 090 при изготовлении рекламных щитов

Современная технология изготовления сплошной проволоки для сварки в защитных газах

А. Занирато, А. Сурнин, SAMP Steel s.p.a (Италия)

Технология изготовления сплошной проволоки малого диаметра является, вероятно, самой новой среди технологий четвертого передела стали.

Первые сварочные проволоки были изготовлены еще в годы Второй мировой войны в основном для сварки конструкций военной техники. Развитие производства проволоки для сварки в защитных газах как эффективной альтернативы покрытым электродам, прежде всего для судостроения и автомобилестроения, начинается только в 1960-х годах.

Длительное время технологический процесс изготовления проволоки существенно не менялся. В последние годы технология изготовления проволоки претерпела серьезные изменения, заслуживающие внимание специалистов сварочного производства. Совершенствование технологии произошло вследствие постоянно возрастающего спроса на мировом рынке на стальную сплошную проволоку для сварки в защитных газах и повышения требований потребителя к качеству готового продукта.

Конкуренция среди производителей сварочной проволоки способствовала существенному увеличению объемов ее изготовления, а также разработке и внедрению новых технологических решений для повышения качества проволоки. Конкурентная борьба производителей привела к тому, что они разделились на

два лагеря — на тех, кто делал ставку на качество продукции, и на тех, кто основным фактором для завоевания рынка считал стоимость проволоки. К сожалению, большинство дистрибьюторов и потребителей проволоки для сварки в CO_2 углеродистых сталей при выборе сварочного материала основное внимание уделяли его цене.

Производители сварочной проволоки, для которых не приемлем принцип работы «чем дешевле — тем лучше», направили свои усилия на тщательный контроль производственных издержек на всех стадиях технологического процесса — от получения стальной заготовки до упаковки готовой продукции.

Перед металлургами была поставлена задача изготавливать стальную катанку с такими физико-химическими характеристиками, которые позволяли бы производить ее включение без дополнительной термической или химической обработки. Современное волочильное производство потребовало новые смазки, высококачественные волокна, чтобы обеспечить изготовление проволоки и с большей скоростью, и хорошего качества. Ведущие фирмы-производители оборудования постоянно ведут конструкторские и технологические работы по совершенствованию технических характеристик машин, делая их все более производительными.

Остановимся детально на том, как новые технологии отразились на конструкции волочильного оборудования. За основу принят известный процесс изготовления сплошной проволоки, обеспечивающий требуемое качество продукции и ее умеренную цену.

Основными операциями производства сплошной проволоки являются:

- подготовка поверхности катанки;
- первое волочение катанки;
- второе волочение проволоки с одновременным ее омеднением;
- намотка проволоки на катушки.



Катанку получают из стали после переработки чугуна или металлического лома (скрапа). Долгое время считалось, что сталь, полученная из чугуна, обладает более высокими свойствами, чем сталь из скрапа. Последние технологические достижения в сталеплавильном производстве позволяют получать сталь из скрапа с высокими и стабильными физико-химическими характеристиками, не уступающими стали из чугуна, но которая имеет значительно меньшую стоимость.

Самым важным технологическим приемом, обеспечивающим высокое качество катанки, стал процесс контролируемого ее охлаждения (Steelmore) после прокатки. Благодаря этому процессу на поверхности катанки образуется легко удаляемая окалина.

Первое волочение — наиболее важная операция в общем процессе изготовления сплошной сварочной проволоки. Строгое соблюдение технологии позволяет при последующем волочении получать сплошную проволоку малых диаметров без предварительной термической обработки. Первое волочение проводят на волочильных машинах (точное название «сухое волочение»), которые обеспечивают достаточную смазку проволоки, постоянное ее охлаждение, минимальное напряжение в проволоке. Это достигается за счет применения многопроходного волочения, внедрения специальных систем охлаждения проволоки, применения специальных смазок со строго определенными физическими характеристиками.

При современных скоростях волочения (до 30 м/с) оператор не в состоянии постоянно контролировать технологический процесс. Поэтому волочильные машины оснащены автоматическими системами контроля и управления процессом волочения. Все машины сухого волочения комплектуют большегрузными намоточными устройствами со специальными приемниками, что исключает необходимость остановки машины.

Второе волочение проволоки совмещено с процессом ее омеднения. Особенности второго волочения предъявляют повышенные требования к количеству смазки на поверхности проволоки после первого волочения. Ее должно быть достаточно для волочения, но она не должна оставаться на поверхности перед омеднением.

Существовало два основных фактора, сдерживающих рост производительности второго волочения: замена отработавших

валков и встроенная намотка готовой проволоки на катушки массой 15–18 кг. Первая проблема в современных машинах решена путем использования заранее приготовленных комплектов валков.

Самый существенный рост производительности был достигнут за счет намотки проволоки на большие катушки (500–800 кг) с последующей ее перемоткой на меньшие катушки на другой машине.

Такое решение позволило:

- сократить число операторов, обслуживающих машины второго волочения;
- сократить число и длительность остановок машины;
- упростить механизм намотки и снятия готовой проволоки.

Высокие скорости волочения (до 25 м/с) потребовали создания модифицированной системы диффузионного омеднения поверхности проволоки, исключающей проникновение обрабатывающих жидкостей в смежные секции машины.

Выделение операции перемотки проволоки на катушки из общего технологического процесса позволило производителям решить проблему послышной намотки проволоки на катушки. Потребители проволоки постоянно требовали от производителей поставку проволоки с послышной намоткой, так как это оказывает положительное влияние на стабильность процесса механизированной сварки.

Полностью автоматизированные установки перемотки проволоки постепенно вытесняют машины ручной и механизированной перемотки, так как обеспечивают повышение производительности этой операции в 2–3 раза. Следует отметить, что освоение автоматического процесса перемотки проволоки стало возможным благодаря повышению точности ее изготовления на современном волочильном оборудовании.

Сегодня, когда потребители сплошной проволоки предъявляют более жесткие требования к геометрическим размерам проволоки, качеству ее намотки, а производитель обязан постоянно совершенствовать технологию и повышать производительность ее изготовления, становится очевидным, что производство сварочной сплошной проволоки превращается в самостоятельную отрасль сварочного производства.

Развитие этой отрасли будут осуществлять на основе совершенствования волочильного оборудования и применения новых технологических приемов. ● #395





Если у Вас возникли вопросы по технологии сварки, организации рабочих мест сварщиков, правильному выбору сварочных материалов и оборудования, Вы можете отправить письмо в редакцию журнала по адресу: 03150 Киев, а/я 52 или позвонить по телефону (044) 261-0839. На Ваши вопросы ответит канд. техн. наук Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

Расскажите, пожалуйста, о газовой сварке меди.

Савченко Е. В. (Аксу, Казахстан)

Медь относят к трудносвариваемым металлам, требующим достаточно высокой квалификации сварщика. Поэтому газовую сварку меди зачастую используют лишь в единичном производстве и при ремонтных работах. Затруднения, возникающие при газовой сварке меди, связаны с ее способностью окисляться с образованием закиси меди (Cu₂O). Наличие этого оксида в виде эвтектики в зоне термического влияния снижает прочность и пластичность сварного соединения. Кроме того, закись меди является источником образования мелких трещин в расплавленном металле в результате взаимодействия ее с водородом пламени. Это явление называют «водородной болезнью» меди. Поэтому при газовой сварке необходимо использовать эффективные флюсы, роль которых заключается в растворении образующихся оксидов, в том числе и закиси меди, с переводом их в легкоплавкие шлаки, а также в предохранении расплавленного металла от дальнейшего окисления.

Рекомендуемые для газовой сварки меди присадочные металлы приведены в *табл. 1*, а составы флюсов — в *табл. 2*.

