



2 (42) 2005

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, Е. К. Доброхотова

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

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

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

Адрес редакции 03150 Киев, ул. Горького, 62

Телефон +380 44 528 3523, 287 6502

Факс +380 44 287 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 Рига, Янис Андерсонс
+371 7 538 974, +371 7 538 345 (ф.)
e-mail: janis37@navigator.lv
Вильнюс, Александр Шахов
+370 52 47 4301
ПФ «Рекламос Центрас»

Представительство в Болгарии София, Стоян Томанов
+359 2 953 0841, 954 9451 (ф.)
e-mail: evertood@mail.bg
ООД «Еверт-КТМ»

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции. Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала. При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик» обязательна.

Подписано в печать 28.03.2005. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура PetersburgCTT. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2.
Зак. № 28/03 от 28.03.2005. Тираж 3000 экз.
Печать ООО «Людопринт Украина», 2005.
01023 Киев, ул. Ш. Руставели, 39–41, к. 1012–1014.
Тел. (044) 220–0879, 227–4280.

© «Экотехнология», 2005

Информационно-технический журнал

Сварщик

Технологии
Производство
Сервис

СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий 3

Диагностика и контроль качества

- Оценка качества сварных соединений сосудов и трубопроводов по результатам технического диагностирования.
В. М. Долинский, В. И. Черемская 6
- Повышение надежности теплообменных аппаратов при применении прессовотермической сварки.
А. И. Вовченко, Л. Ю. Демиденко, Н. А. Онацкая 10
- Диагностика сварных соединений ядерных энергоблоков с помощью магнитных методов оценки ресурса металла.
Г. Я. Безлюдько, С. Н. Ковбасенко, В. В. Корниец 13
- Особливий вид деградації труб із сталі 12Х18Н12Т пароперегрівника котла ТЕС.
Р. К. Мелехов, А. В. Василик, Г. М. Круцян 16
- Повышение сопротивления усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой.
В. В. Кныш, А. З. Кузьменко 19

Ремонт и восстановление

- Эффективность ремонта и восстановления с помощью сварки.
Джон Норриш 22
- Термообработка сварных соединений при ремонте барабанов паровых котлов.
П. М. Корольков 25
- Применение активированной дуговой металлизации при ремонте машиностроительного и металлургического оборудования.
Ю. С. Коробов, А. С. Прядко 30

Наши консультации 32

Технологии и оборудование

- Как оптимизировать дуговую сварку плавящимся электродом в защитных газах.
Ричард Грин 34
- Стенд СГИ 984ДМ для испытаний газопламенного оборудования.
И. И. Гуменишаймер, А. Л. Красненко 37
- Аппаратура подачи присадочной проволоки для сварки неплавящимся электродом.
С. В. Дубовецкий, С. В. Можяев, Д. В. Плющ, А. Е. Фролов 41

Подготовка кадров

- Особенности профессиональной подготовки сварщиков в соответствии со стандартами компетентности.
П. П. Проценко, В. Е. Пономарев 42

История инженерного дела

- Инженерное искусство В. Г. Шухова.
Т. П. Мороз 45

• Конференции 49

• Календарь выставок на 2005 г. 50

Торговый ряд 51

2005

март–апрель



Новини техніки і технологій	3
Діагностика та контроль якості	
○ Оцінка якості зварних з'єднань судів і трубопроводів за результатами технічного діагностування. <i>В. М. Долинський, В. І. Черемська</i>	6
○ Підвищення надійності теплообмінних апаратів при застосуванні пресовотермічного зварювання. <i>А. І. Вовченко, Л. Ю. Демиденко, Н. А. Онацька</i>	10
○ Діагностика зварних з'єднань ядерних енергоблоків за допомогою магнітних методів оцінки ресурсу металу. <i>Г. Я. Безлюдько, С. М. Ковбасенко, В. В. Корнієць</i>	13
○ Особливий вид деградації труб із сталі 12X18H12T пароперегрівника котла ТЕС. <i>Р. К. Мелехов, А. В. Василик, Г. М. Круцян</i>	16
○ Підвищення опору втомі зварних з'єднань високочастотною механічною проковкою. <i>В. В. Книш, А. З. Кузьменко</i>	19
Ремонт та відновлення	
○ Ефективність ремонту і відновлення за допомогою зварювання. <i>Джон Норріш</i>	22
○ Термообробка зварних з'єднань при ремонті барабанів парових котлів. <i>П. М. Корольков</i>	25
○ Застосування активованої дугової металізації при ремонті машинобудівного і металургійного устаткування. <i>Ю. С. Коробов, А. С. Прядко</i>	30
Наші консультації	32
Технології та обладнання	
○ Як оптимізувати дугове зварювання електродом, що плавиться, в захисних газах. <i>Річард Грін</i>	34
○ Стенд СГІ 984ДМ для іспитів газополуменового устаткування. <i>І. І. Гуменшаймер, А. Л. Красненко</i>	37
○ Апаратура подачі присаджувального дроту для зварювання електродом, що не плавиться. <i>С. В. Дубовецький, С. В. Можаяев, Д. В. Плющ, А. Є. Фролов</i>	41
Підготовка кадрів	
○ Особливості професійної підготовки зварників у відповідності зі стандартами компетентності. <i>П. П. Проценко, В. Є. Пономарьов</i>	42
Історія інженерної справи	
○ Інженерне мистецтво <i>В. Г. Шухова, Т. П. Мороз</i>	45
● Конференції	49
● Календар виставок на 2005 р.	50
Торговельний ряд	51
CONTENT	
News of technique and technologies	3
Diagnostics and monitoring of quality	
○ Estimation of quality of welding joints of vessels and pipelines on results of technical diagnostics. <i>V. M. Dolinskiy, V. I. Cheremskaya</i>	6
○ Increasing of reliability of heat exchange apparatuses by usage of press thermal welding. <i>A. I. Vovchenko, L. Yu. Demidenko, N. A. Onatskaya</i>	10
○ Diagnostics of welding joints of nuclear power unit with help of magnetic methods of estimation of resource of metal. <i>G. Ya. Bezlyud'ko, S. N. Kovbasenko, V. V. Korniets</i>	13
○ Particular kind of degradation of pipes from 12Kh18N12T steel of boiler steam-heater of thermoelectric power station. <i>R. K. Melekhov, A. V. Vasylyk, G. M. Krutsan</i>	16
○ Increasing of fatigue strength of welding joints by high frequency mechanical forging. <i>V. V. Knysch, A. Z. Kuzmenko</i>	19
Repair and renovation	
○ Efficiency of repair and renovation with help of welding. <i>John Norrish</i>	22
○ Thermal treatment of welding joints during repair of drums of steam boilers. <i>P. M. Korol'kov</i>	25
○ Application of activated arc metallization during repair of machine building and metallurgic equipment. <i>Yu. S. Korobov, A. S. Pryadko</i>	30
Our consultations	32
Technologies and equipment	
○ How to optimize mild steel GMAW. <i>Richard Green</i>	34
○ Stand SGI 984DM for testing of gas flame equipment. <i>I. I. Gumenshaymer, A. L. Krasnenko</i>	37
○ Apparatus of feeding of filler wire for TIG welding. <i>S. V. Dubovetskiy, S. V. Mozhaev, D. V. Plyushch, A. E. Frolov</i>	41
Training of personnel	
○ Peculiarities of professional training of welders in correspondence with standards of competence. <i>P. P. Protsenko, V. E. Ponomarev</i>	42
History of engineering business	
○ Engineering art of <i>V. G. Shukhov, T. P. Moroz</i>	45
● Conferences	49
● Calendar of exhibitions on 2005	50
Trade line	51



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, Є. К. Доброхотова

Редакційна колегія

В. В. Андрєєв, В. М. Бернадський,
Ю. К. Бондаренко, Ю. В. Демченко,
В. М. Ілющенко, А. А. Кайдалов,
О. Г. Левченко, П. П. Проценко,
І. О. Рябцев

Редакційна рада

В. Г. Фартушний (голова),
М. М. Кононов, П. О. Косенко,
М. О. Лактіонов, Я. І. Микитин,
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

Верстка

Т. Д. Пашигорова, А. Є. Рубльова

Адреса редакції

03150 Київ, вул. Горького, 62

Телефон

+380 44 528 3523, 287 6502

Факс

+380 44 287 6502

E-mail

welder@svitonline.com

URL

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

Представництво в Білорусі

Мінськ
В'ячеслав 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

Рига, Яніс Андерсон
+371 7 538 974, +371 7 538 345 (ф.)
e-mail: janis37@navigator.lv
Вільнюс, Олександр Шахов
+370 2 47 4301
ПФ «Рекламос Центрас»

Представництво в Болгарії

Софія, Стоян Томанов
+359 2 953 0841, 954 9451 (т.ф.)
e-mail: evertood@mail.bg
ООД «Евєрт-КТМ»

За достовірність інформації та зміст реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці. Думка авторів статей не завжди співпадає з позицією редакції. Рукописи не рецензуються і не повертаються.

Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати статті. Листування з читачами — тільки на сторінках журналу. У разі використання матеріалів у будь-якій формі посилання на «Сварщик» обов'язкове.

Підписано до друку 28.03.2005. Формат 60×84 1/8.

Офсетний друк. Папір офсетний №21. Гарнітура PetersburgCTT. Ум. друк. арк. 5,0. Обл.-вид. арк. 5,2. Зам. № 28/03 від 28.03.2005. Наклад 3000 прим.

Друк ТОВ «Людопринт Україна», 2005.

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

Тел. (044) 220–0879, 227–4280.

© «Екотехнологія», 2005



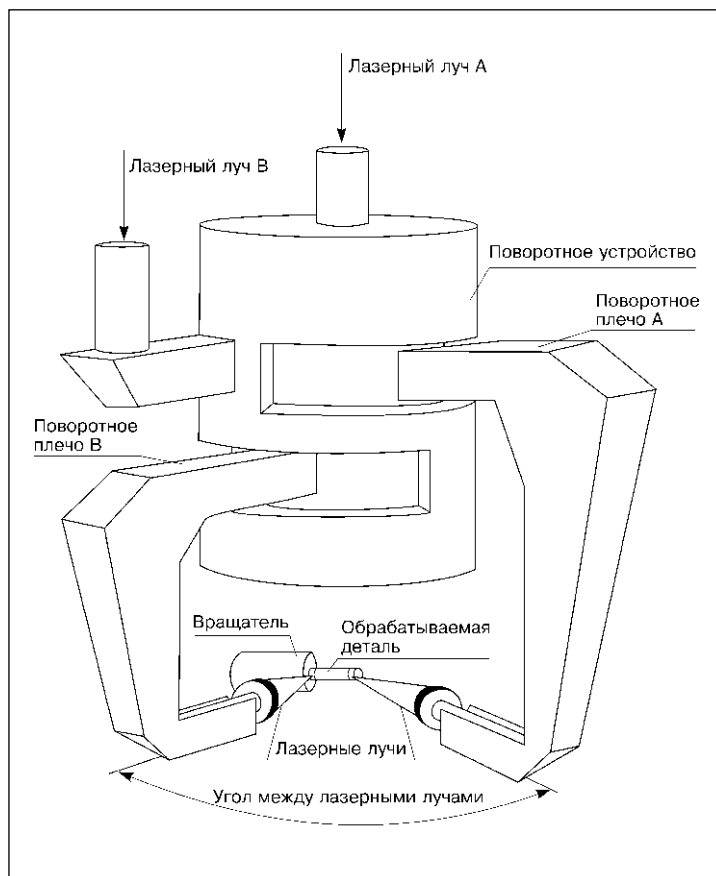
Моделирование дистанционной лазерной сварки

В университете г. Патрас (Греция) совместно с рядом итальянских, немецких, французских и шведских фирм и институтов выполнен проект RemoWeld (G1RD-ST-2000-00332) в рамках европейской программы GROWTH. Главной задачей проекта была разработка моделей процесса дистанционной (через гибкий световод) лазерной сварки для применения в производственных условиях (рисунок).

Основные результаты проекта:

- разработана модель систем сканирования CO₂- и Nd:YAG-лазеров, которая позволяет оценивать профиль систем лазерного луча при различных углах падения;
- разработана статистическая модель процесса лазерной сварки для Nd:YAG-лазера на основе экспериментальных исследований с использованием метода планирования экспериментов.

Модели процесса проверены и подтверждены на практике. Они позволяют прогнозировать характеристики качества сварных швов в зависимости от параметров режима сварки и типа свариваемых материалов. Эти эмпирические модели можно вводить в системы программного управления и в системы наблюдения установок дистанционной или традиционной лазерной сварки (как автоматической, так и неавтоматической) для оптимизации процесса. Основная новизна моделей сварки состоит в том, что в них учитывается наклонное направление лазерного луча по отношению к поверхности свариваемых



деталей, часто имеющее место на практике (особенно при лазерной сварке в автомобилестроении и производстве рельсового транспорта).

Разработаны также миниатюрная система сканирования и быстродействующие системы наблюдения с функцией поиска места сварки в трехмерном пространстве для лазеров фирмы ROFIN SINAR LASER GmbH.

● #528

<http://dbs.cordis.lu/>

Рисунок. Схема установки для дистанционной сварки двумя лазерными лучами

Технология сварки при помощи фотовспышки

Ученые-химики Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (США) открыли необычное явление, получившее название «сварка при помощи фотовспышки» (flash welding). Первые эксперименты были проведены на пленках из полианилина, который является наноматериалом. Он может быть как токопроводящим, так и изоляционным материалом. Излучение вспышки провоцирует возникновение цепной экзотермической реакции, которая и приводит к расплавлению нановолокон полианилина.

При помощи традиционной вспышки фотоаппарата удалось получить соединения без прожогов. Концентрацию мощности такого источника сварочного нагрева регулировали, изменяя расстояние между образцом и вспышкой.

Открытый метод соединения полимеров имеет преимущества по сравнению с лазерной сваркой. Во-первых, для сварки при помощи фотовспышки требуется значительно меньше энергии, во-вторых, данная технология позволяет обрабатывать одновременно большие области, тогда как посредством лазера можно расплавлять лишь ограниченные по площади участки.

● #529

Nature Materials. — 2004. — № 11.

Новые марки колесной стали

Компания Vochoumer Verein (ФРГ) разработала три новые марки стали с низким содержанием углерода. Результаты испытаний показали, что по физико-механическим свойствам они отвечают требованиям стандарта, распространяющегося на колесную сталь.

Новым сталям присвоены обозначения S1, S2 и S3. Содержание углерода в них составляет соответственно 0,3; 0,4 и 0,45%. В остальном эти марки имеют одинаковый химический состав. Вид и содержание других легирующих элементов выбирали исходя из того, что микроструктура стали должна быть максимально инертной при высокой температуре. Чистота исследованных марок стали соответствовала требованиям, предъявляемым к материалам колес категории 1 по стандарту prEN 13262.

Таблица 1. Физико-механические характеристики стали марок S2 и S3 и их нормативные значения для марок R7 и R8

Показатель	Требования стандарта		Результат испытаний	
	R7	R8	S2	S3
Содержание углерода, % (по массе)	0,52	0,56	0,40	0,45
Прочность на растяжение, МПа	820–940	860–980	820	930
Предел текучести, МПа	520	540	515	575
Относительное удлинение при разрыве, %	14	13	21	18
Твердость по Бринеллю на глубине 35 мм	235 (245)	245 (245)	243	255
Работа разрушения образца с надрезом, Дж:				
при температуре 20 °С	17/12	17/12	30/29	29/28
при температуре –20 °С	10/7	10/5	12/9	10/8
Вязкость при разрушении, МПа·м ^{1/2}	80/70	60/50	85/80	65/60

Примечания. 1. В числителе приведены средние значения параметров, в знаменателе — минимальные. 2. Значение твердости, приведенное в скобках, относится к колесам категории 1 или 2 по стандарту prEN 13262.

Таблица 2. Результаты испытаний на разрушение

Марка стали	Диаметр колеса, мм	Среднее значение вязкости при разрушении, МПа·м ^{1/2}
R7	920	95
R8		91
S2		86
S3		64
	1250	77

Примечание. Выполнено шесть измерений.

Концепция новых материалов предусматривает возможность получения перлитно-ферритной структуры, для которой характерны особо высокое сопротивление термической усталости и одновременно — значительная износостойкость. Стали отличаются в основном процентным содержанием доэвтектоидного феррита. Благодаря соответствующему выбору легирующих элементов стали марок S2 и S3 обладают необходимой прочностью, несмотря на относительно высокую долю доэвтектоидного феррита.

Компания Vochoumer Verein создала также новую технологию термообработки и оборудование для ее проведения. Это позволило получить материалы перлитно-ферритной структуры, механические свойства которых соответствуют нормативным требованиям к эталонным маркам R7 и R8, несмотря на пониженное содержание углерода и легирующих элементов. Испытания стали марок S2 и S3 компания Vochoumer Verein проводила в производственных условиях. Предназначенные для испытаний образцы вырезали из стандартных деталей.

Отмечено, что стали имеют очень высокую пластичность. Характеристики материала изнашиваемой части обода колеса изменяются незначительно. Так, прочность на растяжение образца, вырезанного в зоне изнашивания обода, всего на 10–25 МПа (на 1–3%) ниже, чем соответствующего образца, вырезанного из обода нового колеса.

В *табл. 1* приведены результаты испытаний стали марок S2 и S3 (образцы вырезаны из обода колеса с диаметром круга катания 920 мм) и требования стандарта prEN 13262 к маркам R7 и R8 как эталонным.

Результаты испытаний на разрушение стали марок S2, S3 и R7, R8 приведены в *табл. 2*. Вязкость при разрушении новых марок удовлетворяет требованиям стандарта prEN 13262 (R7, R8 в *табл. 1*).

Значения механических показателей зависят от массы и размеров колес, а также от условий термообработки.

Сталь колес, используемых с колодочным тормозом, в условиях эксплуатации подвергается воздействию высоких температур. Обод может нагреваться до температуры отпуска, а непосредственно на поверхности катания температура может достигать значений, способных вызвать изменение микроструктуры. Следовательно, термостойкость нового материала должна

быть, по крайней мере, не ниже, чем у стали традиционных марок. Результаты расширенных испытаний на растяжение при повышенных температурах на образцах из стали S3 и эталонной R8, вырезанных из ободов колес локомотива серии 101, показывают, что примерно до 300°C разрывная прочность Rm стали S3 на 60 МПа ниже, чем эталонной R8 (содержание углерода 0,55%). При низких температурах прочность стали S3 находится в диапазоне значений, соответствующих стали R8 (Rm = 860...980 МПа в условиях нормальной температуры). Для температур выше 350°C значения прочности стали обеих марок практически совпадают (разница в пределах допустимого разброса). По термостойкости сталь S3 также выдерживает сравнение с эталонной R8.