Медь обладает высокой теплоемкостью и теплопроводностью (в 6–7 раз выше, чем у стали), повышенным коэффициентом линейного расширения при нагревании (в 1,5 раза выше, чем у стали). Эти свойства обуславливают бóльшую, чем при сварке стали, зону термического влияния и приводят к появлению значительных тепловых деформаций, которые могут вызывать при охлаждении сварного шва значительные напряжения. Наличие остаточных напряжений в сочетании со снижением прочности и пластичности меди в области температур 250–500 °С неблагоприятно сказывается на сопротивлении трещинообразованию в сварном соединении при его охлаждении. Технологическими приемами удастся устранить вредные последствия специфических свойств меди. Так, ведение сварки с возможно большей скоростью способствует уменьшению продолжительности контакта пламени с жидким металлом. Для компенсации больших теплопотерь

Таблица 1. Присадочные металлы для сварки меди

Марка меди по ГОСТ 16130	Характеристика состава	Назначение	Рекомендуемый интервал свариваемых толщин, мм
M-1	Медь чистая электролитическая	Для ответственных конструкций небольшой толщины	1–2
MSr-1	Медь с 0,8–1,2% серебра	Для ответственных конструкций	1–10
MNЖ-5-1	Медь с 0,2% фосфора		3–10
MNЖКТ-5-1-0,2-0,2	Медь с 0,2% фосфора, 0,3% кремния, 0,2% марганца		Более 10

Таблица 2. Флюсы для газовой сварки меди и ее сплавов

№ флюса	Состав, %						
	Прокаленная бура	Борная кислота	Фосфорно-кислый калий	Кварцевый песок	Древесный уголь	Поваренная соль	Углекислый калий (поташ)
1	100	—	—	—	—	—	—
2	—	100	—	—	—	—	—
3	50	50	—	—	—	—	—
4	75	25	—	—	—	—	—
5	50	35	15	—	—	—	—
6	50	—	15	15	20	—	—
7	70	10	—	—	—	20	—
8	56	—	—	—	—	22	22

Таблица 3. Последовательность операций и техника газовой сварки меди

Процесс	Операции и техника сварки	Комментарий специалиста
Подготовка деталей под сварку	<p>Зачистить кромки и прилегающий металл от окалины и загрязнений механическим способом или химическим травлением.</p> <p>Разделить кромки под сварку с учетом толщины свариваемых элементов и вида соединения (угловое или стыковое).</p> <p>Собрать детали под сварку в кондукторе и прихватить короткими швами длиной не более 5 мм при сварке небольших узлов из тонкого металла с расстояниями между ними 50–100 мм. При сварке больших толщин длина прихваток 20–30 мм, а расстояние между ними 300–500 мм</p>	<p>—</p> <p>При массовом производстве выполняют на строгальных или фрезерных станках, в единичном — пневмозубильным или наждачным кругом</p> <p>При сварке длинных листов желательно их не закреплять</p>
Установка детали под сварку	<p>Установить деталь в зоне действия вытяжной вентиляции с расположением свариваемых листов в нижнем положении под углом 7–10° к горизонтальной плоскости для лучшего заполнения разделки кромок</p>	<p>При больших зазорах для устранения утечки металла рекомендуют под кромками укладывать графитовые подкладки или просушенный асбест</p>
Выбор режима и род газа	<p>Отрегулировать мощность пламени горелки из расчета 155–175 л/ч ацетилена на 1 мм свариваемой толщины для деталей толщиной 3–4 мм и 175–225 л/ч на 1 мм свариваемой толщины для деталей толщиной 8–10 мм. Установить мягкое нормальное пламя</p>	<p>Пламя заменителей ацетилена в смеси с кислородом малоприспособно из-за недостаточной концентрации теплоты</p>
Нагрев и обработка поверхности дефекта флюсом	<p>Нанести флюс в виде пасты на кромки основного металла по 10–12 мм на сторону и присадочный пруток.</p> <p>Нагреть свариваемые кромки с расположением горелки почти под прямым углом к поверхности детали.</p> <p>Подогреть кромки одной или двумя горелками для компенсации интенсивного отвода теплоты в зону термического влияния</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>Нагрев двумя горелками производят при толщине меди более 10 мм</p>
Образование сварного соединения	<p>Расплавить предварительно выбранный согласно указаниям присадочный пруток, расположив его над местом сварки близко от сварочной ванны для уменьшения ее окисления.</p> <p>Установить горелку под углом 30–40° к свариваемому изделию, присадочную проволоку — 30–40°, расположить ядро пламени на расстоянии 6–10 мм от расплавленного металла и выполнить сварку восстановительной зоной пламени в один проход снизу вверх: левым способом при толщине листов до 5 мм, а при большей толщине — правым способом.</p> <p>Во время сварки периодически добавлять флюс непосредственно в зону сварки на кончике присадочной проволоки, непрерывно перемешивая жидкий металл присадкой, возможно реже извлекая ее из ванночки</p>	<p>Листовую медь толщиной до 5 мм сваривать левым способом, а большей толщины — правым</p> <p>Сварку меди толщиной свыше 10 мм рекомендуют производить одновременно двумя горелками: подогревающей и сварочной</p> <p>Сварку начинать с точки, находящейся на расстоянии, равном 1/3 длины шва. Оставшиеся 2/3 длины шва сваривают в обратном направлении. Длинные швы сваривать участками</p>
Окончание сварки	<p>После сварки шов проковать: при толщине листов до 4 мм — в холодном состоянии, при больших толщинах — при температуре до 500 °С; принять меры предосторожности против резкого охлаждения сварного соединения сквозняком или притоком холодного воздуха. Очистить шов 2%-м раствором азотной или серной кислоты и промыть водой для удаления остатков флюса</p>	<p>—</p>
Последующая термообработка	<p>В пламени сварочной горелки отжиг с нагревом до 500–550 °С и быстрое охлаждение в воде</p>	<p>Применяют для придания соединению после проковки высокой пластичности</p>

металла рекомендуется использовать предварительный или сопутствующий подогрев кромок металла и более мощное пламя. Для сварки металла толщиной более 10 мм следует применять две горелки, из которых одну использовать для подогрева. Обычно наконечник горелки выбирают на 1–2 номера больше, чем при сварке стали. Для уменьшения вредного воздействия кислорода и ацетилена на металл шва используют нормальное пламя.

Разрушению оксидных прослоек после сварки способствует проковка металла шва в горячем состоянии.

При сварке медных деталей, как правило, используют стыковые и угловые соединения. Сварку встык (тавровое соединение) применяют только при ремонте. Сварку внахлестку не рекомендуют. Медь сваривают в один слой, так как при наложении второго слоя возможно образование трещин. Последовательность операций и техника газовой сварки меди приведены в *табл. 3*. При правильно выполненной сварке, последующей проковке и термообработке сварные швы имеют прочность 166–215 МПа и угол загиба 120–180°. ● #396



Международный семинар главных сварщиков предприятий нефтяной и газовой промышленности

С. В. Раков, Фирма «СЭЛМА» (Симферополь)

ОАО «Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА» (Симферополь) совместно с НПФ «Инженерный и технологический сервис» (С.-Петербург) провели для главных сварщиков ОАО «Газпром» (3–6 сентября) и главных сварщиков нефтегазовой промышленности Украины, России, Беларуси (9–12 сентября) семинары на тему «Новые разработки оборудования для сварки кольцевых неповоротных стыков труб».

Тематические семинары для специалистов ведущих отраслей промышленности ОАО «Фирма СЭЛМА» и НПФ «ИТС» проводят ежегодно, и неизменно они вызывают большой интерес.

Традиционно в работе семинаров принимают участие специалисты ведущих отечественных и зарубежных научно-исследовательских организаций и промышленных фирм.

В этом году участники семинаров, а это более 60 специалистов предприятий нефтегазовой промышленности Украины, России и Беларуси, смогли познакомиться не только с новейшими разработками фирмы «СЭЛМА» и НПФ «ИТС», но и таких фирм, как «ESAB» (Швеция), «Polysoude» (Франция), «Maus» (Италия), НПФ «Теплопроцессы», ОАО «ВНИИгаз», ОАО «ВНИИСТ» (Россия).

Главный конструктор фирмы «СЭЛМА» *Г. Л. Павленко* рассказал о новом и модернизированном сварочном оборудовании, производство которого освоил завод. Это — универсальные сварочные источники ВД 306ДК и ВД 506ДК совместно с блоком БУСП для управления сваркой неплавящимся электродом и подающими механизмами ПДГО-510, ПДГО-511 (аналоги подающих механизмов LN-23P фирмы «Lincoln Electric»). Источники питания ВД 306ДК и ВД 506ДК обеспечивают полную регулировку силы сварочного тока, оснащены устройствами тепловой защиты и дистанционного регулирования силы сварочного тока. Стендовые и промышленные испытания показали, что источники питания надежно работают при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 50 °С.

ОАО «ВНИИСТ» (Москва) рекомендовал ВД 306ДК и ВД 506ДК для применения в строительстве магистральных газо- и нефтепроводов, а также для комплектации передвижных ремонтных станций.

Для автоматической сварки под слоем флюса фирма «СЭЛМА» предлагает сварочные тракторы АДФ-800 и АДФ-1250 с источником питания ВДУ-1250 для сварки стыковых (с разделкой и без разделки кромок), нахлесточных и угловых соединений. Основным преимуществом тракторов является использование микропроцессорного блока управления.

Доклад генерального директора фирмы «ИТС» (С.-Петербург) *М. В. Карасева* был посвящен опыту промышленного применения выпрямителя ВД 506ДК (серия 04) для ручной дуговой сварки электродами с основным и целлюлозным покрытием, механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой с использованием подающего механизма LN-23P, порошковой проволокой фирмы «ESAB» с использованием подающих механизмов Master Mobile 4, для автоматической орбитальной сварки способом МИГ/МАГ с использованием головки MIG/MAG Orbital (Polysoude, Франция).

В докладах директора АО «ВНИИСТ» *С. В. Головина* и начальника лаборатории сварки ОАО «ВНИИгаз» *В. И. Беспалова* были рассмотрены новые технологии, материалы и оборудование, применяемые для механизированной и автоматической сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных трубопроводов.

С докладами о новых видах сварочного оборудования и материалов выступили представители фирм: «ESAB» — сварочное оборудование для автоматической сварки неповоротных стыков трубопрово-



дов и новые марки самозащитной порошковой проволоки; «Polysoude» — сварочные головки для автоматической орбитальной сварки труб способом МИГ/МАГ; «Cooperheat» (Великобритания) — оборудование для термической обработки сварных соединений.

Участники семинаров с большим интересом ознакомились с новыми программами Межотраслевого учебно-аттестационного центра ИЭС им. Е. О. Патона по подготовке международных специалистов сварочного производства.

В демонстрационном зале завода участники смогли подробно ознакомиться с хорошо зарекомендовавшим себя энергосберегающим универсальным сварочным конвертором КСУ-320, который исключает взаимное влияние сварочных постов при работе от одного многопостового источника питания и позволяет удалить сварочный пост на расстояние до 200 м от источника.

Специалисты ОАО «Газпром» по достоинству оценили преимущество выпрямителей ВД 506ДК и ВД 306ДК, позволяющих выполнять сварку электродами, сплошной и порошковой проволоками. На сегодняшний день ОАО «Газпром» является основным потребителем данного вида оборудования.

На семинаре была подтверждена заинтересованность в завершении работ, проводимых НПФ «ИТС» совместно с «ВНИИгаз» и ВНИИСТ, по аттестации технологических процессов сварки труб с использованием сварочного оборудования фирмы «СЭЛМА» и включения этих процессов в ведомственные руководящие документы.

Представители ряда заводов Украины выразили заинтересованность в проведении всесторонних промышленных испытаний нового сварочного трактора АДФ-800 с источником ВДУ 1250.

Во время семинаров участники и специалисты завода обсудили перспективные направления развития сварочной техники.

Как и в прежние годы, нынешние семинары еще раз продемонстрировали высокий производственно-технологический потенциал фирмы «СЭЛМА» и большую заинтересованность промышленности в надежной сварочной технике.

● #397

Научно-практический семинар главных специалистов судостроительных и судоремонтных заводов «Судостроение—сварка 2003»

17–18 сентября на ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования» состоялся третий, уже традиционный, научно-практический семинар «Судостроение—сварка 2003», в котором приняли участие главные специалисты судостроительных и судоремонтных заводов Николаева, Херсона, Севастополя, Одессы, Феодосии, Астрахани, ведущие специалисты ИЭС им. Е. О. Патона, Украинского государственного морского технического университета (Николаев), специалисты предприятий смежных областей и коммерческих фирм.

Заместитель председателя правления ОАО «КЗЭСО» *А. Мартыненко* и главный инженер *В. Окул* ознакомили участников семинара с последними достижениями каховских машиностроителей. К ним можно отнести источники питания и подающие механизмы, разработанные совместно с известной немецкой фирмой «Клоос», — «Cloos-КЗЭСО-356» и «Cloos-КЗЭСО-451», сварочный полуавтомат КП-016-1 и блок управления сварочным процессом БУСП-01, модернизированный сварочный трактор КА-002, модернизированную сварочную головку для автоматической сварки продольных швов под флюсом типа А1416, машину для контактной сварки рельсов К-922.

Новый полуавтомат КП-016-1, созданный в результате сотрудничества конструкторов КЗЭСО и судостроителей, во многом удовлетворяет требованиям современного судостроения. Блок управления полуавтомата позволяет плавно регулировать скорость подачи проволоки (силу сварочного тока) и сварочное напряжение, время подачи защитного газа в начале и в конце сварки, запоминать режим сварки и т. д. Полуавтомат может работать на расстоянии до 35 м от источника питания.

В. Я. Чуйков, главный сварщик ОАО «Судостроительный завод «Красные баррикады» (Астрахань): «У меня прекрасные впечатления от завода и его коллектива. Наше сотрудничество с Каховским заводом началось 25 лет назад, когда мы приобрели установки для электрошлаковой сварки. В прошлом году завод поставил нам 16 полуавтоматов КП-016 и источников питания КИГ-401, которые отлично показали себя в производстве. В ближайшее время мы приобретем еще партию каховского оборудования».

Т. Г. Голобородько, главный сварщик Херсонского судостроительного завода: «Мы провели испытания полуавтомата КП-016, хорошо рабо-



тает, но немного тяжеловат для стапельных работ. Готовы провести испытания КП-016-1 — это перспективное сварочное оборудование. Положительно зарекомендовал себя сварочный выпрямитель КИГ-401. Очень хорошо, что мы имеем возможность регулярно встречаться на заводе и детально обсуждать возможности сварочного оборудования ОАО «КЗЭСО».

Д. Н. Миронов, директор ЗАО «Элмид-Техно» (Москва): «На российском рынке сварочной техники большая конкуренция. Спросом пользуются полуавтоматы ПДГ-508, вне конкуренции сварочные автоматы АД-231 и А-1416. Надеюсь, что и новые разработки завода займут достойное место на российском рынке».

В. П. Свитич, главный сварщик «Судостроительного завода им. 61 коммунара» (Николаев): «Каховский завод очень серьезно относится к мнению судостроителей, и как результат — новый полуавтомат КП-016-1. Применение новой сварочной техники должно повысить технический уровень нашей отрасли».