Известно, что колеса в области перехода от ступицы к диску испытывают максимальные знакопеременные нагрузки. Образцы стали марок S2 и S3 для испытаний на знакопеременную нагрузку (растяжение и сжатие) вырезали именно из этой области колеса локомотива серии 101. Результаты усталостных испытаний свидетельствуют о том, что сталь S3 превосходит сталь R8 как по усталостной, так и по длительной прочности.

Исследование скорости роста трещин в зависимости от коэффициента интенсивности циклических напряжений для стали марок S3 и R8 провели на десяти образцах из стали каждой марки. Их результаты показали, что пороговые значения коэффициента интенсивности для стали обеих марок примерно одинаковы: для стали S3 эта величина несколько ниже, чем для стали R8, но заметно выше требуемой. В области стабильного роста трещин его темп для стали S3 несколько меньше. Можно констатировать, что сталь S3 по скорости распространения трещин сопоставима со сталью R8.

Для испытаний на износостойкость стелей марок S2 и S3 и эталонной R7 использовали систему «штифт — ролик». Установлено, что стали S2 и S3 имеют заметно меньший общий износ, чем сталь R7.

Расширенные испытания материалов, а также детальные металлографические исследования позволили сделать вывод, что новые стали отвечают требованиям стандарта prEN13262. ● #530

I. Poschmann, C. Heermant.
Eisenbahningenieur. — 2002. — № 8. —
S. 47–51.

Редакционный совет и редколлегия нашего журнала учреждают **Диплом за сотрудничество и активное участие в издании журнала «Сварщик»**, которым награждаются постоянные авторы и партнеры издания. Мы признаем, что одним из главных наших достижений является сформировавшийся профессиональный и дееспособный авторский коллектив. Заслуга этого коллектива состоит в том, что на протяжении всего времени своего существования «Сварщик» наполнялся интересной и полезной для специалистов сварочного производства информацией. На наш взгляд, тесное сотрудничество и совместные усилия редакции и авторов журнала дали неплохие результаты.



Дипломами журнала «Сварщик» награждаются:

- Андреев В. В.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Анохов А. Е.**, канд. техн. наук, ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» (Москва)
- Бернадский В. Н.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Бондаренко Ю. К.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Бут В. С.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Воропай Н. М.**, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Гуменшаймер И. И.**, ОАО «Завод автогенного оборудования «Донмет» (Краматорск)
- Демченко Ю. В.**, канд. техн. наук, НТК «ИЭС им. Е. О. Патона»
- Дубовецкий С. В.**, канд. техн. наук, ООО «НАВКО-ТЕХ» (Киев)
- Дуда Н. И.**, главный сварщик ОАО «Ворд Билдинг Системс Украина» (Житомир)
- Илюшенко В. М.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Кайдалов А. А.**, д-р техн. наук, НТК «ИЭС им. Е. О. Патона»
- Кононов Н. М.**, главный сварщик ОАО «Днепровагонмаш» (Днепропетровск)
- Корольков П. М.**, ОАО «ВНИИмонтажспецстрой» (Москва)
- Лашченко Г. И.**, канд. техн. наук (Киев)
- Левченко О. Г.**, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Лилько М. М.**, АО «Эффект» (Одесса)
- Микитин Я. И.**, председатель правления ОАО «КЗЭСО» (Каховка)
- Орлов Л. Н.**, канд. техн. наук, ООО «ТМ.Велтек»
- Павленко Г. В.**, генеральный директор, ОАО «Электромашинностроительный завод «Фирма «СЭЛМА» (Симферополь)
- Переплетчиков Е. Ф.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Позняков В. Д.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Проценко П. П.**, канд. техн. наук, Межотраслевой учебно-аттестационный центр ИЭС им. Е. О. Патона
- Проценко Н. А.**, ГП НТЦ «СЕПРОЗ» НАНУ
- Рябцев И. А.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Ткаченко А. Н.**, главный сварщик ХК «Лугансктепловоз» (Луганск)
- Царюк А. К.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона
- Шестопап А. Н.**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона



12–15 октября 2004 г. в Киеве состоялся всеукраинский научно-технический семинар «Повышение надежности сварных соединений при монтаже и ремонте технологического оборудования в энергетике», организованный НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины», ОАО «Южтеплоэнергомонт» и Украинским информационным центром «Наука. Техника. Технология» при поддержке Министерства топлива и энергетики, Государственного комитета ядерного регулирования, НАЭК «Энергоатом», Государственного комитета по надзору за охраной труда. В семинаре приняли участие ученые и специалисты 46 организаций и предприятий топливно-энергетического комплекса Украины, а также представители Российской Федерации, Республики Беларусь, Казахстана — всего более 80 человек.

В данном разделе журнала мы публикуем статьи участников семинара, доклады которых вызвали наибольший интерес и были рекомендованы для издания Оргкомитетом семинара.

Оценка качества сварных соединений сосудов и трубопроводов по результатам технического диагностирования

В. М. Долинский, канд. техн. наук, В. И. Черемская, УкрНИИХиммаш (Харьков)

Существующие методы оценки качества сварных соединений основываются на данных неразрушающего контроля. Эти методы разрабатывали применительно к стадиям изготовления и монтажа технологического оборудования. Базой для норм оценки качества являлись технологические возможности предприятий по изготовлению оборудования, обнаружению и устранению дефектов конструкций.

В настоящее время по различным оценкам примерно 80% технологического оборудования, эксплуатируемого в странах СНГ, отработало установленный ресурс безопасной работы. Однако запасы прочности, заложенные в соответствующие конструкции, во многих случаях позволяют продлить безопасную эксплуатацию сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Для этого, кроме обычных методов освидетельствования, предусмотренных Правилами по сосудам, разработаны специальные методики комплексного технического диагностирования, включающие неразрушающий контроль сварных соединений. В ряде случаев при диагностировании нормы браковки сварных соединений принимают такими же, как и на стадии изготовления изделий. По мнению авторов, такой подход нельзя считать оправданным, поскольку он не учитывает имеющиеся резервы прочно-

сти, нагруженность и деградацию изделий. При таком подходе не рассматривают также возможность проведения работ, связанных с ремонтом действующего оборудования, и не оценивают их сложность.

Более обоснованным представляется подход, когда предлагают эксплуатировать действующий парк оборудования, наблюдая за развивающимися дефектами. Однако непрерывный мониторинг может быть экономически оправдан только для уникальных дорогих объектов. Для большинства сосудов и трубопроводов применяют периодический контроль. В этих случаях необходимо назначить интервал между очередными измерениями.

Наиболее распространенными для определения назначенного ресурса являются условия прочности, которые можно взять в общепринятой форме для механики деформируемого твердого тела

$$\sigma < R_m \quad (1)$$

или по механике разрушения в виде условия трещиностойкости

$$K < K_c. \quad (2)$$

Здесь $\sigma = \sum_{i=1}^j \Delta \sigma_i$ — эквивалентные действующие напряжения; $K = \sum_{i=1}^j \Delta K_i$ — коэффициент интенсивности напряжений; R_m —

предел прочности (в условиях ползучести, кроме предела прочности, следует в неравенстве (1) учитывать предел ползучести и предел длительной прочности); K_c — предел трещиностойкости (в частном случае — вязкость разрушения K_{Ic}); $\Delta\sigma_i$, ΔK_i — размах соответственно напряжений и коэффициента интенсивности напряжений, соответствующие i -му виду нагружения; j — количество видов нагружения.

Поскольку вследствие деградации металла и изделия в целом все параметры неравенств (1) и (2) являются функциями времени t или числа циклов нагружений N , проверка выполнения условий прочности позволяет установить назначенный безопасный ресурс до очередного контроля. Необходимо знать характеристики металла, определяющие скорость роста дефектов, и найти напряженно-деформированное состояние конструкции в области дефекта.

Указанную задачу решали экспериментальным путем при испытании образцов сварных соединений с заданными дефектами, на малоцикловую прочность под действием пульсирующей нагрузки на испытательной машине «Instron-1186». Из возможных дефектов сварных соединений наиболее опасным представляется непровар. Поэтому были изготовлены образцы с заданными размерами непровара (рис. 1) из сталей, наиболее часто применяемых в химическом и нефтехимическом машиностроении. Плоскость непровара была ориентирована перпендикулярно к прилагаемой нагрузке. Полученные результаты (рис. 2*) позволили определить параметры формулы Пэриса (табл. 1) для расчета скорости роста трещиноподобных дефектов (непроваров):

$$V = C\Delta K^m, \quad (3)$$

где V — скорость роста трещины; ΔK — размах коэффициента интенсивности напряжений; C , m — параметры Пэриса.

Сопоставление полученных результатов с данными литературного источника (Карзов Г. П., Леонов В. П., Тимофеев Б. Т. Сварные сосуды высокого давления. — Л.: Машиностроение, 1982) показало, что разброс значений трещиностойкости материалов лежит в допустимых пределах.

При расчете действующих конструкций следует учитывать, что скорость роста трещины зависит от масштабного фактора n_1 ,

* Эксперименты выполнены старшим научным сотрудником Д. Г. Рязовым.

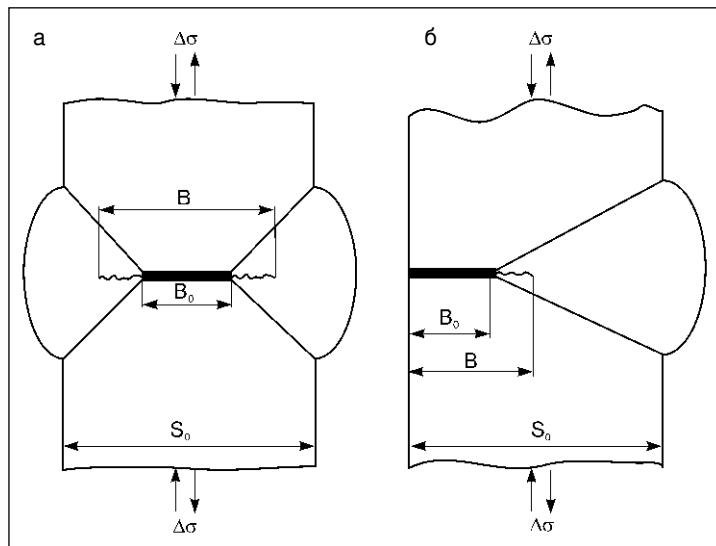


Рис. 1. Образец с внутренней трещиной (а) и образец с поверхностной трещиной (б): B_0 , B — соответственно начальная и текущая высота дефекта; S_0 — толщина образца; $\Delta\sigma$ — размах напряжений

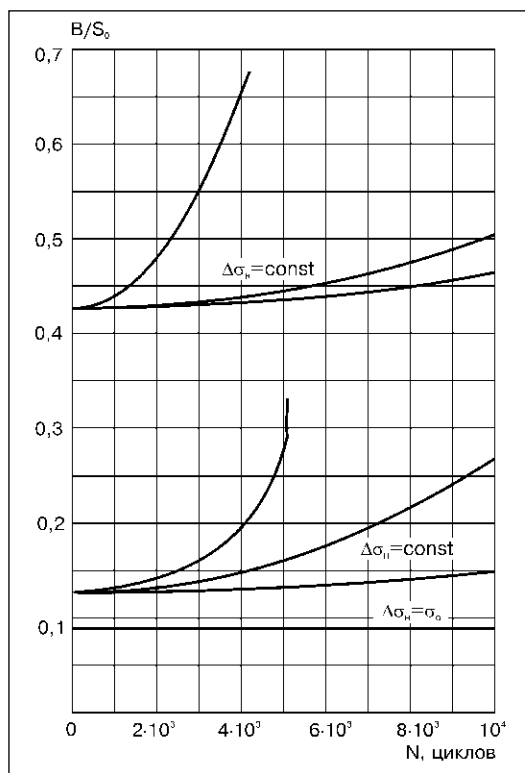


Рис. 2. Рост трещины при циклическом нагружении: B/S_0 — относительный размер толщины; N — число циклов нагружений; $\Delta\sigma_n$ — размах номинальных напряжений, отнесенных к бездефектному сечению; σ_0 — пороговые напряжения

Таблица 1. Параметры Пэриса

Класс стали	Эксперимент		Литературный источник	
	m	C , мм/(МПа·м ^{1/2}) ^{m}	m	C , мм/(МПа·м ^{1/2}) ^{m}
Углеродистая	4,3	$0,177 \cdot 10^{-8}$	4,2	$0,0563 \cdot 10^{-8}$
Аустенитная	4,0	$2,09 \cdot 10^{-8}$	3,3	$2,35 \cdot 10^{-8}$
Низколегированная	4,0	$0,804 \cdot 10^{-8}$	4,0	$0,420 \cdot 10^{-8}$

Рис. 3. Зависимость скорости роста внутренней трещины V от размаха напряжений в сечении, ослабленном дефектом $\Delta\sigma$ (точки — экспериментальные значения V)

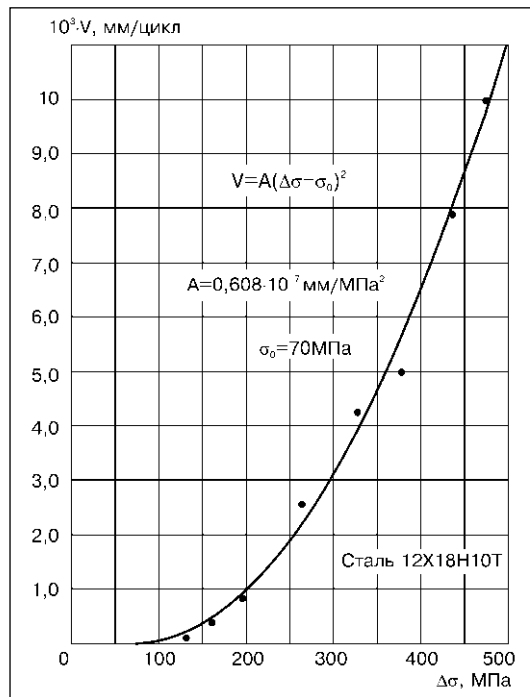


Таблица 2. Значения скорости роста трещины $\bar{V} \cdot 10^3$, мм/цикл, в образцах из различных сталей

σ_0 , МПа, в сечении, ослабленном дефектом	Внутренняя трещина			Поверхностная трещина		
	Ст3	12X18H10T	09Г2С	Ст3	12X18H10T	09Г2С
450–400	9,30	28,1	9,36	—	—	—
400–350	5,13	17,8	7,40	—	—	—
350–300	3,66	15,2	4,70	17,9	21,4	19,3
300–250	2,19	9,15	2,01	11,3	9,50	14,9
250–200	1,12	3,06	1,25	8,37	7,30	10,3
200–150	0,930	1,42	0,481	3,25	4,34	5,73
150– σ_0	0,465	0,356	0,295	1,12	3,03	2,14
$\leq \sigma_0$	0	0	0	0	0	0

Таблица 3. Пороговые размахи напряжений и коэффициента интенсивности напряжений

Марка стали	Внутренняя трещина		Поверхностная трещина	
	σ_0 , МПа	K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}	σ_0 , МПа	K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}
Ст3	75	7,6–11,5	60	6,5–11,3
12X18H10T	70	4,9–9,2	30	3,7–5,7
09Г2С	90	7,3–11,8	45	3,7–8,5

Примечание. Приведены значения σ_0 и K_{Ic} , при которых увеличение размеров трещины не наблюдалось вплоть до 10^4 циклов нагружения.

Таблица 4. Данные, характеризующие предельную толщину [S]

Марка стали	Эксперимент			Данные источника	
	P	R_e , МПа	[S], мм	R_e , МПа	[S], мм
Ст3	2,5	264	50	250	25–49
12X18H10T	5,0	280	100	420	177
09Г2С	2,5	355	45	320	328

двуосного напряженного состояния n_2 и температуры стенки сосуда или трубопровода n_3 :

$$\bar{V} = n_1 n_2 n_3 V, \quad (4)$$

где $n_1 = (S/S_0)^{1/2}$; $n_2 = (1-\mu^2)^{-m/2}$; $n_3 = 1+(t-20)/330$ (при $20^\circ\text{C} \leq t \leq 350^\circ\text{C}$).

Здесь S — толщина стенки объекта; S_0 — базовая толщина образца ($S_0 = 20$ мм); μ — коэффициент Пуассона; t — температура стенки.

Более простые зависимости скорости роста трещины от размаха напряжений в ослабленном сечении могут быть получены при построении кривых. При этом возможна квадратичная аппроксимация полученных зависимостей (рис. 3).

При $S < S_0$ допускаемые (с учетом максимальных значений коэффициентов n_1, n_2, n_3 и десятикратного увеличения в соответствии с ГОСТ) значения скорости роста трещины могут быть определены по данным табл. 2 с учетом пороговых размахов напряжений σ_0 (табл. 3).

На практике в большинстве случаев встречаются тонкостенные конструкции, для которых исключается мгновенный рост трещины:

$$S \geq \beta (K_{Ic} / R_e)^2 = [S]. \quad (5)$$

Здесь S и $[S]$ — толщина стенки сосуда и предельная толщина, допускающая квазихрупкое разрушение; R_e — предел текучести материала; β — коэффициент, зависящий от класса материалов ($\beta = 2,5$ — для углеродистых и низколегированных сталей; $\beta = 5,0$ — для аустенитных сталей).

Значения параметров, определяющих предельную толщину, приведены в табл. 4. Полученные авторами значения дают консервативную оценку предельных толщин.

Расчет допускаемого ресурса с учетом ожидаемого количества циклов нагружений N может быть выполнен в такой последовательности. Определяют размер трещины в конце назначенного числа циклов нагружений:

$$V = V_0 + \sum_{i=1}^j \bar{V}_i N_i, \quad (6)$$

где V и V_0 — высота трещины соответственно в конце и в начале нагружения; \bar{V}_i — скорость роста трещины; N_i — число циклов нагружений, соответствующее i -му размаху напряжений.

По оставшейся толщине стенки $S-V$ определяют напряжения в ослабленном сечении σ . Если напряжения меньше предела

прочности, то назначенное число циклов нагружений допустимо. В противном случае нужно уменьшить количество нагружений.

В качестве примера рассмотрим расчет на циклическую прочность обечайки абсорбера К-2, установленного на ОАО «Укртатнафта».

Рабочая среда	Водород, нефтепродукты
Материал аппарата	сталь 11474.1 (отечественный аналог — сталь Ст3)
Длительность эксплуатации на момент обследования τ_1 , лет	35
Рабочее давление P , МПа	3,9
Рабочая температура t , °С	35
Первый размах колебания рабочего давления ΔP_1 , МПа	3,9
Второй размах колебания рабочего давления ΔP_2 , МПа	0,1
Количество циклов нагружения N_1 при первом размахе колебания рабочего давления, цикл/год	2
Количество циклов нагружения N_2 при втором размахе колебания рабочего давления, цикл/год	365
Внутренний диаметр D , мм	1790
Минимальная толщина стенки S по результатам измерений, мм	19,0
Скорость коррозии V_k , мм/год	0,16
Временное сопротивление материала при нормальной R_m^{20} и рабочей R_m^t температуре, МПа	469; 463
Ускорение деградации механических свойств a_m , МПа/год ²	0,012
Начальная высота внутреннего дефекта в продольном шве B_0 , мм	6,9
Назначенный срок службы аппарата с момента обследования τ_H , лет	8

Расчет на прочность:

1. Оценка возможного механизма разрушения.