Прошедший семинар продемонстрировал, что только при тесном сотрудничестве производителей и потребителей возможно создание конкурентоспособной сварочной техники.

● #398



Производство сварочных материалов в странах СНГ в 2002 г.

П. В. Игнатченко, А. И. Бугай, Ассоциация «Электрод»

Спрос на сварочные материалы и объемы их изготовления в странах СНГ в полной мере зависят от состояния производства стали и проката в России и Украине.

В 2002 г. металлурги России произвели 59,7 млн. т стали, 48,7 млн. т проката. Увеличение по сравнению с 2001 г. составило: стали 1,2%, проката 3,4%. Украина изготовила 33,5 млн. т стали и 25,58 млн. т проката: прирост составил соответственно 6,7 и 14,2%.

Общий объем производства покрытых сварочных электродов в 2002 г. в странах СНГ составил 245 978 т, из них 77% произведено на предприятиях Российской Федерации, 18% — Украины и 5% — остальных стран СНГ. В прошлом году общий объем снизился по сравнению с 2001 г. на 2,6%, в т. ч. в Российской Федерации на 12,6%, а в Украине увеличился на 25%. Объем производства электродов: с рutilьменитовым покрытием — 160 208 т, с основным — 75 700 т. Выпуск электродов специального назначения для сварки высоколегированных сталей и цветных металлов составил 10 070 т, т. е. снизился на 2%. В Российской Федерации изготовлено электродов 189 403 т, в т. ч. с рutilьменитовым покрытием 110 721 т, с основным 69 178 т, специальных электродов 9504 т; в Украине — 44 276 т, из них с рutilьменитовым покрытием 36 399 т, с основным 7311 т, специальных электродов 566 т.

Наметилась положительная тенденция в увеличении производства электродов малого и среднего диаметра (от 2,0 до 4,0 мм). Их выпуск суммарно составил 215 637 т (увеличение по сравнению с 2001 г. на 1%). Изготовлено электродов диаметром 5,0 и 6,0 мм соответственно 28 994 и 1347 т. В результате произведено 88% электродов диаметром до 5,0 мм.

Общий объем выпуска легированной сварочной проволоки диаметром до 2,0 мм для механизированной сварки в углекислом газе, в двойных и тройных смесях на базе аргона составил 36 577 т, из нее диаметром 0,8–1,4 мм — 16 610 т; в Российской Федерации изготовлено 23 615 т, из них диаметром 0,8–1,4 мм — 9328 т, а в Украине — 12 962 т, из них диаметром 0,8–1,4 мм — 7282 т.

По сравнению с 2001 г. общий объем выпуска проволоки увеличился на 15%, в Российской Федерации — на 6%, а в Украине — на 38%. Следует отметить, что по заказам потребителей было изготовлено 3238 т омедненной легированной проволоки; ее поставляют на шпулях и катушках с рядной намоткой массой от 5 до 15 кг в специальной упаковке. Поставщиками такой проволоки являются преимущественно предприятия — члены Ассоциации «Электрод».

Сварочной и наплавочной порошковой проволоки изготовлено в 2002 г. всего 2865 т, из нее сварочной — 1763 т, наплавочной — 1102 т, по сравнению с 2001 г. выпуск сни-

зился на 7%. Объем производства порошковой проволоки в Российской Федерации составил 2075 т: сварочной — 1485 т, а наплавочной — 590 т; в Украине произведено 790 т порошковой проволоки: сварочной — 278 т и наплавочной — 512 т.

В 2002 г. сварочных флюсов произведено 28 066 т, в том числе в Российской Федерации — 8732 т, в Украине — 19334 т. Объем производства сварочного флюса по сравнению с 2001 г. в России остался на том же уровне, а в Украине уменьшился на 4%.

В 2002 г. общий объем производства сварочных материалов составил 313 486 т, в том числе для механизированной сварки 67 500 т. На долю выпуска сварочных материалов для механизированной сварки приходится 21% от общего выпуска.

Из приведенных данных видно, что по-прежнему основную долю сварочных работ в странах СНГ осуществляют покрытыми электродами. В то же время за рубежом этот способ сварки составляет всего 15–20%.

Следует также отметить, что в 2002 г. доля предприятий — членов Ассоциации «Электрод» в производстве сварочных материалов составила: электроды сварочные — 74%, порошковой проволоки — 76%, легированной сварочной проволоки диаметром до 2,0 мм для сварки в защитных газах — 68%.

В 2002 г. предприятия Российской Федерации экспортировали в страны СНГ 8796 т сварочных электродов, из них в Украину — 780 т. Экспорт украинских заводов составил 1780 т. Следует отметить, что из России поставляют преимущественно электроды с основным покрытием, а из Украины в Россию — с рutilьменитовым покрытием. Основными импортерами данного вида продукции являются страны Средней Азии. С каждым годом объем экспортно-импортных операций снижается. Это связано, вероятно, как со стоимостью продукции, так и со стремительным развитием в этих странах новых электроизготавливающих производств, в том числе электродных участков, количество которых все время растет.

Сегодня, в условиях жесткой конкуренции заводы-производители сварных конст-

рукций, стремящиеся выйти на мировой рынок со своей продукцией, стоят перед сложной проблемой при выборе сварочных материалов, в том числе электродов. Например, существуют традиционные марки электродов и известны поставщики этих материалов. Однако заказчик, а это чаще всего иностранные фирмы, предъявляют требования, чтобы все расходные материалы имели признание авторитетных страховых агентств (Ллойда, TUV и т.п.). Предприятия-изготовители сварочных материалов не ведут активной работы по созданию и освоению новых марок электродов, способных удовлетворить современные требования.

Основными конструкционными материалами, которые используются в промышленности и строительстве стран СНГ, являются низкоуглеродистые и низколегированные стали. На долю электродов общего назначения с рутиловым и ильменитовым покрытием приходится 65% выпускаемых электродов.

Необходимо отметить, что по механическим и прочностным свойствам сварные соединения, выполненные этими электродами, в основном соответствуют отечественным и европейским нормам. Следовательно, совершенствование этих электродов должно идти в направлении улучшения их сварочно-технологических свойств: стабильности горения дуги, улучшения качества формирования швов, снижения разбрызгивания и т. п. Это помогло бы решить проблемы реагирования на сложившуюся конъюнктуру спроса. ● #399

Перспективы рынка сварочного оборудования в Восточной Европе

Фирма «Frost&Sullivan» была основана в Нью-Йорке в 1961 г. для маркетингового консалтинга высокотехнологичных промышленных рынков. Сегодня, открыв четвертое десятилетие своей деятельности, «Frost&Sullivan» приобрела на мировом уровне репутацию фирмы по обучению и высококачественному консалтингу более чем в 20-ти основных отраслях промышленности. В качестве примера приведем обзор исследования, опубликованного летом 2003 г., где «Frost&Sullivan» рассматривает развитие рынков сварочного оборудования и материалов Восточной Европы.

В последнее десятилетие машиностроительные производства начали перемещаться из Западной Европы в регионы с более низкой стоимостью труда, в том числе и в Восточную Европу. В связи с этим сюда пришли и большие прямые иностранные инвестиции (ПИИ). Постепенно восточноевропейский рынок становится реальным конкурентом западноевропейскому. С 279,7 млн. долл. США в 1999 г. он вырос до 297,1 млн. в 2002 г. Основной рост большей части секторов произошел в 2000 г., когда наблюдалась общая мировая экономическая активность. В последующие годы на фоне спада активности мировой экономики некоторые страны в регионе пересматривают свои экономические прогнозы в сторону сокращения.

Расширение ЕС в 2004 г. устранил существующие торговые барьеры, что обеща-

ет резкий рост торговли и подъем производства всех секторов промышленности.