В соответствии с данными табл. 4 $S < [S]$, $19,0 < 50$ мм, т. е. разрушение не может быть квазихрупким до выхода трещины на поверхность с образованием сквозного свища.

2. Прибавка на коррозию на конец назначенного срока службы

$$C_c = V_k \tau_H = 0,16 \times 8,0 = 1,28 \text{ мм.}$$

3. Временное сопротивление материала при рабочей температуре на конец назначенного срока службы

$$R_m = (R_m^{20} - a_m (\tau_1 + \tau_H)^2) R_m^t / R_m^{20} = (469 - 0,012(35+8)^2) \cdot 463 / 469 = 441 \text{ МПа.}$$

Здесь принят квадратичный закон деградации металла; ускорение деградации определено при сопоставлении измеренного при диагностировании и сертификатного значения пределов прочности.

4. Размах напряжений в сечении, ослабленном дефектом, при $V = V_0$

$$\Delta \sigma_i = [\Delta P_i (D + S - C_c)] / [2(S - B_0 - C_c)],$$

$$i = 1, 2;$$

при размахе колебания рабочего давления $\Delta P_1 = 3,9$ МПа

$$\Delta \sigma_1 = [3,9 (1790 + 19 - 1,28)] / [2(19 - 6,9 - 1,28)] = 326 \text{ МПа,}$$

при размахе колебания рабочего давления $\Delta P_2 = 0,1$ МПа

$$\Delta \sigma_2 = [0,1 (1790 + 19 - 1,28)] / [2(19 - 6,9 - 1,28)] = 8,4 \text{ МПа.}$$

5. Скорость роста дефекта \bar{V} ($i = 1, 2$) по данным табл. 2 при размахе напряжений $\Delta \sigma_1 = 326$ МПа

$$V_1 = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ мм/цикл;}$$

при размахе напряжений $\Delta \sigma_2 = 8,4$ МПа $< \sigma_0 = 75$ МПа (см. табл. 3)

$$V_2 = 0.$$

6. Высота дефекта в конце назначенного срока службы

$$V = B_0 + 2 \sum_{i=1}^j \bar{V}_i N_i \tau_H = 6,9 + 2 (3,66 \cdot 10^3 \cdot 2 + 0 \cdot 365) 8,0 = 7,02 \text{ мм.}$$

Приращение дефекта в конце назначенного срока службы незначительно ($V - B_0 = 0,12$ мм).

7. Эквивалентные действующие напряжения

$$\sigma = \sum_{i=1}^j \Delta \sigma_i = 338 \text{ МПа.}$$

8. Проверка условия прочности —

$$\sigma < R_m; 338 < 441 \text{ МПа.}$$

9. Обнаруженный дефект не является опасным. Абсорбер может быть допущен к эксплуатации.

Периодический контроль через два и четыре года не зафиксировал роста дефекта. Предложенная методика апробирована на нескольких сотнях аппаратов и трубопроводов на различных предприятиях Украины и стран СНГ и позволяет получать надежные результаты по оценке качества сварных соединений действующих конструкций.

● #531

Повышение надежности теплообменных аппаратов при применении прессовотермической сварки

А. И. Вовченко, д-р техн. наук, Л. Ю. Демиденко, Н. А. Онацкая, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины (Николаев)

Вопросы повышения надежности, экономичности и ресурса теплообменных аппаратов в действующих и вновь проектируемых энергетических установках являются важнейшими для энергомашиностроения в современных условиях.

Одним из ответственных узлов, обеспечивающих надежность и долговечность теплообменного аппарата, является соединение трубы с трубной решеткой. С ростом рабочих параметров теплообменников (температуры рабочих сред, давления) и цикличности их изменения узлы соединения труб испытывают значительные нагрузки, что предъявляет повышенные требования к качеству выполнения соединений труб с трубными решетками.

В теплообменных аппаратах ответственного назначения, в частности для АЭС, соединение труб с трубной решеткой выполняют, как правило, комбинированным методом, в котором прочность закрепления трубы обеспечивается за счет напряжений, возникающих при запрессовке, а герметичность — монолитностью сварного шва. К комбинированным относятся соединения, полученные сваркой с последующей раздачей трубы в отверстии трубной решетки до обеспечения их плотного контакта по всей поверхности сопряжения одним из известных способов:

- энергией взрыва ВВ или электрического взрыва проводника;
- механической роликовой развальцовкой;
- прессовой или гидравлической раздачей.

Однако фактический ресурс работы таких комбинированных соединений зачастую оказывается недостаточным, так как существенно уступает по долговечности другим конструктивным элементам теплообменных аппаратов. Как показывает анализ, разрушение комбинированных соединений обусловлено в большинстве случаев следующими факторами:

- снижением механической прочности запрессовки из-за релаксации напряжений в условиях длительных нагрузок при повышенных температурах;

- склонностью сварных швов к дефектам типа надрывов и несплошностей, являющихся продолжением зазора между трубой и трубной решеткой;
- развитием дефектов в процессе воздействия термических нагрузок, что связано со значительным термическим сопротивлением зазора между трубой и трубной решеткой.

Такая ситуация наиболее характерна для теплообменных аппаратов, эксплуатируемых в области средних температур $0,25-0,50 T_{пл}$, где $T_{пл}$ — абсолютная температура плавления материала элементов соединения. Так, в прямоточных парогенераторах на узле приварки труб к трубным решеткам наблюдается большее число разрушений, чем на всех остальных элементах вместе взятых, причем эти разрушения носят внезапный быстротечный характер. Опасность, которую создают дефекты сварных соединений труб с трубными решетками, особенно велика на парогенераторах Na—вода, так как на этих парогенераторах разрушения указанных соединений могут привести к межконтурной течи, что вызывает необходимость остановки оборудования, сложного для проведения ремонта, или даже замены всего теплообменного аппарата.

Наличие сварных швов по торцам труб также отрицательно влияет на долговечность трубной решетки. Эти швы являются концентраторами остаточных растягивающих напряжений, соответственно способствуют возникновению и распространению трещин по торцам трубной решетки. В совокупности с остаточными растягивающими напряжениями от запрессовки сварочные напряжения значительно снижают надежность трубных решеток. Свидетельством этому является преждевременный выход из строя коллекторов парогенераторов из-за массового трещинообразования, их ресурс даже при относительно малоинтенсивном нагружении при запрессовке со-

ставляет всего 8 лет при проектном 30 лет.

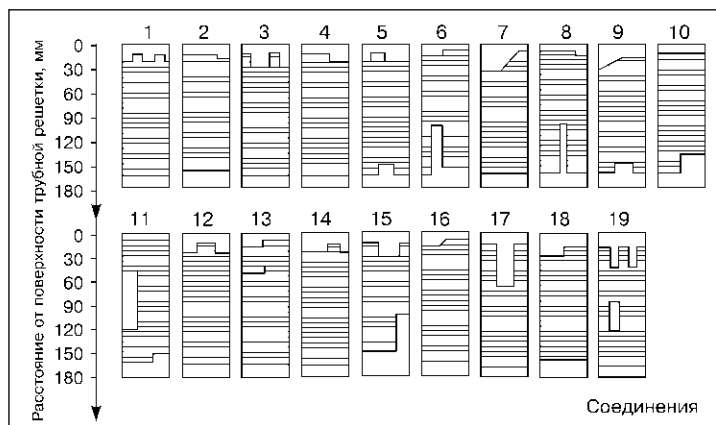
Из изложенного следует, что существенное повышение надежности соединений труб с трубными решетками и соответственно теплообменных аппаратов в целом может быть достигнуто путем увеличения в соединениях в несколько раз площади металлических связей без образования остаточных растягивающих напряжений.

Применение разработанной в Институте импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины технологии прессо-термической электрогидроимпульсной (ПТЭГ) сварки для крепления труб в трубных решетках является наиболее радикальным путем повышения надежности и долговечности парогенераторов АЭС.

Сущность ПТЭГ сварки заключается в определенном сочетании электрогидроимпульсной (ЭГ) запрессовки и термообработки. При этом реализуется процесс, подобный процессу диффузионной сварки, но без приложения внешнего давления и защиты от окружающей среды. Последнее, согласно данным физических исследований, возможно благодаря образованию пресового соединения, поскольку возникновение сжимающих напряжений между трубой и трубной решеткой препятствует проникновению при нагреве между ними воздуха, т.е. создаются условия, предотвращающие окисление свариваемых поверхностей, аналогичные тем, которые имеют место при автовакуумной сварке.

Возможности ПТЭГ сварки в обеспечении высокого качества соединений труб с трубными решетками подтверждают, например, результаты проверки ее эффективности на соединениях парогенераторов ядерных установок БН-600 на быстрых нейтронах, а именно на соединениях труб размером (16×2,5) мм с трубной решеткой толщиной 185 мм. Экспериментальные исследования проводили на 19-трубных моделях парогенераторов с треугольной разбивкой отверстий диаметром $16,2 \pm 0,1$ мм в трубных решетках с шагом $28,0 \pm 0,1$ мм. Материал трубной решетки — поковка из стали марки 10X2M, трубы — из той же марки теплоустойчивой стали перлитного класса.

ЭГ запрессовку труб в трубные решетки осуществляли на установке ТО226 с применением полиэтиленовых электровзрывных патронов способом, обеспечивающим в соединении максимально возможное остаточное контактное давление. Термообра-



ботку моделей проводили в камерной электропечи сопротивления при температуре нагрева 973К, выдержке в течение 30 мин и охлаждении вместе с печью до 473К.

Качество полученных соединений оценивали по результатам испытаний на герметичность и прочность, а также по данным ультразвукового контроля и металлографических исследований.

Проверка на герметичность с помощью гелиевого течеискателя показала, что течи ни в одном соединении не обнаружено, все соединения отвечают требованиям I класса герметичности (ОСТ 5.0170-81). Ультразвуковой контроль моделей показал наличие металлической связи на глубине 10–170 мм от торца трубной решетки. Площадь металлической связи между трубой и трубной решеткой в указанном интервале колеблется от 60 до 100% площади контактной поверхности. На *рис. 1* показаны условные картограммы площадей соединений с металлической связью (заштрихованные участки), выполненные в виде разверток цилиндрических поверхностей соединений. По данным металлографии на участках с металлической связью можно различить следы линии контакта, соизмеримые с толщиной границы зерна (*рис. 2*), что свидетельствует о наличии сварки в

Рис. 1. Условные картограммы площади соединений с металлической связью (согласно УЗК)



Рис. 2. Микроструктура зоны соединения «труба — трубная решетка» (×1000)

Таблица. Показатели качества ПТЭГ сварки 19-трубных моделей теплообменных аппаратов

Трубы		Трубные решетки				Напряжение среза τ_c , МПа	Показатель плотности $У$, %
Наружный диаметр и толщина стенки, мм	Материал	Толщина, мм	Диаметр отверстия, мм	Шаг отверстий, мм	Материал		
16,0×1,5	08Х18Н10Т	168	16,3±0,11	23,1±0,1	10Г2Н2МФА	196,2±4,1	98,0±1,3
10,0×1,0	08Х18Н10Т	35	10,2±0,02	13,0±0,1	12Х18Н10Т	144,8±32,7	72,3±12,4
8,0×0,8	03Х21Н32М3Б	25	8,2±0,01	10,6±0,1	08Х16Н11М3	99,9±19,5	65,7±5,8

зоне соединения. Прочность соединений на срез составляет 0,7–0,9, а на отрыв 0,3–0,6 прочности основного металла.

В ОКБ «Гидропресс» проведены сравнительные термоциклические испытания 19-трубных моделей парогенераторов, в которых соединения труб с трубными решетками получали по технологии, подобной технологии ПТЭГ сварки, и по традиционной технологии, т. е. путем импульсной запрессовки с предварительной приваркой торцов труб к трубной решетке сваркой плавлением.

Испытания теплосменами при температуре (503–703) К проводили на стенде с паровым нагревом и пароводяным охлаждением, имитирующими реальные условия эксплуатации парогенераторов. Стойкость соединений к разрушению при термоциклировании оценивали после 5000 циклов по результатам испытаний на герметичность и металлографических исследований. Испытания на герметичность показали, что сквозных разрушений соединений, изготовленных по обоим указанным методам, не произошло. Однако металлографические исследования выявили существенное различие качества соединений. В большинстве соединений, полученных по традиционной технологии, обнаружены трещины, которые, как правило, берут начало от концентраторов напряжений: от зазоров между трубами и трубной решеткой, от границ между швом и основным металлом. В соединениях, полученных по технологии, подобной ПТЭГ сварки, и обеспечивающих, по данным ультразвукового контроля, близкие к приведенным выше характеристики качества (см. рис. 1), трещины не выявлены. Можно предположить, что долговечность этих соединений в условиях термоциклирования будет значительно больше, чем соединений, полученных комбинированным методом.

Подобные результаты качества сварных соединений труб с трубными решетками получены при ПТЭГ сварке 19-трубных моделей других типоразмеров, достаточно широко

ко применяемых в промышленности, например, парогенератора ПГВ–1000. При этом конструкции моделей во всех частях (шаг и расположение отверстий, допуски на отверстия и трубы, размер трубной решетки по высоте, материал труб и трубных решеток) соответствовали натурным конструкциям различных теплообменных аппаратов ответственного назначения (таблица).

Качество соединений оценивали по результатам металлографических исследований и испытаний на прочность. Критерии качества – напряжение среза τ_c и показатель плотности $У$, характеризующий (в процентах) относительную протяженность границы в поперечном сечении толщиной не более 1 мкм. Измерения последней производили в 100 точках, примерно равномерно расположенных по длине окружности, на микроанализаторе JCXA–733 при 1000-кратном увеличении с использованием микронной линейки с ценой деления 0,5 мкм. В каждой модели исследованиям подвергали все 19 соединений в плоскости, перпендикулярной к продольной оси модели, в срединной (по толщине трубной решетки) их части. Модели были разрезаны на темплеты толщиной 5 мм, их вырезали на удалении от внешнего торца трубной решетки, равном 15, 100 и 145 мм для парогенератора модели ПГВ–1000, для других моделей – 5, 15 и 25 мм.

Усредненные результаты исследований и механических испытаний, представленные в таблице, показывают, что ПТЭГ сварка в многотрубных моделях теплообменников образует соединение трубы с трубной решеткой с металлической связью на площади, которая больше половины площади контактной поверхности. Наличие металлической связи между трубой и трубной решеткой обеспечивает высокую релаксационную стойкость соединения в процессе всего периода эксплуатации, снижение термического сопротивления перехода «труба–отверстие трубной решетки»,

(Окончание на стр. 21)

Диагностика сварных соединений ядерных энергоблоков с помощью магнитных методов оценки ресурса металла

Г. Я. Безлюдько, канд. техн. наук, НПП «Специальные научные разработки» (Харьков),

С. Н. Ковбасенко, канд. техн. наук, ИЯИ НАН Украины (Киев),

В. В. Корниец, НАЭК «Энергоатом» (Киев)

Сварные соединения ответственных конструкций требуют особого внимания в процессе эксплуатации. В атомной энергетике важна оценка надежности сварных соединений, их строгая регламентация по свариваемым и сварочным материалам, технологиям сварки, а также методам контроля качества и работоспособности металла. Тем не менее отказы случаются, что приводит к значительным материальным затратам, а главное, нарушает уровень гарантий безопасности ядерных энергоблоков. Всемирная организация операторов атомных станций (WANO) постоянно публикует данные об основных отказах на ядерных энергоблоках. Большинство отказов относится к сварным соединениям.

На 13 эксплуатирующихся в Украине блоках ВВЭР также отмечены отказы по сварным соединениям первого и второго контуров. В первом контуре большинство нарушений отмечено в композитных соединениях обвязки парогенераторов и в подогревателях. Имеются проблемы надежности швов приварки теплообменных трубок к трубным доскам и при глушении поврежденных трубок. Во втором контуре наблюдались трещины в сварных соединениях коллектора с корпусом на ПГВ-1000 (шов № 111) для энергоблоков малой серии, а также отмечены трещины на швах паропроводов (ВВЭР-440) усталостного характера и отказы, связанные с эрозионно-коррозионным износом трубопроводов. Особое внимание эксплуатационники уделяют сварным соединениям корпуса реактора (КР), в частности, швам № 3 и 4, которые расположены напротив активной зо-

ны. Вызвано это необходимостью гарантии надежности КР — основного барьера на пути утечки радиации при аварии. Вызывают опасения корпуса советского производства из-за повышенного содержания никеля в металле швов, который, с одной стороны, повышает исходную трещиностойкость и вязкость металла, а с другой — способствует ускоренному охрупчиванию под действием радиационного облучения.

Для контроля уровня охрупчивания металла в каждый КР заложена специальная «Программа образцов-свидетелей» (ОС), включающая 1624 образца для механических испытаний, которая должна отслеживать степень деградации стенки корпуса и его сварных соединений. Из-за методических просчетов «Программа» не обеспечивает на необходимом уровне надежного отслеживания работоспособности металла.

Наработанный опыт неразрушающего контроля и механических испытаний образцов-свидетелей позволяет обнаружить дефекты и отклонения от заложенных проектом норм в сварных соединениях. Это происходит на стадиях образования дефектов, выявляемых методами неразрушающего контроля (НК). Для экономически оптимизированной эксплуатации желательнее обнаруживать центры зарождения дефектов на более ранней стадии, когда, управляя механизмами старения металла, можно продлить время надежной работы ответственных узлов и конструкций.

Известно, что физико-механические свойства металла напрямую связаны с его магнитными характеристиками. Изменения, вызванные термосиловыми и радиационными воздействиями на основные узлы

ядерных реакторов, фиксируются изменениями релаксационной коэрцитивной силы, магнитной проницаемости и других показателей магнитного состояния металла. Имеется большой практический опыт применения методик, разработанных харьковским предприятием «Специальные научные разработки», и приборного обеспечения оценки ресурса металла ответственных конструкций с помощью магнитных методов. Работы выполнены на объектах, подведомственных Госгортехнадзору, путем замеров и анализа коэрцитивной силы и всей петли гистерезиса. Накопленный опыт обобщен в ГОСТ 30415–96. На его основе с 1997 г. в Российской Федерации разрешено техническое диагностирование работоспособности металла всех типов грузоподъемных машин, сосудов давления, высоконапорных трубопроводов и металлургического оборудования. Эта диагностика позволяет прогнозировать ресурс узлов до появления макродефектов, обнаруживаемых методами неразрушающего контроля. На сегодня выполнены факультативно (до разработки и утверждения отраслевых методик) обследования ответственных узлов также на ядерных энергоблоках Украины и России.

Характерным примером надежности магнитной диагностики может служить контроль сварных соединений коллектора парогенератора с патрубком корпуса ПГВ–1000 (шов № 111).

Проблема возникла для энергоблоков ВВЭР–1000 малой серии, когда в этом шве (диаметр коллектора 1350 мм, толщина стенки 72 мм, материал – низколегированная теплоустойчивая сталь 10ГН2МФА) в процессе эксплуатации стали появляться сквозные трещины, не обнаруживаемые плановыми штатными методами ультразвукового контроля. Сложность сварного узла и неудобство контроля всеми существующими методами НК при зарождении трещины изнутри соляного кармана не дают надежных результатов даже после неоднократных усовершенствований специальной методики ультразвукового контроля. Отмечено также, что на одних парогенераторах (на каждом ВВЭР–1000 по четыре ПГВ–1000) это сварное соединение ведет себя нормально (проектный ресурс – 30 лет), а на других – предаварийные ситуации имели тенденцию к воспроизводству и после ремонта дефектных участков.

Первые опыты магнитной диагностики выполнены на одной из АЭС Украины. Через год после ремонта двух парогенераторов во время планового останова энергоблока наряду со штатными методами контроля факультативно провели магнитную диагностику швов № 111 на всех четырех парогенераторах, измерив коэрцитивную силу по длине окружности шва, в зоне термического влияния и по основному металлу патрубка и коллектора. Результаты анализа показали на обоих отремонтированных ПГ наличие зон, где интенсивность усталостного износа приближается к предельной. При этом на одном из швов в течение года работала система тензодатчиков для непрерывного мониторинга эксплуатационных нагрузок. Результаты всех проведенных методов контроля (кроме магнитного) подтвердили работоспособность сварных соединений. Через год эксплуатации (2 года после ремонта) в местах, зафиксированных магнитной диагностикой, были обнаружены трещины различной глубины и ориентации.

Накопленный опыт магнитного мониторинга объектов Госгортехнадзора и параллельные механические исследования до разрушения модельных образцов показывает четкую закономерность роста коэрцитивной силы H_c с накоплением микропластических усталостных изменений в отдельных зонах сложно нагруженных узлов. При этом значение H_c изменяется на 200–300% в зависимости от марки стали при росте напряжений в металле от уровня начала текучести до уровня предразрушения. Для наглядности представления результатов методики была создана программа преобразования табличного дискретного распределения значений H_c по шву и зоне термического влияния в своеобразное непрерывное цветовое распределение по принципу «чем краснее, тем опаснее». Такое представление позволяет оформлять результаты контроля оригинальным и весьма наглядным вариантом документирования и составлять ЭВМ-банк данных, отслеживающий количественные и качественные изменения в структуре металла каждого сварного соединения. Таким образом, исключается субъективный фактор в диагностике и четко отслеживается динамика процессов зарождения, накопления повреждений на микроуровне, переход на макроуровень и состояние предразрушения.

Магнитный контроль в «горячих камерах» ИЯИ НАНУ образцов металла шва корпуса реактора, облученных на проектный флюенс (40 лет), показал, что значение коэрцитивной силы не коррелирует с уровнем радиационного охрупчивания металла. Дальнейший углубленный анализ петли гистерезиса, снятой на облученном металле, показал, что этот вид деградации может быть зафиксирован с помощью другой магнитной характеристики материала — показателя уровня магнитной проницаемости. Этот параметр «работает» на микроуровне и чувствует дислокационную картину внутри отдельных зерен. При этом разница показаний у облученных и необлученных образцов достигает 50%.

Аналогичные исследования были выполнены на уменьшенных образцах материаловедческого центра Еврокомиссии в Петтене, которые подтвердили выявленную тенденцию. В настоящее время на базе ИЯИ развернуты более широкие исследования для набора статистической информации и разработки методики контроля. Параллельно с этими исследованиями проводится мониторинг исходного магнитного состояния металла новых КР (ХАЭС-2 и РАЭС-4) для дальнейшего их сопровождения по уровню охрупчивания.

Применение магнитной диагностики — это новый подход в оценке ресурса работоспособности сварных соединений, который вместе с неразрушающим контролем позволит при минимальных затратах подтвердить надежность ответственных узлов ядерных реакторов и продлить срок их безопасной эксплуатации. Практическое освоение уже существующих методик и оборудования для магнитной диагностики дает возможность оптимизировать сам процесс подтверждения безопасности и дополнить его новыми подходами. Для подтверждения этого тезиса предлагаем оценить существующий перечень операций контроля швов одного сварного соединения (Правила АЭС), который включает 22 контрольных операции, плюс одна — магнитного НК.

Последовательность НК на швах 1-й категории (швы приварки трубопровода Ду850 к реактору) и категории 11а (швы приварки Ду850 к ПГВ-1000, к ГЦН и сварки между собой):

- Визуальный контроль деталей и сборочных единиц.

- Капиллярный контроль кромок деталей и сборочных единиц, подготовленных под сварку.
- Ультразвуковой контроль кромок деталей и сборочных единиц, подготовленных под сварку, на отслоение плакирующего слоя.
- Визуальный и измерительный контроль сборки узла, подготовленного под сварку.
- Визуальный и измерительный контроль в процессе сварки корня шва.
- Визуальный и измерительный контроль корня шва.
- Капиллярный контроль корня шва.
- Радиографический контроль корня шва.
- Визуальный и измерительный контроль в процессе сварки перлитной части шва.
- Визуальный и измерительный контроль (после окончания сварки) перлитной части шва с наружной и внутренней сторон трубопровода.
- Капиллярный контроль перлитной части шва с наружной стороны трубопровода.
- Капиллярный и измерительный контроль перлитной части шва с внутренней стороны трубопровода.
- Радиографический контроль перлитной части шва до термообработки.
- Ультразвуковой контроль перлитной части шва до термообработки.
- Визуальный и измерительный контроль перлитной части шва после термообработки.
- Капиллярный контроль перлитной части шва с наружной стороны трубопровода после термообработки.
- Радиографический контроль перлитной части шва после термообработки.
- Ультразвуковой контроль перлитной части шва после термообработки.
- Визуальный и измерительный контроль шва после сварки плакирующего слоя с внутренней и наружной сторон трубопровода.
- Капиллярный контроль шва после сварки плакирующего слоя с внутренней стороны трубопровода.
- Ультразвуковой контроль шва после сварки плакирующего слоя.
- Гидравлические испытания сварных соединений трубопроводов Ду850 после монтажа 1 контура.

22 операции НК требуются, чтобы подтвердить качество сварного стыка, и одна — чтобы убедиться в его работоспособности.

● #533

Особливий вид деградації труб із сталі 12Х18Н12Т пароперегрівника котла ТЕС

Р. К. Мелехов, Політехніка Ченстоховська (Польща), А. В. Василик, канд. техн. наук, Буришинська ТЕС (Буришин), Г. М. Круцан, Фізико-механічний інститут НАН України (Львів)

В котлах високого тиску енергоблоків 200 МВт у вихідних ступенях пароперегрівників використовують труби з аустенітної сталі 12Х18Н12Т, що обґрунтовується вищою жаростійкістю цієї сталі порівняно із перлітними сталями, наприклад 12Х1МФ, 12Х2МФСР та ін.

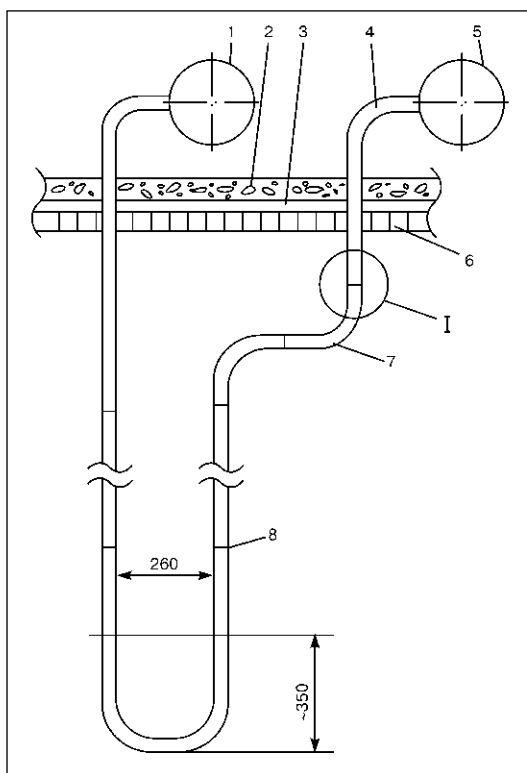
В комбінованих зварних з'єднаннях труб пароперегрівників з перлітної та аустенітної сталей інтенсивнішою газовою корозією зазнає низьколегована Cr–Mo–V сталь, що призводить до розривів в результаті локальної пластичної деформації металу в місцях зменшеної товщини стінки за рахунок корозійної втрати металу або ж до квазікрихкого руйнування у зоні термічного впливу комбінованих стиків. Останній вид руйнування зумовлений дифузійним перерозподілом вуглецю в комбінованому зварному з'єднанні, чому сприяє також абсорбований водень, та виділення вторинних фаз, укрупнення зерна, локальне зневуглецювання.

Іноді з метою підвищення жаростійкості теплообмінних поверхонь котлів частини труб пароперегрівника, які за проектом повинні виготовлятися із перлітної сталі, замінюють на труби із аустенітної сталі, як це показано на рис. 1, де ділянка I за проектом із сталі 12Х1МФ замінена на трубу із сталі 12Х18Н12Т. Така заміна добре справдилася щодо жаростійкості (труба із аустенітної сталі практично не зазнала втрати металу або ж локальних пошкоджень протягом експлуатації понад 120 тис. годин).

Але суттєвою проблемою, що виникає перш за все при порушенні технології зварювання, термічної обробки або ж в результаті перегрівання під час експлуатації труб із аустенітної сталі, є їх локальна сенсibilізація, а іноді й так звана низькотемпературна сигматизація. Сенсibilізація аустенітної сталі типу 18–12 згідно з домінуючою концепцією полягає у виділенні на границях зерен карбідів типу $Cr_{23}C_6$ або Me_7C_3 , яке відбувається при температурах 600–700 °С. В результаті приграничні зони зерен збагачуються хромом. Тобто вирішальним фактором цього процесу є фактор температурно-часовий, не зважаючи навіть на досконалу стабілізацію сталі шляхом введення титану, який зв'язує вуглець у карбіди, термодинамічно стабільні до відповідної температури. Сигматизація ж полягає в утворенні інтерметалідних з'єднань – σ -фази (Fe, Cr) при температурах, вищих за 650 °С. Наслідком такої дестабілізації структури може бути міжкристалітна корозія (МКК) під дією специфічних середовищ або ж крихке механічне руйнування деградованої сталі.

Значний вплив у цьому відношенні на метастабільну сталь типу 18–12, окрім температури, має наклеп металу, наприклад під час формування U-згинів. З метою зменшення залишкових напружень та аустенізації структури деформованих ділянок труб технологією передбачено проведення місцевої термічної обробки. Але при недосконалому виконанні термічної обробки

Рис. 1. Схема петлі пароперегрівника котла ТП–100: 1 — вихідний колектор; 2 — шар бетону зовнішньої обудови котла; 3 — шар азбесту; 4 — згин, який згідно з проектом повинен бути виготовлений із сталі 12Х1МФ; 5 — вихідний колектор; 6 — шар термостійкої цегли; 7 — коліно із сталі 12Х18Н12Т; 8 — коліно із сталі 12Х1МФ

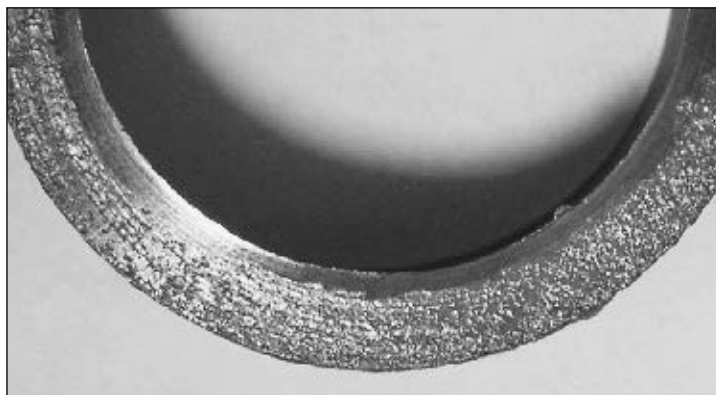


структура може бути не повністю зрівноважена або ж в перехідній зоні від термообробленого до вихідного металу навіть зазнавати сенсibilізації. Механічний наклеп сталі типу 18–12 суттєво прискорює сенсibilізацію, яка може проходити при нижчих температурах від визначених експериментально під час дослідження фазових перетворень даної сталі і приведених в технічній літературі (600–700 °С).

Труби із аустенітної сталі навіть після досконалої стабілізації структури в робочих умовах (на виході газів з топки) можуть зазнавати перегрівання до 700 °С (при температурі пари 570 °С), а у випадку зниження навантаження котла при одночасному збереженні температури перегрітої пари температура металу може досягати навіть 750 °С. Крім того, труби пароперегрівника протягом дуже короткого часу працюють в так званому безпаровому режимі. Усі ці температурні відхилення згубно впливають на структуру сталі типу 18–12, яка дуже чутлива до теплового фактора. Тому заміна труб із перлітної сталі на труби з аустенітної сталі не гарантує від пошкоджень в результаті локальної структурної деградації сталі, хоча жароопірність труб значно зростає, що практично виключає можливість розривів за рахунок зменшення товщини стінки труби при газовій корозії протягом розрахункового ресурсу роботи пароперегрівника.

Прикладом інтенсивної сенсibilізації і одночасної так званої низькотемпературної стигматизації, що рідко виявляється в умовах експлуатації, може бути руйнування шляхом утворення наскрізних тріщин в трубах діаметром 38×4 мм із сталі 12Х18Н12Т ($C \leq 0,12\%$; $Si \leq 0,8\%$; $Mn \leq 2,0\%$; $17-19\% Cr$; $11-13\% Ni$; $Ti \geq 5\% C$) окремих пакетів вихідної частини вторинного пароперегрівника котла ТП–100 № 6 зони, що не обігривається, на Бурштинській ТЕС (рис. 2). Температура пари в трубах досягає 540 °С. Подібні пошкодження труб вторинного пароперегрівника котла № 3 в зоні, що не обігривається, на цій ТЕС мали місце в 1989 р. після напрацювання понад 100 тис. годин, що було віднесено за рахунок порушення технології термообробки гнутих ділянок труб.

Зміною структури аустенітної сталі був охоплений метал від зовнішньої поверхні в зоні, що не обігривається, десь на рівні цегляної кладки стелі котла приблизно до 1/3 периметра труби. При цьому деградація



металу в лобовій частині була майже на всю товщину стінки труби. Структура деградованого металу характеризувалася суттєвим ростом зерен, на границях яких виділилась велика кількість вторинних фаз двох видів: збагачених хромом і збагачених нікелем.

В металі зерен, приграничних з виділеннями, збагаченими хромом (з усередненим вмістом Cr – 34% і Ni – 6%), концентрація хрому знижена (менше 10%) порівняно з концентрацією в матриці, де вона не нижча за 17%. Про це свідчить розподілення концентрації хрому в деградованому металі при скануванні поперек границь зерен під час досліджень на рентгенівському мікроаналізаторі САМЕВАХ–МВХ. Метал цієї зони зазнав окислення при експлуатації в результаті зниження концентрації хрому понад критичну, яка приблизно досягає 12%. Фаза, що відповідає максимальному вмісту хрому, ідентифікована рентгеноструктурним аналізом як карбід $Cr_{23}C_6$.

На відміну від попереднього, метал при границях зерен біля виділень, збагачених нікелем, не зазнав окислення, тоді як окислювались самі міжзеренні виділення, що було встановлено металографічними дослідженнями при великих збільшеннях. За результатами рентгеноструктурного і локального рентгеноспектрального аналізу та металографічних досліджень ряд глобулярних виділень на границях зерен, а також окремих виділень в тілі зерен ідентифіковано як σ -фазу. Тому виникає припущення, що процес окрихчування границь зерен є довготривалим: під час першого етапу на границях зерен утворюються карбіди, які поступово перетворюються в частинки σ -фази, оточені карбідами титану. Карбіди титану досить рівномірно розподілені в зоні недеградованого металу пошкодженої труби, тоді як в зоні окрихченого металу вони у більшості розчинились.

Рис. 2. Вид металу в зоні локальної деградації в поперечному перерізі труби діаметром 38×4 мм із сталі 12Х18Н12Т пароперегрівника котла ТП–100 на Бурштинській ТЕС, що експлуатувалась після ремонтної заміни протягом 42 807 годин

В оторочці навколо великих виділень складного хімічного складу, розміщених переважно на границях зерен, спостерігаються ямки травлення дислокацій, концентрація яких відбулася шляхом їх переміщення до границь в процесі рекристалізаційного росту зерен. Рухові дислокацій сприяв також водень, концентрація якого (але тільки залишкового, зв'язаного в частинки метану, молекулярного водню, а також атомарного водню в хмарах Котрела на дислокаціях) є досить висока — досягає 12 ppm в окремих зонах аналізу. Зрозуміло, що концентрація оклюдованого водню була значно вищою, оскільки застосований мас-спектральний метод локального аналізу за допомогою мікроаналізатора Echo-4 не давав можливості хоча б приблизного врахування концентрації водню, десорбованого до початку аналізу.

Причиною міжкристалічної корозії деградованого металу труб пароперегрівника

можуть бути процеси ванадієвої, сульфатно-кисневої або сірководневої корозії з боку топки, а також дія вологого середовища з підвищеним рН під час охолодження котла і омивання труб водою зовні. Про це свідчать вимірювання рН витяжок при 23 °С з бетону (7,76 рН), азбесту (8,78 рН), бетону з азбестом (8,42 рН), попелу з верхніх труб (9,02 рН) та меленої цегли (7,42 рН), тобто субстанцій, при зволоженні яких на ділянки пошкодженого металу труб може стікати середовище з вказаними величинами рН. Подібний процес відзначений при аналізі причин розтріскування труб пароперегрівників із сталі 12Х18Н12Т. Аналогічне явище виявлено при корозійному розтріскуванні згинів труб, що не обігриваються, із сталі 20, коли на метал діяло підлучене середовище, що утворювалось при взаємодії вологи з матеріалом теплової ізоляції під час простоювання котла.

● #534

Внимание специалистов!

Физико-технический институт НАН Беларуси,
Институт сварки и покрытий НАН Беларуси,
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ,
Белорусский республиканский фонд
фундаментальных исследований, Государственный
фонд фундаментальных исследований Украины,
Государственный комитет по науке и технологиям
Республики Беларусь организуют

Международный научный семинар

«Неразъемные соединения: теория и практика»

16–17 июня 2005 г. (Минск)

Тематика семинара:

1. Методы получения соединений одно- и разнородных материалов.
2. Методы исследований и диагностики неразъемных соединений материалов.
3. Теоретическое и экспериментальное моделирование физико-химических процессов при получении соединений.