Большинство стран Восточной Европы по темпам экономического роста обогнали Западную Европу. Стабильный рост продемонстрировали практически все страны, за исключением Польши. Чехия хорошо показала себя и была избрана для ПИИ несколькими ведущими компаниями. Венгерский рынок в прошлом продемонстрировал хороший рост, но его промышленный сектор оказался относительно слабым. Налоговые каникулы для иностранных инвесторов здесь заканчиваются, что может иметь отрицательные последствия для ПИИ.

Словакия является одной из самых передовых стран в регионе с точки зрения как экономики, так и применения современных технологий, благодаря возрастающим ПИИ в автомобильную и металлообрабатывающую промышленности. Она развивается не так стремительно, как соседи, но здесь постоянный спрос на передовые технологии, что дает возможность создавать продукцию с наибольшей добавленной стоимостью.

Страны Балтии хорошо развиваются, стабильный экономический рост стимулирует спрос на сварочное оборудование и материалы. Большинство конечных потребителей — мелкие мастерские или подрядчики, поэтому уровень автоматизации производства в регионе относительно невисок.

Польский рынок, в отличие от других стран, в последние годы неблагоприятен для производителей сварочных материалов и оборудования. Тем не менее это наибольший и один из самых технологически развитых рынков в регионе. Он пострадал из-за большой зависимости страны от экспорта в Германию и частично из-за необходимости дальнейшей реструктуризации, которая приведет к потере некоторых возможностей для ПИИ. Спад в автомобильной

и судостроительной промышленности имел серьезные последствия для спроса на определенные типы оборудования и оказал давление на цены. От вступления Польши в ЕС в 2004 г. ожидается высокий положительный импульс.

На восточноевропейском рынке наибольшую долю дохода составляют оборудование и материалы для дуговой сварки. В последующие годы ожидают повышение спроса на оборудование для дуговой сварки в связи с увеличением объема производства промышленности региона. Однако спрос на сварочные материалы менее интенсивен. Цены на них снижаются вследствие перепроизводства. Ожидается, что рынок оборудования будет расти быстрее, чем рынок материалов (*рисунок*).

Сектор оборудования для контактной сварки пострадал в результате неблагоприятных условий, сложившихся в Польше из-за снижения объема автомобильного производства и низкого уровня инвестиций в инфраструктуру, что оказало отрицательное воздействие на рынок в целом. Ожидается, что последующие несколько лет будут более перспективны в связи с открытием новых автомобилестроительных производств в Словакии и Чехии, а также ростом инвестиций в строительство и другие отрасли.

Сектор оборудования для лазерной сварки и резки является одним из наименьших секторов рынка в основном из-за высокой стоимости оборудования. Но в ближайшие несколько лет ожидается быстрый рост этого сектора в результате перемещения производственных мощностей из Западной Европы в Восточную, а также более широкого применения данного оборудования в различных отраслях промышленности. Механизованная сварка и резка в защитных газах, одна из самых развитых технологий, испытала легкий спад за последние несколько лет из-за снижения спроса на оборудование для сварки. Эта тенденция наблюдалась в других регионах мира, возможно ее продолжение и в будущем. С другой стороны, рынок механизированного оборудования остается относительно стабильным и нуждается в стимуляции роста.

Последний сектор — сварочные роботы — представляет наименьшую долю в прибылях на восточноевропейском рынке. Рыночный потенциал для продажи новых роботов остается низким из-за доступности бывших в употреблении и восстановленных роботов. Возможно, что уровень автоматизации труда в Восточной Европе так и останется низким, поскольку дешевая рабочая сила обуславливает

широкое применение ручного труда. Однако для изготовления определенных изделий, таких как автомобильные узлы и точные детали, требуется многократное выполнение повторяющихся высококачественных сварных соединений, которые можно обеспечить только с помощью роботов. Благодаря этому сектор роботизированной сварки будет расти в ближайшие годы.

Несмотря на то, что восточноевропейский рынок воспринимается как один из наиболее многообещающих формирующихся рынков сварочной индустрии, он переживает те же трудности, что и западные рынки. Жесткий экономический климат отрицательно повлиял на инвестиции в области сварочного оборудования и материалов. Финансовые трудности, испытываемые восточноевропейскими фирмами, снизили привлекательность организации новых производств в Центральной и Восточной Европе. Быстро растущая стоимость труда в некоторых регионах Восточной Европы также заставляет некоторых иностранных инвесторов пересмотреть свою стратегию. Должно пройти еще много лет, чтобы заработная плата сравнялась с западноевропейским уровнем.

Событие, которого ждут все в сварочной индустрии, — вступление в ЕС стран-кандидатов. От него ожидают тот рыночный взлет, на который рассчитывает большинство производителей. Как только эти страны станут частью ЕС, повышенная торговая активность и инвестиции в инфраструктуру покажут, кто является хозяином рыночных возможностей. Это несомненно вызовет перемещение конкуренции в этот регион, так как производители стремятся использовать любую возможность для развития производства. Некоторые из наиболее мощных участников конкуренции предвосхитили это перемещение, построив производства в регионе, что обеспечило им устойчивую позицию на рынке. Конкуренты возлагают большие надежды на дистрибьюторов и агентов, которые имеют хорошие подходы к рынку и не столь восприимчивы к расходам, как местные производители.

Восточноевропейский рынок сварочного оборудования и материалов — один из самых многообещающих и имеющих высокий потенциал. Чтобы извлечь выгоду из представляющихся возможностей, производители должны быть готовы к высокому уровню конкуренции, как следствию расширения рынка.

● #400

www.frost.com (ref.#B 196-10)

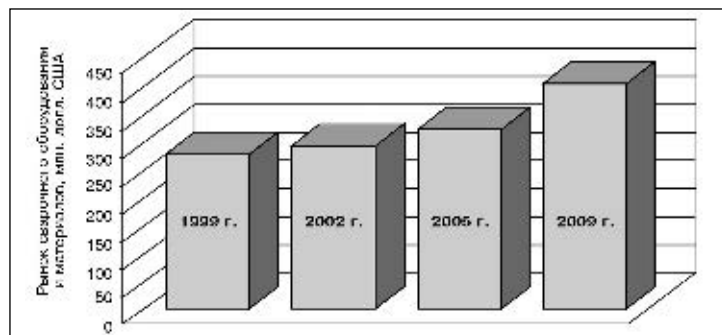


Рисунок. Состояние и перспективы рынков сварочного оборудования и материалов в Восточной Европе

Ярославу Ивановичу Микитину — 60 лет

22 октября председателю правления ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования» исполнилось 60 лет.

После окончания в 1968 г. Кишиневского политехнического института Ярослав Иванович начал свою производственную деятельность в качестве инженера-технолога Харьковского электромеханического завода, а затем старшего и в последствии главного инженера Каховского треста совхозов.

С 1973 г. вся его трудовая деятельность связана с Каховским заводом электросварочного оборудования, где он прошел путь от начальника конструкторского бюро, главного конструктора, главного инженера до директора завода — председателя правления ОАО «КЗЭСО».

Большой организаторский талант, высокий профессионализм, неиссякаемая деловая и творческая энергия, инженерная эрудиция директора (на этой должности Я. И. Микитин с 1990 г.) легли в основу развития завода и во многом способствовали его успешной деятельности в новых рыночных условиях. Сегодня Каховский завод электросварочного оборудования — крупнейший в Украине и странах СНГ изготовитель сварочного оборудования.