Формы работы семинара — пленарные доклады, устные секционные выступления.

Каждый участник семинара может быть автором не более двух докладов. К открытию семинара предполагается издание сборника трудов семинара.

Официальные рабочие языки семинара — белорусский, украинский, русский и английский.

За дополнительной информацией обращаться к Поболу Игорю Леонидовичу и Олешук Ирине Григорьевне по тел.: (+375 17) 287 0739, факс: (+375 17) 263 7693, e-mail: e-phys@tut.by.

Заявки отправлять по адресу: ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», ул. Купревича, 10, 220141, г. Минск, Беларусь.

Национальная академия наук Беларуси,
Министерство промышленности Республики
Беларусь, Государственный комитет по науке
и технологиям Республики Беларусь, Физико-
технический институт НАН Беларуси организуют

Международную научно-техническую
конференцию

«Современные технологии металлообработки»

14–17 июня 2005 г. (Минск)

Тематика конференции:

1. Технологии и оборудование для:
 - нанесения многокомпонентных и многослойных покрытий различного функционального назначения;
 - получения композиционных материалов на основе металлов с дисперсными наполнителями;
 - поперечно-клиновой прокатки;
 - получения новых материалов для электронной техники;
 - резки и поверхностного упрочнения материалов;
 - получения инструмента различного назначения;
 - литейного производства.
2. Эксплуатация, ремонт и восстановление оборудования, технологической оснастки и инструмента.
3. Прочность и остаточный ресурс магистральных трубопроводов и сосудов высокого давления.

Контактные телефон, факс, электронная почта и адрес: Ефимочкин Алексей Сергеевич, тел.: (017) 264 9628, факс (017) 263 7693, эл. почта: phti@tut.by.

Адрес: ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», ул. Купревича, 10, 220141, Минск, Беларусь.

Повышение сопротивления усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой

В. В. Кныш, канд. физ.-мат. наук, А. З. Кузьменко, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Технология высокочастотной механической проковки (ВМП) является развитием технологий поверхностного пластического деформирования (поверхностного наклепа) металлов дробью, обкаткой роликом, чеканкой одно- и многобойковым пневматическим или электромеханическим инструментом, пластическим обжатием и взрывной обработкой, применяемых для повышения сопротивления усталости деталей машин и сварных соединений конструкций различного назначения.

Поверхностное пластическое деформирование металла при ВМП достигается за счет воздействия ударных импульсов деформирующих элементов инструмента, возбуждаемых ультразвуковым (УЗ) генератором, на обрабатываемую поверхность. ВМП можно выполнять по трем схемам (рис. 1): с жестким закреплением деформирующего элемента; с поджатием акустической системы и пассивным деформирующим элементом; с колебаниями деформирующего пассивного элемента в заданном зазоре. Справа на рисунке представлено схематическое развернутое изображение колебаний торца концентратора и деформирующего элемента. Для ВМП сварных соединений чаще всего применяют вторую схему. При этом в качестве пассивных элементов используют одиночные или расположенные по различным схемам шарообразные или цилиндрические ударники. Частота ударного воздействия деформирующего элемента на обрабатываемую поверхность металла примерно в 7–10 раз меньше частоты колебаний излучателя, возбуждаемых УЗ генератором. В отличие от поверхностного наклепа при ВМП пластическому деформированию подвергают лишь зону сплавления шва с основным металлом шириной 4–7 мм. При качественно выполненной упрочняющей обработке в этой зоне образуется характерная канавка глубиной 0,2–0,5 мм (рис. 2), которая увеличивает

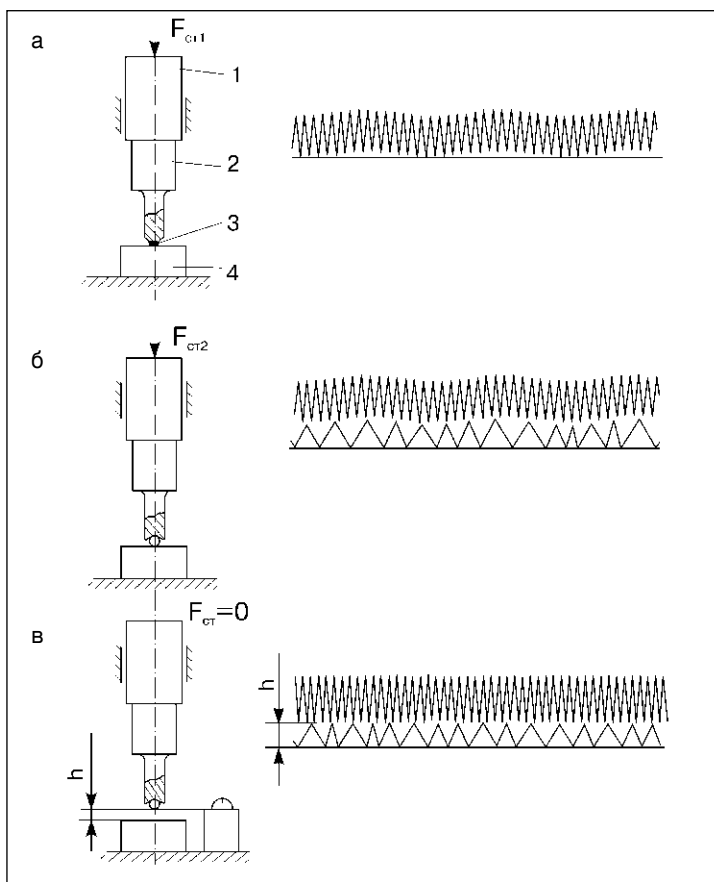


Рис. 1. Схемы выполнения ВМП металлов: а — жесткое закрепление деформирующего элемента статическим усилием $F_{ст1}$ (1 — излучатель; 2 — концентратор; 3 — деформирующая деталь; 4 — обрабатываемая деталь); б — с поджатием акустической системы усилием $F_{ст2}$ и пассивным деформирующим элементом; в — с колебаниями деформирующего элемента в заданном малом зазоре h

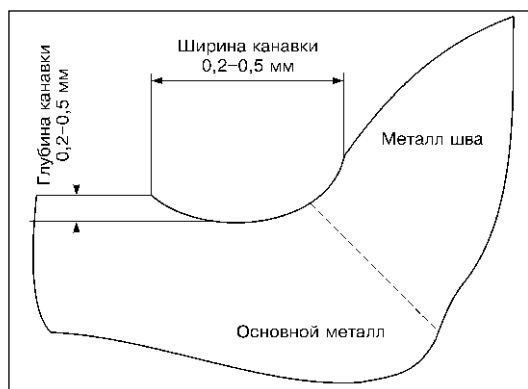


Рис. 2. Профиль сварного шва после упрочнения ВМП зоны сплавления шва с основным металлом

Таблица. Эффективность повышения сопротивления усталости сварных соединений ВМП

Марка стали	Предел прочности, МПа	Толщина, мм	Тип соединения	Условия испытаний		Предел выносливости, (N=2·10 ⁶), МПа		Повышение предела выносливости	
				Вид циклического нагружения	Коэффициент асимметрии цикла	В исходном состоянии	После обработки	МПа	%
Ст3 сп	458	20	Стыковое	Растяжка	0	140	220	80	57
Высокопрочная	>1000	330	С поперечным ребром	Изгиб	-1	180	300	120	66
				Растяжка	0	110	140	30	27
				Изгиб	0,6	135	175	40	30
					-1	80	240	160	200
					0	110	230	120	109
0,6	80	105	25	31					
Аустенитная	>1000	80	С поперечным ребром	Изгиб	0	110	205	95	86
			С продольной планкой			100	190	90	90
E690	823–876	10	Тавровое	Изгиб	0,1	135	397	260	192
E690	836		Стыковое	Растяжка		129	224	95	74
E460	589		Тавровое	Изгиб		168	290	122	73

радиус перехода шва к основному металлу с одновременным устранением острых подрезов вдоль линии сплавления. Все эти изменения геометрии зоны сплавления уменьшают коэффициент концентрации напряжений, обусловленный формой соединения, и способствуют повышению сопротивления усталости соединений.

В зависимости от решаемых технологических задач применяют стандартные или индивидуально разработанные УЗ генераторы и инструменты с магнитоэстрикционными или пьезокерамическими излучате-

лями с выходной мощностью 2,5 кВт–250 Вт. Эти мощности УЗ генераторов обеспечивают пластическое деформирование металла обработанной зоны сварных соединений конструкционных сталей различных классов прочности на глубину до 1 мм. Вследствие такого поверхностного пластического деформирования в зонах концентрации напряжений в сварных соединениях формируются остаточные напряжения сжатия, значения которых могут достигать предела текучести стали.

Систематические исследования, связанные с разработкой способа повышения сопротивления усталости сварных соединений ВМП и оценкой его эффективности применительно к конструкциям различного назначения из сталей различных классов прочности и алюминиевых сплавов, выполняются в ИЭС по инициативе Б. Е. Патона с 1983 г. В процессе исследований изменяли параметры ВМП: интенсивность обработки, скорость перемещения инструмента, количество проходов инструмента и другие технологические параметры, а также ширину обрабатываемой зоны от 10 до 210 мм. Была установлена высокая эффективность ВМП исследованных сварных соединений конструкционных сталей при различных видах нагружения в широком диапазоне изменения коэффициента асимметрии цикла. При этом изменение ширины обрабатываемой зоны соединений с угловыми швами от 10 до 210 мм и варьирование в исследованном диапазоне других параметров ВМП не оказало резко выраженного

Рис. 3. Компьютеризированный комплекс для ВМП элементов сварных конструкций

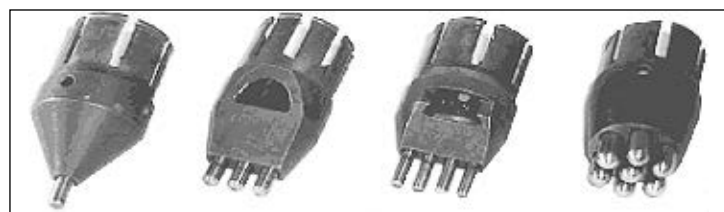


Рис. 4. Съемные рабочие головки ручного рабочего инструмента: однобойковая (диаметр бойка 4 мм); трехбойковая (диаметр бойка 4 мм); четырехбойковая (диаметр бойка 3 мм); семибойковая (диаметр бойка 5 мм)

влияния на степень увеличения циклической долговечности соединений. Полученные в этих исследованиях результаты усталостных испытаний сварных соединений в обобщенном виде приведены в *таблице*.

Из данных таблицы видно, что в зависимости от условий циклического нагружения (асимметрии цикла), основных механических свойств материала, концентрации напряжений, обусловленной формой соединения, остаточных напряжений и других факторов циклическая долговечность под воздействием ВМП повышается в 8–10 раз, а предел выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов перемен напряжений — на 30–200%. Достигаемое увеличение циклической долговечности и повышение пределов выносливости сварных соединений при применении ВМП обусловлены влиянием следующих факторов: снятием растягивающих и образованием в зоне концентраторов благоприятных остаточных напряжений сжатия; уменьшением концентрации рабочих напряжений; деформационным упрочнением поверхностного слоя металла. Для обеспечения максимального повышения сопротивления усталости различных типов сварных соединений оптимальные параметры упрочнения определяются и задаются специальными компьютерными программами. На *рис. 3* приведен общий вид компьютерного комплекса для выполнения ВМП, состоящего из УЗ генератора, ручного рабочего инструмента и управляющего ПК. На *рис. 4* показан комплект съемных рабочих головок ручного инструмента



Рис. 5. Упрочнение с помощью ВМП ремонтных швов пролетного строения эксплуатируемого железнодорожного моста

с различным количеством бойков трех диаметров. Разработан технологический регламент ВМП для повышения сопротивления усталости сварных соединений элементов несущих конструкций. Регламент включает инструкцию по эксплуатации установки для высокочастотной ударной обработки сварных соединений и поверхностей металлов и сплавов, описание технологии обработки различных типов сварных соединений и указания по мерам безопасности. Разработанная технология и оборудование для ВМП защищены патентами Украины, России, Франции, США.

Полученные результаты исследований позволили рекомендовать к применению ВМП в судостроении, мостостроении, экскаваторостроении, авиастроении и других отраслях. В качестве примера на *рис. 5* показано применение ВМП для упрочнения ремонтных швов пролетного строения эксплуатируемого железнодорожного моста через Днепр.

● #535

Повышение надежности теплообменных аппаратов при применении прессовотермической сварки

(Окончание. Начало на стр. 10–12)

что в свою очередь резко снижает уровень термических напряжений в плоскости соединения и повышает в 3–5 раз долговечность соединений в условиях термостатирования.

Немаловажным преимуществом разработанного процесса ПТЭГ сварки является то, что при его промышленном применении не требуется дополнительных капитальных затрат, данный технологический процесс можно использовать на уже работающих производственных линиях при изготовлении ответственного теплообменного оборудования.

ПТЭГ сварка позволяет получить высокое качество соединений в теплообменных аппаратах с малой степенью перфорации трубных решеток ($\varphi \leq 1,3$), что делает ее с этой точки зрения методом, не имеющим на данный момент альтернативы для изготовления высоконадежных компактных теплообменных аппаратов.

Таким образом, ПТЭГ сварка представляется радикальным путем повышения надежности теплообменных аппаратов ответственного назначения, ее можно рекомендовать для использования при изготовлении узлов теплообменных аппаратов различных энергетических комплексов, работающих в тяжелых условиях под воздействием высоких температур, коррозионно-активной среды, высоких стационарных и циклически изменяющихся нагрузок.

● #532



Эффективность ремонта и восстановления с помощью сварки*

Джон Норриш (John Norrish), University of Wollongong (Австралия)

Ключом к реализации экономически эффективного ремонта является строгое соблюдение логической схемы технологического процесса ремонта. Хотя может показаться, что это требует больших временных затрат, тем не менее выполнение данного требования обеспечивает наивысшую общую производительность как при ремонте компонентов сваркой, так и при их последующем сервисном обслуживании. Ремонт с использованием сварки может понадобиться либо во время изготовления конструкции, либо при ее эксплуатации.

Ремонт в процессе изготовления

Процесс изготовления сварных конструкций включает контроль и испытания важнейших узлов, а затем исправление всех обнаруженных дефектов. Установлено, что расходы на ремонт на этом этапе производства могут до 10 раз превышать стоимость первоначальной сварочной операции. Кроме того, ремонт после изготовления нередко нарушает установленный порядок производства и его проведение вызывает большие трудности, связанные с ограничением доступа к деталям, подлежащим ремонту. Поэтому необходима тщательная оценка степени важности дефектов и экономическое обоснование необходимости ремонта. В условиях крупносерийного производства некоторые недорогие узлы, например автомобильные, нередко бывает дешевле превратить в лом, чем пытаться их отремонтировать. Для более крупных конструкций их высокая совокупная стоимость и длительный производственный цикл делают ремонт более рентабельным.

Только при соответствующем подходе к данной проблеме можно добиться повышения производительности процесса изготовления. Такой подход должен предусматривать наличие:

- соответствующей системы обеспечения качества;
- достаточного уровня обучения операторов;
- правильного выбора производственного процесса и сварочной техники;

- налаженного и содержащегося в исправном состоянии оборудования;
- оперативного контроля качества.

Приоритетность перечисленных факторов определяют в зависимости от конкретных условий производства. Так, оперативный контроль качества и адаптивное управление наиболее эффективно проявили себя при автоматизированном процессе, и их интенсивнее используют в крупносерийном производстве. Своевременное выявление низкого качества может быть использовано для прерывания процесса изготовления и решения возникших проблем еще до того, как значительная часть продукции будет забракована. В условиях ручного или полуавтоматического выполнения производственного процесса все более актуальным становится обучение операторов.

Ремонт в процессе эксплуатации

Производительность восстановления и ремонта в процессе эксплуатации можно определить по времени проведения и затратам, а также по достигаемому качеству. В идеальном случае ремонт должен завершиться с первой попытки и обеспечить продление срока службы узла или конструкции. Неудачный ремонт может потребовать нескольких попыток и в самом худшем случае приведет к снижению срока службы узла или конструкции либо может даже вызвать катастрофический отказ.

Самое важное — необходимость ремонта должна быть обоснована, чтобы свести к минимуму расходы и не допустить производственные срывы. Процесс ремонта и восстановления должен включать несколько этапов.

Установление причины неисправности. Как правило, она может быть вызвана:

- дефектами, возникшими в процессе изготовления;
- неудачной конструкцией изделия или неадекватной прочностью его элементов;
- отказом в результате износа, ползучести или усталости материала;
- неправильным использованием;
- неожиданной перегрузкой.

* *Welding & Metal Fabrication*, 1995, № 10, pp. 460–462 (перевод В. А. Потапова).

Дефекты сварки, например, водородное растрескивание в сталях и образование горячих трещин или пористость в алюминиевых сплавах, могут остаться невыявленными при неправильном контроле. Перед тем как попытаться исправить такие дефекты, очень важно определить технологические погрешности, которые могли их вызвать. Одна лишь ликвидация дефектов и повторная сварка не позволят избежать их в дальнейшем.

Если причиной неисправности явилась неудачная конструкция узла, то ремонт с целью восстановления первоначальной конструкции будет неэффективен, а вследствие термических дефектов, возникающих при сварке, характеристики отремонтированного узла могут быть даже хуже чем первоначального.

При возникновении отказа важно знать, какое конкретно явление явилось его причиной: износ, ползучесть или усталость, а в случае износа — его вид: абразивный, под действием ударных нагрузок, фрикционный, эрозионный, коррозийный.

Нередко бывает трудно определить, чем вызвана неисправность: неправильной эксплуатацией или случайным повреждением. Однако в любом случае надо собрать максимальное количество информации, что даст возможность правильно назначить технологию ремонта.

Определение состава материала. Известно, что знание состава материала является основным при разработке технологии сварки. Ошибочное определение состава материала может привести к выбору неправильной технологии ремонта. Скажем, высоколегированные ферритные стали, а также аустенитные марганцевые широко применяют для изготовления горного и карьерного оборудования. Внешне эти стали довольно похожи, но их сварку необходимо проводить по-разному. Высоколегированные ферритные стали часто требуют предварительной и послесварочной термообработки при высоких температурах, тогда как аустенитную марганцевую сталь для предотвращения растрескивания следует подвергать термической обработке при низких температурах.

При ликвидации неисправностей после изготовления изделий идентификация материалов должна проводиться согласно технологической документации. Появление неисправностей в процессе эксплуатации может потребовать проведения спект-

роскопического или химического анализа, хотя первоначальные сведения о составе материала могут дать цеховые испытания, например, контроль твердости, использование магнита для определения, не является ли материал ферромагнитным, проверка на искру.

Разработка технологии ремонта. В процессе разработки технологии ремонта сваркой необходимо определить:

- режимы пред- и послесварочной термообработки;
- тип сварочного процесса и характеристики сварочного оборудования;
- расходуемые при сварке материалы;
- методику контроля сварочного процесса и результатов сварки.

Проводимые перед сваркой процедуры включают определение размеров дефекта, устранение трещин, очистку и проверку качества основного материала. Очень важно обеспечить, чтобы привариваемый материал был доброкачественным и без дефектов. Трещины, оставшиеся в конструкции, скорее всего будут распространяться при том тепловом режиме, который обычно возникает в процессе сварки. Шлифование и поверхностная резка также являются причиной распространения трещин. Поэтому необходимо использовать так называемые ограничители трещин, т.е. отверстия, просверленные по траектории трещины для уменьшения интенсивности напряжений. В некоторых случаях для установления причины дефекта целесообразно вокруг трещины удалить материал с помощью специальных фрез. Если не требуется извлекать образцы материалов с места дефекта, необходимую площадку можно подготовить воздушно-дуговой или кислородной поверхностной резкой, шлифованием или механической обработкой. После удаления трещины место, где она была, обычно проверяют, используя для этого жидкость с красителем или прибор, работающий с магнитными частицами. Это позволяет убедиться в том, что дефект полностью ликвидирован.

Требования к предварительной термообработке определяют в зависимости от состава материала и толщины сечения. Степень ограничений может быть увеличена в зависимости от общей жесткости изделия. Для ферритных сталей после сварки или обработки целесообразно снимать напряжения водородной диффузией.

Выбор процесса сварки и оборудования часто ограничен, особенно когда ремонт

производят ручной дуговой сваркой плавящимся электродом. При такой сварке требуется гибкое использование расходных материалов, поэтому ее чаще всего и применяют для ремонтных работ. При наплавке для восстановления изношенных деталей сварка порошковой проволокой более производительна по сравнению с ручной дуговой сваркой металлическим электродом и, кроме того, в этом случае можно использовать относительно широкий диапазон износоустойчивых расходных материалов. При выборе таких материалов следует помнить, что условия, в которых производят ремонт сваркой, скорее всего более сложные, чем при первоначальном изготовлении конструкции. К ней может быть, например, затруднен доступ, окружающая среда может быть влажной или насыщенной смазкой, в результате чего ограничения могут увеличиться. В этих условиях часто необходимо выбирать более «толерантные» расходные материалы, чем обычно используют для сварки в обычных условиях. Для ферритных сталей, например, расходные материалы с низким содержанием водорода могут потребоваться при ремонте сваркой материала, который обычно сваривают универсальным рутиловым электродом. Для более прочных сталей использование в качестве присадочного металла аустенитной коррозионностойкой стали или сплава инконель может при-

вести к увеличению пластичности и сопротивления холодному растрескиванию.

К другим процессам, которые могут быть использованы для восстановления изношенных поверхностей, относятся различные виды напыления — кислородное или газопламенное, плазменное, высокоскоростное кислородное. TIG-сварку, плазменную и лазерную сварку тоже можно использовать для нанесения износоустойчивых покрытий, и в промышленности при изготовлении изделий это обычно применяют чаще, чем ремонт и восстановление.

Контроль ремонта и сервисного обслуживания. Какой бы технологический процесс ни был использован для ремонта и сервисного обслуживания, важно, чтобы отдельные характеристики термообработки (например, температура предварительного нагрева и температура перед наложением последующего слоя покрытия) и параметры сварки точно измерялись и регистрировались во время ремонта. При восстановлении изношенных элементов деталей оптимальные результаты нередко могут быть достигнуты лишь после ремонта нескольких аналогичных деталей и их достаточно длительной эксплуатации в реальных условиях. Регистрация параметров технологического процесса и контроль условий эксплуатации обеспечивают получение ценной информации, которая будет полезна при ликвидации других неисправностей подобного рода. ● #536

У К А З ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про присвоєння М. Сікорському звання Герой України

*За самовіддане служіння Україні на
ниві збереження і увічнення культурної і
духовної спадщини українського народу,
багаторічну подвижницьку науково-про-
світницьку діяльність **п о с т а н о в л я ю** :*

*Присвоїти звання Герой України з вру-
ченням ордена Держави **СІКОРСЬКОМУ
Михайлу Івановичу** — генеральному
директорові Національного історико-
етнографічного заповідника «Переяслав»,
Київська область.*

Президент України **В. ЮЩЕНКО**

*м. Київ, 11 березня 2005 року
№ 459/2005*

«Урядовий кур'єр», 15 березня 2005 р.

Михаил Иванович Сикорский, отметивший в 2003 году свой 80-летний юбилей, всю свою жизнь посвятил музейному делу.

Недалеко от Киева в городе Переяслав-Хмельницкий многие годы усилиями Михаила Ивановича создавался целый комплекс музеев. Сегодня это Национальный историко-этнографический заповедник «Переяслав» — крупнейший заповедник Украины. В его состав входят 371 памятник истории и архитектуры, 25 тематических музеев, коллекции, имеющие мировое значение. Общая площадь заповедника — 3050 га, в том числе 420 000 кв. м экспозиционной площади.

Одним из интереснейших в заповеднике можно назвать Музей Н. Н. Бенардоса. Он был открыт в 1981 году по решению ЮНЕСКО в честь 100-летия одного из значительных изобретений XIX века — электрической дуговой сварки металлов. Музей был открыт при участии и помощи Института электросварки им. Е. О. Патона. Здесь экспонируются документы, книги, макеты, чертежи изобретений Н. Н. Бенардоса, личные вещи. Отдельный зал посвящен семье Патонов. В нем демонстрируется, например, уникальный макет пешеходного моста, разработанный Евгением Оскаровичем Патоном.

Подвижничество и профессионализм М. И. Сикорского сегодня отмечены высоким званием Героя Украины.

Совет Общества сварщиков Украины, редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Сварщик» присоединяются к многочисленным поздравлениям и приветствуют Героя Украины М. И. Сикорского.

Термообработка сварных соединений при ремонте барабанов паровых котлов

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

До 2004 г. термообработку сварных соединений паровых барабанов в России проводили в соответствии с РД 34.26.608. В связи с выходом в свет новых правил СО 153–34.26.608–2003 требования к проведению такой термообработки незначительно изменились. Эти правила распространяются на барабаны из сталей 22К, 20К, 20Б, 20, 16М, 15М, 16ГНМ, 16ГНМА.

Барабаны котлоагрегатов представляют собой горизонтально расположенные сосуды давления длиной до 25 м с наружным диаметром до 2,0 м, толщиной стенки до 120 мм. Барабаны работают при температуре до 340 °С и давлении до 16 МПа.

В процессе длительной эксплуатации (250 тыс. ч) при 300–400 пусках в различных частях барабанов (в отверстиях, в местах приварки креплений внутрибарабанных устройств, на штуцерах, днищах, обечайках корпуса и др.) возникают дефекты в виде трещин, коррозионных язв, поверхностного растрескивания. После устранения таких дефектов с использованием сварки необходимо проводить термообработку по режиму высокого отпуска (табл. 1). Температуру контролируют термометрами, устанавливаемыми с наружной и внутренней сторон (рис. 1). При этом перепад температуры по толщине стенки барабана должен быть не более 30 °С. Длительность цикла термообработки до 36 ч.

Согласно требованиям нормативно-технической документации, допускается приме-

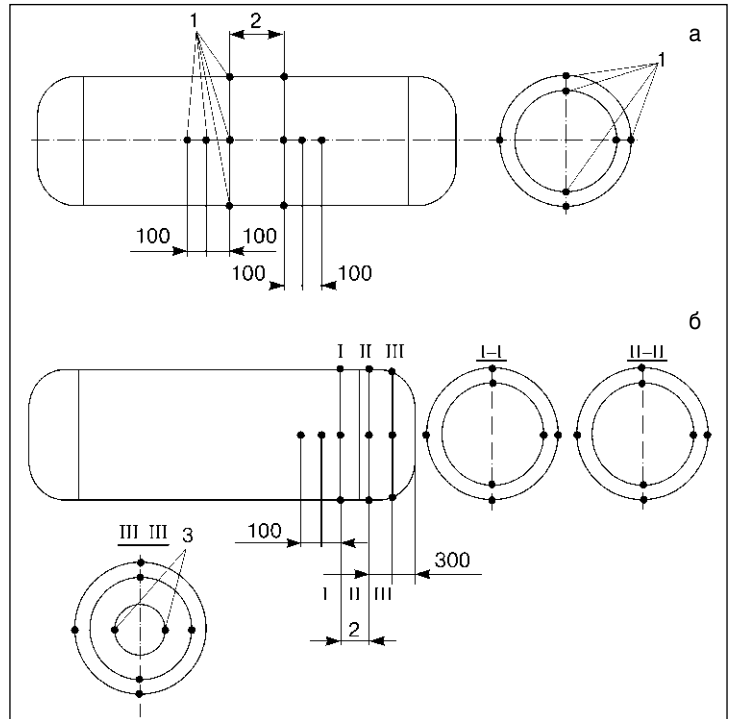


Рис. 1. Схема расположения термометров при местной термообработке кольца цилиндрической части барабана (а) и днища барабана (б): 1 — места расположения термометров; 2 — участок местной термообработки; 3 — термометры у лазерного отверстия

нение технологий местной термообработки отдельного участка барабана или полной термообработки всего корпуса с разбивкой барабана на отдельные участки, термообработку которых проводят последовательно. При этом допускается применение для подогрева при сварке и термообработке индукционного нагрева токами промышленной ча-

Таблица 1. Режимы термической обработки (высокий отпуск) сварных соединений при ремонте барабанов котлоагрегатов ТЭС

Марка стали	Режим термической обработки			
	Температура нагрева, °С	Скорость нагрева, °С/ч	Время выдержки, ч	Характер охлаждения
16 ГНМ, 16 ГНМА	620–650	40–50 (от 150–200 °С)	5	Со скоростью 20–30 °С/ч до 150 °С, далее естественное (под слоем теплоизоляции)
22К, 20К, 20Б, 20, 16М, 15М	600–630	40–50 (от 120–150 °С)		

Примечания: 1. Перепад температуры по толщине стенки не должен превышать 30 °С. 2. Температура в любой точке измерения должна быть 620–650 °С для сталей 16ГНМ, 16 ГНМА и 600–630 °С для стали 22К. 3. Перепад температуры по образующей барабана от границы термообрабатываемого участка до необогреваемой стороны должен быть не более 100 °С на 100 мм длины. 4. Разность температуры при термообработке днища между точками у лаза и кольцевого шва днища не должна превышать 80 °С.

стоты 50 Гц, радиационного метода нагрева (электрическим сопротивлением). Для подогрева при исправлении дефектов сваркой допускается использование газопламенного нагрева. Температура подогрева составляет 200 ± 20 °С для сталей 16ГНМА и 16ГНМ и 120 ± 20 °С для остальных марок сталей.

В последние годы широкое применение при термообработке получил индукционный нагрев токами средней частоты 1000–8000 Гц с дополнительным использованием в местах, требующих интенсивного нагрева, электронагревателей комбинированного действия типа КЭН–4–3.

Термообработку применяют также при реконструкции барабанов с использованием сварки (замена днищ и др.). Согласно нормативному документу СО 153–34.26.608–2003, допускается проведение термообработки барабанов котлов высокого давления сторонним паром с нагревом до 520–575 °С. Допускается также не проводить термообработку при наплавке отверстий труб, выборке поверхности барабанов, приварке внутрибарабанных устройств, а также приварке штуцеров (для сталей 16ГНМ и 16ГНМА не более 15 штуцеров). В этом случае необходимо выполнять термический отдых в течение 3 ч с нагревом до температуры подогрева для сварки.

Твердость металла, наплавленного на поверхность отверстий труб и корпуса барабана, должна составлять не более 240 НВ.

При местной термообработке нагреву подвергают сварной шов, зону термического влияния и прилегающие к сварному шву участки основного металла. Общий размер

участка термообработки определяют по НТД. Размер участка термообработки должен обеспечить перекрытие соседнего участка на величину, обусловленную технологией термообработки. Эту технологию должны разрабатывать научно-исследовательские организации — разработчики барабана с учетом требований СО 153–34.26.608–2003.

При замене днища барабанов или полной термообработке корпуса барабана технологию термообработки определяют специализированные научно-исследовательские организации.

В 1999 г. на ТЭС «Нассирия» (Ирак) при контроле барабана парового котла ТГМЕ–206, проработавшего 20 лет, были обнаружены трещины в зоне отверстия трубы диаметром 158 мм (для трубы рециркуляции) и смежного с ним отверстия диаметром 95 мм (для водоотпускной трубы). Трещины на кромках отверстий на внутренней поверхности барабана распространялись по образующей (некоторые из них проходили насквозь) и далее в тело барабана (рис. 2).

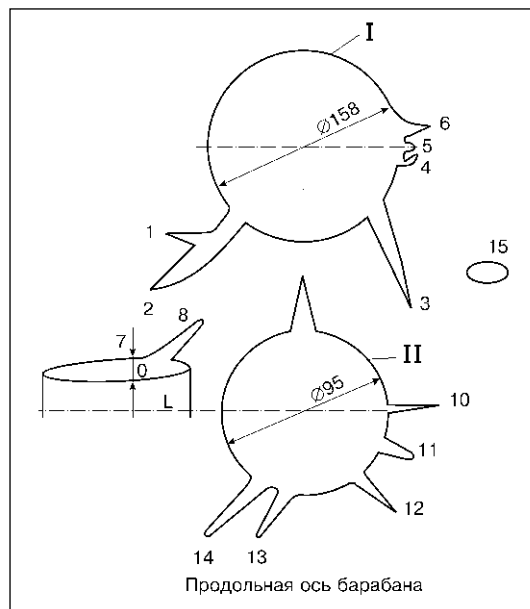
Основные технические характеристики барабана из стали 16ГНМА: расчетное давление 15,8 МПа; рабочая температура 345 °С; внутренний диаметр 1600 мм; толщина стенки 115 мм; длина 24 м. Нарботка котла до капитального ремонта составила около 125 тыс. ч при 317 пусках.

Для восстановления работоспособности барабана и обеспечения его дальнейшей эксплуатации приняли решение полностью удалить трещины, заварить ремонтные выборки перлитными электродами и выполнить местную термическую обработку в зоне ремонта по режиму высокого отпуска в соответствии с требованиями нормативного документа.

Дефекты удаляли механическим способом с выборкой металла (табл. 2). Сварку проводили с предварительным и сопутствующим подогревами до 200–250 °С. Для подогрева и последующей термической обработки с наружной поверхности барабана по кольцу шириной 1 м удалили стационарную теплоизоляцию и установили временную (асбокартон и асботкань), намотали электронагреватель — 13 витков индуктора из оголенного медного провода МГ сечением 70 мм².

Индуктор установили без демонтажа труб, приваренных к барабану, в зоне намотки медного провода, витки которого расположили между этими трубами. Для подогрева использовали индукционный

Рис. 2. Расположение трещин на внутренней поверхности барабана: I — отверстие трубы рециркуляции; II — отверстие для водоотпускной трубы; 1–15 — выборки



нагрев токами средней частоты 2500 Гц от установки МИТ-100. Внутреннюю поверхность барабана закрыли базальтовыми теплоизоляционными матами на ширину 3 м в обе стороны от места сварки. Температуру контролировали с внутренней стороны барабана с помощью трех термоэлектрических преобразователей (термопар), установленных в зоне проведения сварки. Подогрев выполняли до 250 °С со скоростью 25 °С/ч.

Для наплавки использовали электроды УОНИ-13/55 диаметром 3–4 мм. Сварку начинали с восстановления поверхности отверстий для трубы рециркуляции и отпусковой трубы. Затем наплавляли выборки вокруг отверстий и на участке между ними.

По окончании сварки барабан охладили со скоростью не более 30 °С/ч до температуры окружающего воздуха, зачистили ремонтные заварки заподлицо с основным металлом, а также выполнили контроль методом цветной дефектоскопии зоны наплавленного металла и прилегающих к ней участков основного металла барабана шириной 100 мм. При контроле дефекты не были обнаружены.

При выборе технологии местной термической обработки учитывали опыт проведения аналогичных работ на других объектах, а также наличие оборудования для ее проведения. Была принята схема двухстороннего нагрева с четырьмя автономными зонами, при которой снаружи барабана (зона № 1) выполнили индукционный нагрев токами средней частоты 2500 Гц от установки МИТ-100 с использованием индуктора, установленного ранее для подогрева при сварке. С внутренней стороны установили девять электронагревателей комбинированного действия КЭН-4-3М длиной до 9,5 м единичной мощностью 25 кВт. Эти электронагреватели были разделены на три автономных зоны нагрева. В зоне № 2 в верхней части барабана были размещены два электронагревателя КЭН-4-3М, подключенные к сварочному преобразователю ВДМ-1200, в зонах № 3 и 4 — соответственно три и четыре электронагревателя КЭН-4-3М. Эти зоны занимают участок внутренней поверхности барабана размером 1,5×1,5 м, внутри которого находится отремонтированная зона размером 0,6×0,6 м. Питание электронагревателей зон нагрева № 3 и 4 осуществляли от двух отдельных секций японского трансформатора для термической обработки общей мощностью 200 кВт. Общая мощность установленных

Таблица 2. Геометрические размеры ремонтных выборок в барабане

Номер выборки (рис. 2)	Геометрические размеры выборок, мм		
	Длина l	Ширина b	Глубина h
1	78	11	26
2	120	15	14
3	105	15	15
4	8	13	65
5	22	9	8
6	21	23	75
7	135	12	17
8	72	12	6
9	55	10	4
10	48	10	8
11	35	25	Насквозь
12	75	10	10
13	85	12	10
14	77	20	Насквозь
15	75	34	5

электронагревателей составила 325 кВт. После установки электронагревателей КЭН-4-3М во внутренней полости барабана на длине 2 м разместили теплоизоляцию из базальтовых матов.

Перерыв между окончанием сварки и началом термической обработки составил 24 ч. Термическую обработку по режиму высокого отпуска проводили с нагревом до 620–650 °С со скоростью 50 °С/ч при выдержке в течение 5 ч с последующим охлаждением до 150 °С со скоростью не более 30 °С/ч, далее — естественное охлаждение под слоем теплоизоляции. Цикл термической обработки с начала нагрева до охлаждения при 150 °С составил 36 ч, в том числе нагрев 11 ч, выдержка 5,5 ч (выравниванием температуры), охлаждение до 150 °С в течение 19,5 ч, далее естественное охлаждение до температуры окружающего воздуха. Температуру контролировали девятью термопарами, установленными на внутренней и наружной поверхности барабана (рис. 3).