Применяя новейшие достижения науки и производства, завод освоил и выпускает широкий ассортимент различных видов современной сварочной техники — от простых сварочных трансформаторов и выпрямителей до автоматов для дуговой сварки и машин для контактной сварки с современными микропроцессорными системами управления. Постоянное наращивание объема выпуска конкурентоспособной продукции, а также тесное сотрудничество с Институтом электросварки им. Е. О. Патона позволяют предприятию укреплять свои позиции как на национальном, так и на мировом рынках. По производству стационарных и подвесных рельсосварочных, трубосварочных машин и комплексов для контактной стыковой сварки предприятие является мировым лидером. Успех завода — это большая заслуга юбиляра, отличающегося высокой принципиальностью и ответственностью за выполняемую работу.

Одной из самых важных особенностей ОАО «КЗЭСО» как изготовителя электросварочного оборудования всегда было



умение действовать в тесном общении с заказчиком, а также готовность решать в комплексе «под ключ» его задачи.

Заслуги Ярослава Ивановича Микитина высокого оценены государством. Он удостоен премии Совета Министров СССР (1987 г.), награжден Грамотой Кабинета Министров Украины (1999 г.), золотой медалью Международной кадровой академии «За эффективное управление» (2000 г.), «Хрестом Пошани I ступеня» (2003 г.) Украинского фонда научно-экономического и юридического сотрудничества.

В 1991 г. Ярослав Иванович избран академиком Академии инженерных наук Украины, в 1995 г. ему присвоено звание «Заслуженный машиностроитель Украины». Я. И. Микитин является председателем Херсонского областного отделения Общества сварщиков Украины.

Ярослав Иванович является примером современного руководителя, для которого решение производственных задач неразрывно связано с обеспечением общественно-социальных условий работы коллектива завода, жителей города. Не каждое предприятие в Украине сегодня может гордиться такой современной социальной инфраструктурой, которая создана на Каховском заводе электросварочного оборудования: детский сад, профилакторий, база отдыха, спортивный клуб.

Благодаря инициативе Я. И. Микитина и при финансовой поддержке предприятия в ведущих высших учебных заведениях Украины готовят специалистов не только для завода, но и для города. Общественная деятельность Ярослава Ивановича высоко оценена жителями города — с 2002 г. он почетный гражданин г. Каховки.

Сердечно поздравляем юбиляра и от всей души желаем ему здоровья, жизненной энергии, больших творческих замыслов, благополучия и любви в семье!

*Совет Общества сварщиков Украины,
редакционный совет, редколлегия
и редакция журнала «Сварщик»*



Учебные программы на 2004 г.



Межотраслевого учебно-аттестационного центра ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций, в том числе подведомственных государственным органам надзора)

Шифр курса	Наименование программы	Продолжительность	Сроки проведения
101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор (руководители сварочных работ): подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	Февраль
102	переаттестация	24 ч	Февраль
103	Руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полимерных материалов: подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	Март, май, июнь, октябрь
104	переаттестация	1 неделя (32 ч)	Февраль, май
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков-экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)	3 недели (112 ч)	Сентябрь
106	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков: специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	Июнь
107	специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (70 ч)	Февраль, апрель, июнь, июль, сентябрь, декабрь
108	специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (72 ч)	Июль
109	Организация и проведение аттестации сварщиков в соответствии с национальными и международными требованиями. Подтверждение полномочий (расширение допусков) председателей комиссий – экспертов УАКС:	16 ч	По согласованию с УАКС
110	для экспертов УАКС со стажем 3 года для экспертов УАКС со стажем 6 лет	32 ч	По согласованию с УАКС
111	Организация и проведение аттестации сварщиков в соответствии с национальными и международными требованиями. Подтверждение полномочий (расширение допусков) членов комиссий по аттестации сварщиков: специалистов технологических служб по сварке	24 ч, 32 ч	Апрель, июнь, ноябрь
112	специалистов по техническому контролю	24 ч	Январь, апрель, май, ноябрь
112	специалистов по охране труда	24 ч	Апрель, сентябрь
115	Технология и организация производства сварочных электродов.	3 недели (112 ч)	Июнь
116	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей машин и механизмов наплавкой	72 ч	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
117	Профессиональная подготовка и аттестация специалистов по металлографическим исследованиям (исследование макро- и микроструктур, измерение твердости, выявление межкристаллитной коррозии и определение ферритной фазы)	2 недели (72 ч)	Февраль, октябрь
118	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов	2 недели (72 ч)	Апрель
119	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки (с выдачей международного диплома):		
121	Международный инженер-сварщик (IWE)	72 ч, 444 ч	Март, октябрь
123	Международный технолог-сварщик (IWT)	72 ч, 340 ч	Март, октябрь
125	Международный специалист-сварщик (IWS)	56 ч, 222 ч	Март, октябрь
125	Международный инспектор-сварщик (IWI)	от 42 ч до 218 ч	Март, декабрь
131	Международный практик-сварщик (IWP)	32 ч, 146 ч	Март, декабрь
133	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)	96 ч	Март, декабрь
134	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта	2 недели (72 ч)	Январь, май, декабрь
135	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	2 недели (72 ч)	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
136	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений: повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	Март
137	переаттестация	24 ч	Октябрь
138	Охрана труда, гигиена и экология сварочного производства	2 недели (72 ч)	Сентябрь
139	Проектирование сварных конструкций	72 ч	Ноябрь

2. Подготовка и повышение квалификации инструкторов и преподавателей по сварке

201	Подготовка, повышение квалификации инструкторов по сварке и родственным технологиям (практическая подготовка сварщиков к аттестации)	5 недель (192 ч)	Май, ноябрь
202	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин по сварке и родственным технологиям	3 недели (112 ч)	Май, ноябрь

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации сварщиков и дефектоскопистов (с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)

301	Подготовка сварщиков (на базе модульных учебных систем): ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА)	9 недель (342 ч)	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (TIG)	4 недель (152 ч)	« «
303	газовой сварки (Gas)	3 недели (112 ч)	« «
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (MIG/MAG)	3 недели (112 ч)	« «

Шифр курса	Наименование программы	Продолжительность	Сроки проведения
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	Март, сентябрь
306	автоматической сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	Апрель, октябрь
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	Май, ноябрь
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	Июнь, декабрь
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	5 недель (192 ч)	Январь, апрель, июнь, июль, сентябрь, ноябрь
310	Повышение квалификации сварщиков по различным способам сварки	2 недели (72 ч)	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
Подготовка резчиков:			
321	газовой резки	3 недели (112 ч)	Июль, ноябрь
322	ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	Январь, июль
Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы			
Подготовка дефектоскопистов:			
323	ультразвукового контроля	202 ч	Февраль, октябрь
324	рентгеновского и гамма-контроля	188 ч	« «
325	магнитного контроля	174 ч	Апрель, ноябрь
326	газового и жидкостного контроля	170 ч	« «
Переподготовка дефектоскопистов:			
327	ультразвукового контроля	182 ч	Февраль, июнь, октябрь
329	рентгеновского и гамма-контроля	158 ч	« «
330	магнитного контроля	152 ч	Апрель, ноябрь
331	газового и жидкостного контроля	146 ч	« «
Повышение квалификации дефектоскопистов:			
332	ультразвукового контроля	От 102 до 126 ч	Февраль, июнь, октябрь
335	рентгеновского и гамма-контроля	От 108 до 168 ч	« «
338	магнитного контроля	От 108 до 134 ч	Апрель, ноябрь
340	газового и жидкостного контроля	От 80 до 138 ч	« «
343	Контролер сварочных работ (визуально-оптический контроль)	От 140 до 154 ч	Февраль, сентябрь
348	Контролер неразрушающего контроля, I уровень квалификации	178 ч	Май, ноябрь
Контролер неразрушающего контроля, II уровень квалификации:			
349	начальная подготовка	220 ч	Май, ноябрь
350	переподготовка контролеров неразрушающего контроля I уровня	120 ч	Май, ноябрь
351	Повышение квалификации дефектоскопистов ультразвукового контроля колесных пар вагонов	3 недели (112 ч)	Март, май, июнь, сентябрь
352	Целевая подготовка дефектоскопистов неразрушающего контроля предприятий железнодорожного транспорта	От 36 до 152 ч	Обучение по согласованию с заказчиком
355	Подготовка операторов-термистов на передвижных термических установках	3 недели (112 ч)	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
356	Поверхностная закалка колесных пар на установках высокотемпературной закалки (повышение квалификации термистов)	3 недели (112 ч)	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком

4. Аттестация персонала сварочного производства

(в соответствии с национальными и международными нормами и стандартами)

401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госнадзорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)	От 72 до 152 ч	1-2 неделя мес., 3-4 недели мес.
402	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госнадзорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)	32 ч	Еженедельно
403	Подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными и европейскими стандартами ISO 9606 и EN 287	72 ч	1-2 неделя мес., 3-4 недели мес.
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными и европейскими стандартами ISO 9606 и EN 287	32 ч	Еженедельно
405	Аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)	112 ч	Индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
406	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	Проводится по окончании курса 309	
407	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка газопроводов из полиэтиленовых труб)	32 ч	Январь, апрель, май, июль, сентябрь
Специальная подготовка дефектоскопистов к аттестации в соответствии с ДНАОП 0.00-1.27-97 (I, II уровни квалификации) ² :			
408	ультразвуковой контроль	От 24 до 140 ч	Обучение по согласованию с заказчиком
412	радиационный контроль		
416	магнитный контроль		
420	капиллярный контроль		
424	визуально-оптический контроль		



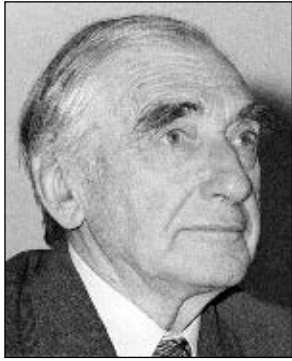
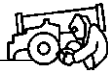
● #401

03680, Киев-150, ул. Боженко, 11

Тел.: (+380 44) 456-63-30, 456-10-74, факс (+380 44) 456-48-94

E-mail: patontc@engineer.com, paton-tc@paton.kiev.ua

http: www.paton-tc.kiev.ua



Н. Н. Рыкалин. У истоков тепловых основ науки о сварке

А. Н. Корниенко, ИЭС им. Е. О. Патона

Большинство сварщиков-профессионалов фамилию Рыкалин связывают с одним из труднейших и как будто абстрактным разделом науки о сварке — тепловыми основами сварки, хотя Н. Н. Рыкалин внес также зна-

чительный вклад в создание новых технологий в области сварки и металлургии и достойно представлял советских сварщиков в Международном институте сварки.

Николай Николаевич Рыкалин — крупный советский ученый в области сварки и металлургии — родился 14 (23) сентября 1903 г. в Одессе. Здесь он получил свою первую производственную специальность слесаря. Направление же его дальнейшей деятельности определилось во время учебы на техническом факультете Дальневосточного государственного университета, ректором которого был один из основоположников научного подхода к сварке В. П. Вологдин. В 1929 г. после окончания вуза Н. Н. Рыкалин — инженер-механик по проектированию строительных конструкций, активно участвует в решении проблем сварочного производства сначала в родном университете, где сформировалась одна из первых в стране научных школ, а с 1936 г. — в Московском механико-машиностроительном институте им. Н. Э. Баумана, где он через два года защитил кандидатскую диссертацию. В 1938 г. в журнале «Автогенное дело» была опубликована его первая статья, посвященная распределению температуры в элементах сварных конструкций.

С 1939 г. и до конца жизни Н. Н. Рыкалин работал в системе Академии наук СССР: в Институте машиноведения, в секции по научной разработке проблем сварки и электротермии (1941–1953 гг.), в Институте металлургии им. А. А. Байкова (ИМЕТ).

В 1945 г. Николай Николаевич в МВТУ им. Н. Э. Баумана защитил докторскую диссертацию, посвященную теории тепловых процессов при сварке — итог многолетних экспериментальных и теоретических определений зависимостей между основными энергетическими параметрами движущихся источников энергии, теплофизическими свойствами вещества и состоянием температурных полей. Его монографии «Тепловые основы сварки» (1947 г.) и «Расчеты тепловых процессов при сварке» (1951 г.), а также ряд статей были переизданы в нескольких странах и легли в основу нового раздела науки о сварке. Сварщики получили возможность априори определить размеры зон термического влияния, величину деформаций и напряжений, выбрать оптимальный режим обработки.

В годы Великой Отечественной войны Н. Н. Рыкалин занимался проблемами эффективного использования сварки в оборонной промышленности. В период восстановления разрушенных в годы войны металлических конструкций и начавшегося в СССР строительства крупнейших гидроэлектростанций под его руководством был разработан простой и надежный способ соединения арматуры — ваннодуговая сварка.

В 1953 г. Н. Н. Рыкалина избрали членом-корреспондентом АН СССР, в 1968 г. — действительным членом АН СССР.



В начале 1960-х гг. Николай Николаевич перешел на решение проблем обработки металлов концентрированными источниками теплоты. На семинарах, проводимых им и его сотрудниками, слушатели получали информацию о распределении теплоты и тепловой эффективности плазменно-дуговой сварки и резки и использовали эту информацию при конструировании плазмотронов. Н. Н. Рыкалин внес значительный вклад в создание и развитие ультразвуковой сварки. Он по праву считается основоположником практического применения лазера. Значительным можно считать участие Н. Н. Рыкалина в создании термокомпрессионной сварки.

Еще одним направлением научной деятельности Н. Н. Рыкалина был перевод металлургии на новую энергетическую основу. В частности, можно отметить его работы по плазменной металлургии, изучению структурных превращений при обработке концентрированными источниками энергии жаропрочных сталей, титановых и никелевых сплавов, получению и обработке порошков, восстановлению металлов и др.

Николай Николаевич Рыкалин — автор 60-ти изобретений и более чем 400 научных статей и 12-ти монографий. Одна из его последних фундаментальных монографий «Лазерная обработка металлов» на английском языке. Им создана известная научная школа, под его руководством защищено 20 докторских и более 100 кандидатских диссертаций.

Н. Н. Рыкалин достойно представлял советских сварщиков за рубежом, блестяще выступая на конференциях и съездах, более 20 лет был председателем Национального комитета СССР по сварке и вице-президентом Международного института сварки, до конца жизни возглавлял исследовательскую группу МИС «Физика дуги и других источников энергии».

Скончался Николай Николаевич Рыкалин 21 мая 1985 г. Научная и общественная деятельность академика была отмечена орденами Ленина, Октябрьской Революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени, двумя орденами «Знак Почета» и медалями СССР, а также орденом ГДР «За заслуги», почетной медалью Американского сварочного общества. Он был избран членом Сербской академии наук и искусств.

Выполненные Н. Н. Рыкалиным работы по плазменным технологиям продолжают успешно развиваться. В 2001 г. сотрудники ИМЕТ предложили использовать плазменную технику в качестве средства, обеспечивающего универсальность переработки любого вида сырья для получения продуктов с заданными свойствами. Технологические и аппаратные схемы были использованы также для газификации и конверсии углеводородного топлива, переработки промышленных и бытовых отходов, очистки сточных и природных вод и т. д. В ИМЕТ впервые в мировой практике применили термическую плазму для высокоэффективного обезвреживания и очистки воды, загрязненной органическими примесями.