Максимальная мощность термообработки составила 220 кВт. После завершения местной термической обработки барабана повторно провели цветную дефектоскопию в зоне ремонтной сварки. Дефектов не обнаружено. Кроме того, провели ультразвуковую дефектоскопию зоны наплавленного металла и прилегающий участок основного металла шириной 100 мм в районе расположения отверстия для рециркуляции. Дефекты также не выявлены. Качество термической обработки дополнительно

проверяли путем измерения твердости металла шва и основного металла, прилегающего к зоне наплавки. Результаты контроля показали, что твердость металла шва не превышает 180 НВ, а основного металла находится на уровне 150–160 НВ, что соответствует нормативным требованиям.

При ремонте котлоагрегата на ТЭС–ЗИЛ (Москва) необходимо было провести местную термическую обработку места приварки нового днища барабана. Наружный диаметр барабана 1385 мм, толщина стенки 42 мм, химический состав стали близок к марочному составу стали 20М.

Термическая обработка по режиму высокого отпуска заключалась в нагреве с любой скоростью до 150 °С, далее до 620–650 °С со скоростью не более 50 °С/ч, выдержке при этой температуре в течение 5 ч и охлаждении до 150 °С со скоростью не более 30 °С/ч.

По технологии термической обработки, разработанной ОАО «ВНИИмонтажспецстрой», нагрев осуществляли шестью гибкими электронагревателями комбинированного действия КЭН–4–3, которые можно было установить в труднодоступных местах.

На рис. 4 приведена схема размещения термоэлектрических преобразователей (ТЭП) на барабане. С помощью ТЭП в точках I, III и V изменяли температуру по окружности сварного соединения; II, IV и VI — перепад температуры по толщине стенки, VII и VIII — температуру зоны нагрева по длине барабана. Допустимая разница температур по толщине стенки могла составлять 30 °С, между точками I и VII — 100 °С, между точками I и IV — 80 °С.

Электронагреватели КЭН–4–3 разместили на барабане в соответствии со схемой на рис. 5: электронагреватели I–III — на цилиндрической части барабана (их подключали к одному преобразователю ВДМ–1601), IV и V — на его днище, VI — в нижней части внутренней полости барабана (электронагреватели IV–VI подключили ко второму преобразователю ВДМ–1601).

Результаты работы показали возможность проведения местной термической обработки сварных соединений при ремонте барабанов с использованием электронагревателей КЭН–4–3 без демонтажа внутрибарабанных сепарационных устройств и труб, приваренных к штуцерам барабанов.

Особое место при ремонтной термообработке барабанов занимают работы по исправлению дефектов, возникающих после ремонта барабанов без термообработки с использованием аустенитных электродов типа АНЖР–1 и др. Через несколько лет после эксплуатации отремонтированных барабанов трещины возникают вновь, как правило, больших размеров, что приводит к новым ремонтам. Барабан котла ПК 10–2 Уфимской ТЭЦ–4 изготовлен из стали 22К, внутренний диаметр 900 мм, толщина стенки 67 мм, режим эксплуатации Р=11,1 МПа, Т=317 °С. Трещина длиной 1250 мм впервые была обнаружена в 1983 г. после наработки барабаном 120,7 тыс. ч и 64 пусков. За период с 1983 по 1995 г. (наработка 200 тыс. ч, 143 пуска) для устранения этого дефекта барабан четыре раза ремонтировали с использованием аустенитных электродов АНЖР–1. В 1995 г. было принято решение провести ремонт с использованием перлитных электродов УОНИ–13/45 с последующей термообработкой. Ремонтную сварку проводили с подогревом до 120–160 °С. После чего была проведена термообработка кольца барабана с превышением зоны наплавки на 250 мм в каждую сторону, всего 7 зон. Термообработку проводили в следующем режиме: повыше-

Рис. 3. Схема размещения термопар для контроля температуры термической обработки: 1–9 — места крепления термопар: 1–6 — внутри барабана; 7–9 — снаружи барабана

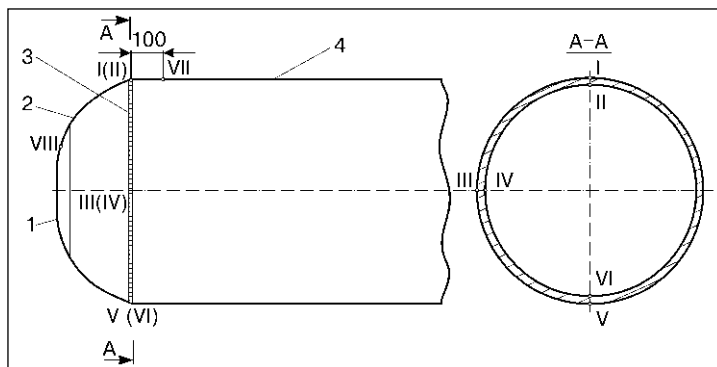
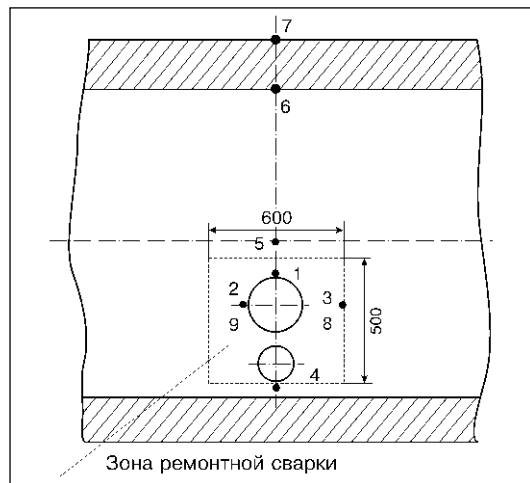


Рис. 4. Схема размещения термопар на барабане ТЭЦ–ЗИЛ: 1 — лазер барабана; 2 — днище; 3 — сварной шов; 4 — обечайка; I–VIII — термопары

ние температуры от 120–160 до 600–630 °С со скоростью нагрева 40–50 °С/ч, выдержка при температуре 600–630 °С в течение 5 ч, охлаждение до температуры 150 °С со скоростью 20–30 °С/ч, естественное охлаждение до температуры окружающей среды.

Нагрев осуществляли индукционным способом при частоте 1,8–2,4 кГц с помощью многосекционных гибких водоохлаждаемых индукторов типа ВГИК. Скорость подъема и спада температуры регулировали автоматически при относительно низких требованиях к теплоизоляции барабана. При этом была обеспечена необходимая равномерность распределения температуры по всей кольцевой зоне термообработки барабана. Проведенные замеры твердости и ультразвуковой контроль качества сварного шва показали высокое качество сварки и термообработки.

На днище барабана котлоагрегата № 2 типа ТП–100 Буртынской ГРЭС производили ремонтную сварку трещины с объемом выборки 1500 см³. Корпус барабана выполнен из стали 16ГНМ, диаметр и толщина его стенки соответственно 2000 и 100 мм. Ремонтную сварку выполняли с предварительным и сопутствующим подогревами до 200 °С и с последующей термической обработкой за два цикла: промежуточная (после выполнения сварки на 50% объема наплавленного металла) и окончательная (после выполнения всего объема сварки).

Для термической обработки по режиму высокого отпуска с нагревом до температуры 620–650 °С использовали две установки с дистанционным управлением типа ПДУ–2, каждая из которых состоит из двух трансформаторов ТСД–2000, пульта управления с автоматическими потенциометрами на шесть точек, двух панелей защиты, установленных на трансформаторах, двух силовых блоков, соединительных и термоэлектродных проводов и термопар. С наружной и внутренней сторон барабана были установлены 24 двоянные термопары. При подогреве для сварки и термической обработки использовали камерно-кольцевые печи сопротивления.

Важным вопросом является проведение термообработки барабанов после приварки к нему большого количества штуцеров или вварки труб, особенно по всей поверхности барабанов. В этом случае в корпусе барабана возникает значительный уровень сварочных напряжений, вызывающих опасность возникновения трещин в местах при-

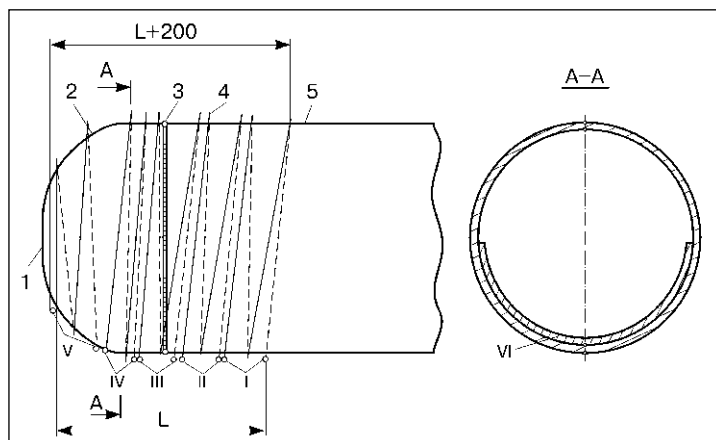


Рис. 5. Схема размещения КЭН–4–3 при термообработке барабана на ТЭЦ–ЗИЛ: I–VI — места установки КЭН–4–3; 1 — лаз барабана; 2 — днище; 3 — сварной шов; 4 — КЭН–4–3; 5 — обечайка; L — длина зоны установки КЭН–4–3 в нижней части барабана

варки. Согласно СО 153–34.26.608–2003, при приварке штуцеров к барабанам из стали 22К, 20К, 20Б, 16М, 15М необходимо проведение предварительного и сопутствующего подогревов до 100–140 °С с последующей термообработкой по режиму термического отдыха с нагревом также до 100–140 °С в течение 3 ч и с медленным охлаждением под слоем теплоизоляции.

После приварки штуцеров к барабанам из сталей 16ГНМ и 16ГНМА должна быть проведена объемная (общая) или местная термообработка по режиму высокого отпуска. Допускается термообработку штуцеров после их приварки проводить через один штуцер, при этом общее количество штуцеров должно быть не более 15 шт. (с учетом штуцеров, приваренных в период предыдущих ремонтов.)

В соответствии с СО 153–34.26.608–2003 допускается проведение термообработки барабанов котлов высокого давления сторонним паром. Термообработка включает прогрев барабана перегретым паром до необходимой температуры, выдержку при максимально возможной температуре, определяемой конструкцией котла, и последующее охлаждение.

Барабан и систему труб котла подогревают паром от соседнего котла. При этом в начальной стадии прогрева (до 200–275 °С) используют насыщенный пар с последующим переходом на перегретый.

Окончанием прогрева металла барабана и выхода на выдержку следует считать момент достижения максимально возможной температуры по всему параметру барабана (не менее 14–16 часов от начала прогрева).

● #537

Применение активированной дуговой металлизации при ремонте машиностроительного и металлургического оборудования

Ю. С. Коробов, канд. техн. наук, А. С. Прядко, Уральский институт сварки (Россия)

Активированная дуговая металлизация характеризуется высокой производительностью, простотой и надежностью процесса, обеспечивает хорошее качество покрытий. Эти особенности позволили успешно использовать процесс для восстановления деталей машиностроительного и металлургического оборудования.

Мировой опыт показывает, что значительного снижения затрат на ремонт можно достичь, применяя методы газотермического напыления. Среди них по тепловой эффективности, стоимости напыляемых материалов, производительности, простоте обслуживания выделяют электродуговую металлизацию (ЭДМ). Оценка показала, что стоимость металлизационных покрытий в 3–10 раз ниже стоимости покрытий, получаемых прочими газотермическими методами: плазменным, детонационным напылением и др. Однако недостатки типовых ЭДМ-аппаратов — несовершенство соплового узла и нестабильность параметров — сдерживают распространение этого простого и дешевого метода.

Для устранения указанных недостатков разработано оборудование для активированной дуговой металлизации (АДМ)

(рис. 1). Его особенности: использование активных смесей в качестве транспортирующего газа; определенное взаимное расположение сопел и электродов; целенаправленное воздействие на зону горения дуги. Это позволило снизить разбрызгивание металла на 40%, уменьшить угол распыла в 3–3,5 раза, повысить коэффициент использования металла на 25–40% и уменьшить степень окисления покрытий на 40% в сравнении с типовыми металлизационными аппаратами. В то же время производительность и тепловая эффективность остались на уровне ЭДМ.

В последние годы на предприятиях машиностроения, газопереработки, ремонта авто- и электротранспорта, в строительстве организовано более десятка участков АДМ-нанесения покрытий. Типовые детали, которые успешно восстанавливают партиями до 1000 шт. в год, — это различные валы, у которых изношены посадочные шейки под подшипники качения и скольжения, направляющие, биметаллические «сталь—бронза» поршни. Ресурс работы восстановленных АДМ и новых деталей примерно одинаков, а в ряде случаев удается значительно увеличить срок службы восстановленных деталей. Затраты по восстановлению составляют 10–30% от стоимости новой детали, причем, чем сложнее и массивнее деталь, тем меньше относительная стоимость ее восстановления. Оборудование (рис. 2) можно легко внедрить в стандартное сварочное производство. Для работы необходимы: подача сжатого воздуха под давлением 0,4–0,6 МПа, пропан (расход 1 баллон в неделю), сварочный источник питания. Требования по технике безопасности при АДМ аналогичны требованиям при сварке.

Наглядно о преимуществах АДМ-оборудования можно судить по результатам

Рис. 1. Напыление стали АДМ-аппаратом



его применения на ОАО «Сибурхимпром» (Пермь). Ранее здесь использовали типовой процесс ЭДМ для восстановления посадочных шеек крышек электродвигателей. Материал деталей — сталь, чугун, алюминий. При программе ремонта 200–300 крышек в год выход годных деталей составлял 40–60%. После замены на АДМ-оборудование выход годных деталей составил 98% (опыт годичной эксплуатации).

В металлургии имеется несколько групп деталей, у которых характер износа аналогичен указанному выше. Это — прокатные валки, валы редукторов (износ посадочных шеек), поршни гидроцилиндров в исполнительных механизмах. Анализ показал, что, хотя для таких узлов характерны высокие абсолютные нагрузки, но удельные нагрузки те же, что и на детали оборудования для машиностроения и транспорта. При этом во многих случаях условия работы деталей металлургического оборудования мягче, поскольку здесь ниже относительные скорости скольжения.

При восстановлении наплавкой массивных деталей из легированных сталей характерны высокие тепловые деформации и возможность образования трещин в зоне термического влияния. Для снижения деформаций и предотвращения образования трещин требуется разработка сложных и/или дорогих технологий. При АДМ влияние этих факторов сведено к минимуму, поскольку деталь в процессе напыления нагревается не выше 200 °С.

На предприятии «Новые технологии» (Магнитогорск) организовано АДМ-восстановление деталей для Белорецкого металлургического комбината, Гайского завода ОЦМ, Магнитогорского металлургического комбината (ММК). В частности, в последние годы предприятие выполняет 20–30% работ по восстановлению деталей для ММК. Опыт трехлетней эксплуатации АДМ-оборудования показал:

1. Технологии, разработанные совместно с кафедрой «Технология сварочного производства» УГТУ–УПИ (Екатеринбург) и Уральским институтом сварки, обеспечивают надежность восстановления крупных деталей металлургического оборудования. Сложилась типовая номенклатура деталей, которые восстанавливают по опорным цилиндрическим поверхностям в количестве 30–40 шт. в месяц: эксцентриковый вал кристаллизатора машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ); зубча-



Рис. 2. Комплект установки АДМ–10, включающий аппарат, источник питания ВДГ–401, пульт управления, блок коммутации, катушки для проволоки

тые втулки подвесных редукторов МНЛЗ; патрубки подачи воды в кристаллизатор МНЛЗ; мерительные ролики отрезной машины слябов, зажимные гильзы крепления твердосплавных валковых шайб прокатного стана. Стоимость ремонта узлов снижена, что дает значительный эффект, учитывая большую массу и сложную геометрию деталей. Однако выбор способа восстановления обусловила не только экономичность процесса. Большую роль сыграла высокая надежность покрытий, поскольку, например, потери от остановки линии МНЛЗ из-за поломки детали на порядок выше стоимости детали.

2. Особенности процесса позволяют наносить покрытия достаточной прочности толщиной 4–6 мм. При этом припуск на обработку составляет 0,5 мм на сторону.

3. АДМ-оборудование отличают высокая надежность в работе и стабильность выходных параметров. Так, при выполнении крупного заказа ММК оборудование эксплуатировали в течение 5 мес. при ежедневной непрерывной 4–5-часовой работе.

4. Мобильность оборудования дает возможность выполнять работы на месте, у заказчика. Например, на Гайском заводе ОЦМ был восстановлен валок прокатного стана массой 3,5 т по шейке диаметром 700 мм.

5. Затраты на АДМ-восстановление составляют 10–20% от стоимости новых деталей.

● #538



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) 495 2616. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

На нашем заводе используются более 100 подвесных контактных машин. Их конструктивные особенности таковы, что присоединение к трансформатору сварочных клещей осуществляется медным водоохлаждаемым кабелем сопротивлением не более 600 мкОм. Требуемое сопротивление кабеля в условиях интенсивной эксплуатации контактных машин обеспечивается лишь на протяжении 2 месяцев, что приводит к необходимости частой его замены. Более интенсивное увеличение сопротивления наблюдается в той части кабеля, которая охлаждается в схеме последней.

В чем кроется причина такого явления, и как продлить срок службы кабеля?

Е. Е. Гантуллин (Тольятти, Россия).

Полагаем, что причины повышения сопротивления кабелей обусловлены наклепом металла жил кабеля, возникающим в результате многократного их пластического деформирования в процессе эксплуатации, чистотой меди, а также химическим взаимодействием ее с агрессивными примесями в жидкости-охладителе.

Наше предположение основывается на имеющихся данных. Например, при деформации более 40–45% предел прочности ме-

ди возрастает до 390–440 МПа при одновременном снижении относительного удлинения до 2–4% и повышении электрического сопротивления на 3–5%.

Содержащиеся в технической меди примеси: висмут, сурьма, мышьяк, железо, никель, свинец, олово, сера, кислород, цинк и др., понижают тепло- и электропроводность (рисунок), значительно изменяют температуру плавления, плотность, прочность, пластичность и другие свойства меди. В зависимости от чистоты техническую медь подразделяют на несколько сортов. Марки технической меди и допустимое содержание в ней примесей приведены в таблице. Количество примесей в меди повышается с увеличением цифрового индекса металла. Наиболее вредной примесью, снижающей механические, технологические и антикоррозионные свойства меди, является кислород. Его содержание сводят к минимуму путем раскисления меди. Медь, содержащую не более 0,001 мас.% кислорода (бескислородную), применяют для изготовления ответственных изделий, в т. ч. и сварных конструкций. Некоторые

Таблица. Химический состав меди, мас.% (ГОСТ 859–78)

Способ изготовления	Марка	Cu+Ag, не менее	Примесь, не более											
			Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn	P	
Бескислородная	M006	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005
	M06	99,97	0,001	0,002	0,004	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	0,003	0,002	
	M16	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003	0,002	
Катодная переплавленная	M1У	99,9	0,0005	0,002	0,001	0,005	0,002	0,004	0,001	0,004	0,02	0,004	—	
	M1	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,004	0,05	0,004	—	
Раскисленная	M1р	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,01	0,005	0,012	
	M1ф	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	—	0,005	0,06	
	M2р	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,01	—	0,06	
	M3р	99,5	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,03	0,05	0,01	0,01	—	0,06	
Огневого рафинирования	M2	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,07	—	—	
	M3	99,5	0,003	0,05	0,01	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,08	—	—	

Примечание. Медь указанных марок предназначена для слитков и полуфабрикатов.