● #402



Новости из UNIDO

10–12 ноября 2003 г. в Минске (Республика Беларусь) состоялось заседание группы экспертов по нанотехнологиям в рамках Международного Центра обработки и применения материалов (The International Materials Assessment and Application Centre – ИМААС), учрежденного UNIDO (ЮНИДО – Отделение ООН по промышленному развитию) при поддержке правительства Бразилии. В работе заседания приняли участие представители Австрии (д-р В. Ром, зам. директора Института наноструктурных материалов и фотоники, Вельц), Бразилии (Л. Феллоус, руководитель Центра стратегического менеджмента и исследований, Бразилиа; д-р М. Андраде, руководитель группы нанотехнологии Технологического центра, Минас-Жерайс), Индии (проф. К. Гайендран, директор Центрального института производственных технологий, Бангалор), Италии (д-р Э. Ди Фабрицио, руководитель группы нанотехнологии, Sincrotrone Trieste-ELETTRA, Басовица), Республики Беларусь (акад. П. Витязь, первый вице-президент Национальной Академии наук Беларуси, Минск; канд. техн. наук В. Недзилко, первый зам. председателя Комитета по науке и технологиям при Совете Министров Республики Беларусь, Минск; акад. С. Жданок, генеральный ученый секретарь Национальной Академии наук Беларуси, Минск; акад. В. Лабунов, Белорусский госуниверситет информатики и радиоэлектроники, Минск; проф. С. Гапоненко, директор Института молекулярной и атомной физики, Минск; проф. А. Илюшенко, директор Белорусского государственного научно-производственного концерна порошковой металлургии, Минск; проф. А. Ильенок, научный директор Консультационного центра нанобиологии, Минск; проф. С. Максименко, Белорусский госуниверситет, Минск; канд. техн. наук А. Успенский, директор Республиканского центра трансфера технологий, Минск; канд. техн. наук В. Кузьмин, директор Инновационной ассоциации «Академтехнопарк», Минск; канд. физ.-мат. наук В. Урбанович, Институт физики твердого тела и полупроводников, Минск), Республики Корея (д-р С. Х. Су, директор Центра технологий наноструктурных материалов, Сеул), Украины (д-р техн. наук А. Кайдалов, зам. директора Центра трансфера технологий, Киев) и Японии (д-р А. Камия, начальник отдела разработки нанотехнологий и технологий материалов, Организация по разработке новых энергий и промышленных технологий – НЕДО, Токио), а также представители штаб-квартиры ЮНИДО (Д. Лианг, директор отделения промышленных технологий и продвижения; В. Кожарнович, программный менеджер, Вена, Австрия). Заседание проходило под председательством Л. Феллоуса, координатора Международного Центра обработки и применения материалов.

Были рассмотрены состояние и перспективы развития нанотехнологий в указанных странах и проблемы координации и кооперации исследований в этой области.

Создаваемые с помощью нанотехнологий новые материалы имеют уникальные свойства, что дает возможность эффективно применять их во многих направлениях науки и техники: для медицинских целей (новые лекарства и методы лечения, датчики, инструменты), в охране окружающей среды (новые материалы, обработка которых не дает вредных отходов; новые возможности в переработке отходов; новые методы обнаружения и дезактивации химических загрязнений), энергетике (грядет так называемая нанопромышленная революция в области передачи и сохра-



нения энергии; заложены основы нового направления – наноэлектроэнергетики), для повышения жизненного уровня (создание чистых, недорогих и высококачественных изделий из традиционных материалов, переработанных с помощью нанотехнологий), в авиакосмической промышленности (получение более дешевых, легких и прочных материалов) и в других областях, в том числе сварки и родственных процессов (новые сварочные, наплавочные и паяльные материалы, новые материалы для нанесения покрытий и изготовления быстроизнашивающихся деталей).

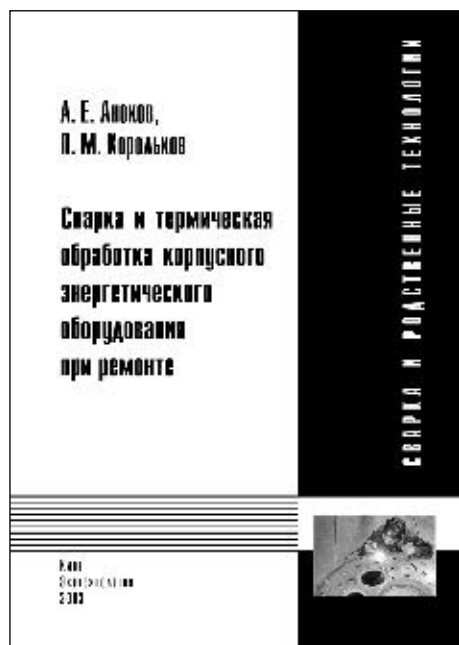
Большой объем выполненных и выполняемых исследований, а также многочисленные примеры практического эффективного применения нанотехнологий, с одной стороны, подтверждают актуальность и перспективность этого направления, а с другой – свидетельствуют о немалых усилиях и затратах на развитие и внедрение новых технологий. Национальные программы развития нанотехнологий во многих случаях дублируют друг друга. Накоплено огромное количество научной, технической и практической информации, скорость и полнота обмена которой не удовлетворяет ни исследователей, ни разработчиков, ни потребителей.

В результате обсуждений на заседании единогласно были приняты следующие рекомендации:

- создать современные базы данных нанотехнологий с элементами бизнес-планов;
- подготовить и сертифицировать внештатных экспертов ЮНИДО при национальных центрах трансфера технологий, которые будут оказывать помощь заинтересованным организациям или органам власти в менеджменте, разработке программ развития или решении конкретных научно-технических задач;
- создать систему международного субконтрактинга в рамках ЮНИДО в научно-технических исследованиях и разработках по национальным программам развития нанотехнологий, что позволит ускорить и удешевить выполнение этих программ, а также повысить уровень инновационной активности в этой области;
- организовать издание специализированного журнала «UNIDO Technology News», включающего раздел «Нанотехнологии», который будет распространяться через национальные центры трансфера технологий;
- создать соответствующий раздел на сайте ЮНИДО.

Рекомендации экспертной группы будут учтены при подготовке программ и планов совместных работ по продвижению и развитию технологий в рамках ЮНИДО.

*А. А. Кайдалов, д-р техн. наук,
Центр трансфера технологий (Киев)*



А. Е. Анохов, П. М. Корольков.

Сварка и термическая обработка корпусного энергетического оборудования при ремонте

К.: «Экотехнология», 2003. — 88 с.

Приведены типичные повреждения корпусного энергетического оборудования, рассмотрены влияние термического цикла сварки на структуру и свойства сварных соединений теплоустойчивых сталей и подходы к выбору сварочных материалов.

Изложены способы нагрева и технические характеристики термического оборудования для послесварочной термической обработки. Приведен ряд примеров успешного восстановления работоспособности энергетического оборудования с помощью сварки и термической обработки.

Брошюра рассчитана на инженерно-технический персонал, а также на высококвалифицированных рабочих, работающих в области энергетики, и может быть полезной при подготовке специалистов по сварке и термической обработке энергетического оборудования.



П. М. Корольков.

Термическая обработка сварных соединений. 2-е издание, переработанное и дополненное

К.: «Экотехнология», 2003. — 124 с.

Приведены технические данные о местной термической обработке сварных соединений, применяемой в строительномонтажных, полевых и ремонтных условиях на трубопроводах и технологическом оборудовании в различных отраслях промышленности (газовой, нефтяной, нефтеперерабатывающей и др.). Рассмотрены виды и режимы термообработки, способы нагрева и применяемые материалы, нагревательные устройства, оборудование. Описаны технология термообработки, способы контроля температуры и качества. Особое внимание уделено организации работ и технике безопасности.

Рассчитана на инженерно-технических работников и производственный персонал (операторов-термистов, сварщиков, дефектоскопистов и др.), может быть использована в качестве учебного пособия при подготовке операторов-термистов на передвижных термических установках.