сорта бескислородной меди выпускают по ГОСТ 859-78 (см. таблицу), а также по специальным техническим условиям (например, марки МА, МБ и МЗС).

В химических соединениях медь проявляет степень окисления +1, +2, +3. Наиболее характерна степень +2. Медь образует комплексные соединения. При обычной температуре на воздухе она почти не изменяется и очень медленно окисляется. При повышенной температуре легко взаимодействует с кислородом, серой, фосфором и галогенами. К углероду медь пассивна. Чистая пресная вода и сухой воздух практически не вызывают коррозии меди.

На основании вышеизложенного можно предположить, что срок службы кабелей повысится в следующих случаях:

- применение для их изготовления бескислородной меди с низким содержанием примесей;

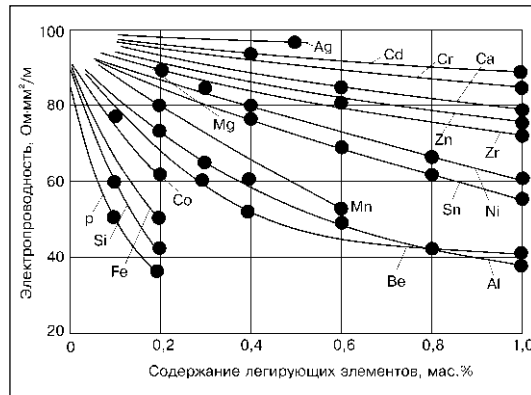


Рисунок. Влияние легирующих элементов на электропроводность меди

- увеличение радиуса изгиба жил кабеля;
- ограничение концентрации агрессивных примесей в охлаждающей жидкости вплоть до использования дистиллированной воды;
- применение параллельной системы охлаждения вместо последовательной.

● #539

Расскажите, пожалуйста, имеются ли эффективные способы механизированной оббивки грата как с крупных, так и с мелких деталей и заготовок, а также какие устройства или оборудование для этого применяют, кто их разработчики и изготовители?

В. Г. Ефимов, ОАО «Донецгормаш» (Донецк)

Снижение трудоемкости удаления грата, образовавшегося при газокислородной резке, является сложной задачей. Для механизации операции очистки грата на мелких деталях используют галтовочные барабаны. Эффективное оборудование для удаления грата с деталей больших размеров нам не известно. В мировой практике эту проблему решают, используя технологию безгратовой резки.

Грат образуется вследствие того, что часть расплавленного неокисленного железа, стекая по кромкам вырезаемой детали, при остывании образует на нижней стороне потеки, на которые налипают и стекающий шлак.

Для получения деталей без грата или с небольшим количеством легкоотделимого грата необходимо обеспечить максимальное окисление металла, переходящего в шлак. Чем больше окисляется расплавленное железо, тем меньше прочность сцепления грата с кромками.

Для получения резов с чистыми кромками рекомендуют выполнять ряд условий:

- применять кислород возможно большей чистоты (желательно не менее 99,7%);
- использовать минимальную мощность подогревающего пламени;
- поддерживать постоянное расстояние между резаком и поверхностью разрезаемого металла;
- поддерживать неизменными давление газов и скорость перемещения резака;
- снижать на 15–20% скорость резки (при чистоте кислорода 99,5–99,6%).

Наличие грунтов, загрязнений, окалины и ржавчины ухудшает условия резки и способствует образованию грата на кромках. Лучшие результаты получают, применяя мундштуки, имеющие высокую чистоту обработки внутренней поверхности сопла для режущего кислорода.

Получить резы практически без грата на кромках деталей можно, если резак отклонить на 2–3° от вертикали в сторону отхода и резку выполнять углом вперед. В этом случае на кромке детали почти не образуется грат, так как он сдувается на кромку, идущую в отход.

В ряде случаев с целью повышения качества реза, уменьшения величины грата и деформаций деталей газокислородную резку заменяют воздушно-плазменной, кислородно-плазменной и газолазерной резкой.

● #540

На вопрос читателя ответил канд. техн. наук **Г. И. Лащенко**



Как оптимизировать дуговую сварку плавящимся электродом в защитных газах*

Ричард Грин (Richard Green), Concoa, Virginia Beach (США)

В сегодняшнем мире бизнеса происходит борьба между двумя направлениями развития производства: постоянное усовершенствование технологий и менее затратный путь — традиционные технологии и использование дешевой рабочей силы. Например, инверторные технологии имеют высокую энергетическую эффективность и обеспечивают более стабильные характеристики дуги. Однако некоторые конкурирующие компании используют технологию, не требующую больших расходов, только для того, чтобы оказывать давление на обрабатывающие отрасли США, которые применяют оптимизированные методы сварки. Такой путь не имеет будущего, так как только новейшие технологии позволят производить качественные сварные изделия, сохраняя при этом конкурентоспособность.

Для оптимизации расходов при производстве изделий из низкоуглеродистой стали методом дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах необходимы правильный выбор вида переноса металла, уменьшение трудозатрат, накладных расходов, стоимости электродов и энергозатрат, а также увеличение эффективности наплавки. Важно также подобрать систему защитных газов, необходимую для получения нужной скорости сварки на имеющемся оборудовании.

Известно, что существует три основных вида переноса металла при дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах. Перенос с короткими замыканиями электрической дуги происходит при силе тока 60–175 А при применении проволоки диаметром 0,9 мм и 90–220 А при применении проволоки диаметром 1,14 мм. Сварку с короткими замыканиями характеризуют низкие тепловложения, что облегчает сварку во всех пространственных положениях и уменьшает коробление свариваемой детали. Низкая погонная энергия и получаемое малое разбавление основного металла не оказывают отрицательного влияния на металлургические свойства сварного соединения.

* Статья опубликована в *Welding Journal*, № 12, 2004 (*American Welding Society*) и любезно представлена издателем журналу «Сварщик».

При подаче проволоки в сварочную ванну торец проволоки, подсоединенный к положительной клемме источника питания, соприкасается с изделием, подсоединенным к отрицательной клемме, в результате возникает короткое замыкание. Для отделения проволоки от сварочной ванны силу выходного тока сварочной установки повышают до уровня минимальной силы тока, равной 320 А для проволоки диаметром 0,9 мм и 370 А для проволоки диаметром 1,14 мм. Процесс короткого замыкания будет происходить 50–230 раз в секунду в зависимости от схемы процесса.

Изготовители сварочного оборудования разработали сварочные источники питания для управления выходным напряжением при повышении силы тока как с жесткой, так и с переменной наклонной характеристикой. Это ограничивает максимальную энергию, необходимую для отделения проволоки от ванны. Если энергия слишком велика, это приводит к чрезмерному разбрызгиванию, т. е. снижается производительность наплавки; слишком мала — проволока накаливается, что приводит к неполному проплавлению и плохому качеству шва. В оборудовании также предусмотрены постоянная и переменная индуктивность для управления скоростью повышения силы тока. По мере роста индуктивности время горения дуги также возрастает. Дополнительное время позволяет получить более жидкотекучую сварочную ванну, дающая более плоский валик с лучшим смачиванием по кромкам. Это влияет на внешний вид и несущую способность соединения.

Выбор защитного газа значительно влияет на перенос энергии и производительность наплавки при дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах при переносе металла с короткими замыканиями дуги. Первым использовали диоксид углерода. Плазма дуги в этом случае имеет узкое внутреннее ядро и небольшую наружную оболочку вследствие низкой теплопроводности CO_2 и глубокого проплавления.

ления. Это создает проблемы при сварке тонких материалов.

Для того чтобы сбалансировать окислительную природу диоксида углерода, необходима более дорогая проволока для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах, содержащая большее количество раскислителей. Для уменьшения выпуклости сварного шва и разбрызгивания, снижающего коэффициент наплавки до 85–95%, были разработаны двухкомпонентные смеси аргона и диоксида углерода.

При сварке в смеси аргона (80%) и диоксида углерода (20%) получают меньшую выпуклость, лучшее соединение кромок и обеспечивают коэффициент наплавки до 94–98%. Наличие аргона улучшает зажигание и стабильность дуги вследствие низкого потенциала ионизации аргона. Аргон обеспечивает такое же сжатие дуги, но меньшую глубину проплавления, чем диоксид углерода. Кроме того, смесь аргона и диоксида углерода дает более высокий коэффициент наплавки при меньшем разбрызгивании, что является идеальным для сварки тонких материалов во всех положениях.

При увеличении силы сварочного тока торец сварочной проволоки перегревается, в результате чего образуется капля в 1,5–3 раза больше диаметра проволоки. При этом увеличивается длина дуги. Сила тяжести облегчает перенос металла, но приводит к его нестабильности, а также к чрезмерному разбрызгиванию. Коэффициент наплавки имеет тенденцию снижаться до 80% в зависимости от выбранного газа и параметров режима сварки. Учитывая этот факт, а также ограничения по пространственному положению при сварке, целесообразно оставаться в пределах диапазона крупнокапельного переноса (160–185 А для проволоки диаметром 0,9 мм и 200–200 А для проволоки диаметром 1,14 мм).

В зависимости от выбранного газа минимальная сила тока перехода к струйному переносу должна быть в диапазоне 155–195 А для проволоки диаметром 0,9 мм и 220–250 А для проволоки диаметром 1,14 мм. При силе тока выше этого диапазона торец проволочного электрода образует конус, от которого отделяются мелкие капельки металла, пролетающие через дугу практически без разбрызгивания, что дает коэффициент наплавки от 97 до 99%. Струйный перенос обеспечивает более высокие скорости сварки и наплавки благодаря более высокой стабильности дуги и

Таблица. Технично-экономические показатели дуговой сварки в смеси защитных газов

Параметр	Перенос металла с короткими замыканиями дуги	Струйный перенос	Струйный перенос при смешивании газов на рабочем месте
Трудозатраты и накладные расходы, дол./ч	40	40	40
Скорость наплавки, м/ч	2,5	4,4	4,4
ПВ, %	40	40	45
Стоимость проволоки, дол./кг	1,76	1,76	1,76
Коэффициент наплавки, %	96	98	98
Расход газа, м ³ /ч	0,99	1,13	1,13
Стоимость газа, дол./м ³	1,92	2,14	1,86
Стоимость электроэнергии, дол./кВт·ч	0,06	0,06	0,06
Напряжение дуги, В	20	29	29
Сила тока дуги, А	200	300	300
Скорость сварки, м/ч	13,7	22,9	22,9
Стоимость в пересчете на 1 м шва, дол.:			
трудозатраты и накладные расходы	7,28	4,36	3,90
проволока	0,30	0,30	0,30
защитный газ	0,13	0,10	0,10
электроэнергия	0,03	0,03	0,03
общая стоимость 1 м шва	7,74	4,79	4,30
Уменьшение расходов, %	—	38,1	44,5

большой скорости образования капель. Однако высокое тепловложение ограничивает возможность проведения сварки только в нижнем положении.

Чистый аргон дает более высокое напряжение дуги и, следовательно, большую длину дуги, что приводит к нестабильности горения дуги и слишком большим подрезам сварных швов. Смесь диоксида углерода (5–20%) с аргоном стабилизирует струйный перенос. Есть достаточно свидетельств того, что чем ниже концентрация диоксида углерода, тем ниже минимальная сила тока начала струйного переноса и последующая скорость выделения аэрозолей.

Следует также отметить, что смеси с 8–15% диоксида углерода являются достаточно гибкими для облегчения режимов как струйного переноса, так и переноса с короткими замыканиями дуги. В некоторых случаях к аргону можно добавить от 1 до 5% кислорода для улучшения стабильности дуги и лучшего сплавления (смачивания) по кромкам. Кислород имеет склонность обеспечивать более широкий, но менее глубокий

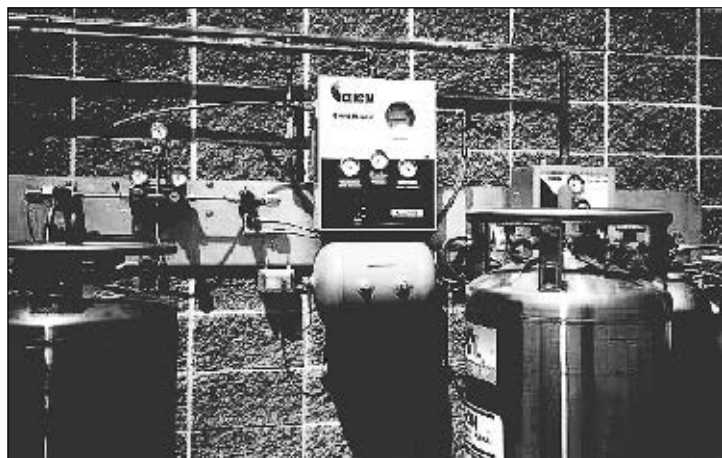


Рисунок. Внешний вид системы смешивания защитных газов

профиль проплавления по сравнению со смесями $Ar+CO_2$ из-за его более низкой ионизации и более высокой теплопроводности. Добавки кислорода обычно обеспечивают более высокую вязкость и прочность металла шва вследствие отсутствия «захвата» углерода из диоксида углерода. Разработаны трехкомпонентные смеси газов, которые обладают преимуществами добавок как диоксида углерода, так и кислорода.

Каждое предприятие должно оценить преимущества трехкомпонентных смесей по сравнению с двухкомпонентными. В большинстве случаев обеспечение качества и непрерывное обучение персонала, направленное на соблюдение основных параметров процесса, дадут самый большой доход при минимальных капиталовложениях.

Например, предположим, что необходимо выполнить угловой шов длиной 305 мм на низкоуглеродистой стали толщиной 35,5 мм, для сварки которого потребуется 0,14 кг/м сварочной проволоки. Принятая в настоящее время технология требует использования проволоки диаметром 1,14 мм и смеси из 75% аргона и 25% диоксида углерода. Принимаем стоимость проволоки, равную 1,95 дол./кг на катушке 13,5 кг, и типичную норму трудозатрат и накладных расходов, равную 40 дол./ч. На предприятии имеется 10 сварочных постов, на каждом из которых используют один баллон высокого давления вместимостью 0,03 м³. Предприятие расходует восемь баллонов в неделю при стоимости 18 дол. каждый. Ручную сварку выполняют при обычных параметрах для переноса металла короткими замыканиями дуги (20 В и 200 А), что дает скорость наплавки 2,05 кг/ч при коэффициенте наплавки 96%.

Используя существующее оборудование, данную технологию можно заменить на сварку со струйным переносом металла. Для этого защитный газ меняют на смесь из 92% аргона, остальное — диоксид углерода. Напряжение сварочной установки 29 В, сила тока 300 А, это обеспечивает скорость наплавки 4 кг/ч при коэффициенте наплавки 98%. Экономические результаты, приведенные в *таблице*, показывают возможность сокращения расходов на 38% на 1 м шва благодаря более высокой скорости наплавки и эффективности струйного переноса.

Можно получить еще 6% экономии, смешивая аргон и диоксид углерода на рабочем месте с помощью системы, показанной на *рисунке*. В этом случае отпадает необходимость в ежедневной замене баллонов. Наконец, система смешивания на месте позволяет предприятию регулировать долю диоксида углерода в защитном газе.

Учитывая то, что американские компании сегодня испытывают серьезную конкуренцию, необходимо искать «наиболее низко висящий плод», чтобы снизить производственные расходы и повысить качество продукции. Это позволит постепенно снижать расходы при будущих капиталовложениях в развитие технологии. Для достижения таких результатов важными являются такие простые решения, как оптимизация режима переноса металла для выполнения шва дуговой сваркой плавящимся электродом в защитном газе и улучшение системы подачи газа.

● #541

СпецСплав www.spetssplav.dp.ua

Порошковые проволоки
Ферросплавы
Лигатуры
Хром металлический
Флюсы сварочные
Электроды для резки
Комплексные раскислители
Электроды наплавочные

ул. Курсантская, 1д,
г.Днепропетровск,
49051, Украина

тел.: (0562) 32-26-22
т/ф: (0562) 32-37-99
sp@spetssplav.dp.ua

Стенд СГИ 984ДМ для испытаний газопламенного оборудования

И. И. Гуменшаймер, А. Л. Красненко,

ООО «Завод автогенного оборудования «Донмет» (Краматорск)

Согласно перечню Госнадзорохрантруда объектов повышенной опасности газопламенное оборудование относится к оборудованию повышенной опасности и подлежит обязательной периодической проверке. В соответствии с требованиями ДСТУ 2448-94 «Кислородная резка. Требования безопасности» и ДНАОП 1.1.10-1.04-01 «Правила безопасной работы с инструментом и приспособлениями» все резаки и горелки необходимо не реже одного раза в месяц (редукторы — раз в три месяца) и во всех случаях подозрения на неисправность проверять на газонепроницаемость, плотность (герметичность), прочность, самотек (у редукторов) и горение (инжекция и стойкость к возникновению обратных ударов).

Проверка газопламенного оборудования как периодическая, так и текущая, чаще всего является для предприятия, которое эксплуатирует это оборудование, серьезной проблемой. Многие предприятия заключают договора на проведение регулярных проверок с предприятием-изготовителем такого оборудования или с другим предприятием, имеющим оборудование для таких проверок и специалистов соответствующей квалификации. Однако регулярная проверка оборудования «на стороне» требует и соответствующих регулярных финансовых расходов. Для малых предприятий с небольшим количеством газопламенного оборудования такой подход вполне оправдан. На предприятиях, где в технологическом процессе используют достаточно большое количество газопламенного оборудования, организация проверок «на стороне» зачастую требует финансовых затрат, сопоставимых со стоимостью самого оборудования. Кроме того, предприятий, оказывающих услуги по проверке газопламенного оборудования сторонним организациям, в Украине насчитывается буквально единицы.











Организация проверки газопламенного оборудования собственными силами в основном упирается в отсутствие специального оборудования с приложенной к нему четко изложенной методикой проведения проверок. Обязательным требованием, предъявляемым к комплекту оборудования, является наличие сертификатов соответствия на измерительные и регулирующие приборы, входящие в состав оборудования.

Этот пробел восполняется тем, что ряд предприятий, специализирующихся на производстве газопламенного оборудования, выпускают, кроме того, специальное оборудование для его проверки. В состав этого оборудования обычно входят комплект оснастки и приспособлений, измерительной и регулирующей аппаратуры, газоразборный пост с подводом основных видов горючих газов, используемых при газопламенной обработке, и кислорода, а также отдельный компрессор высокого давления (до 25 МПа), который монтируют в отдельном помещении и обслуживает его специально обученный персонал.

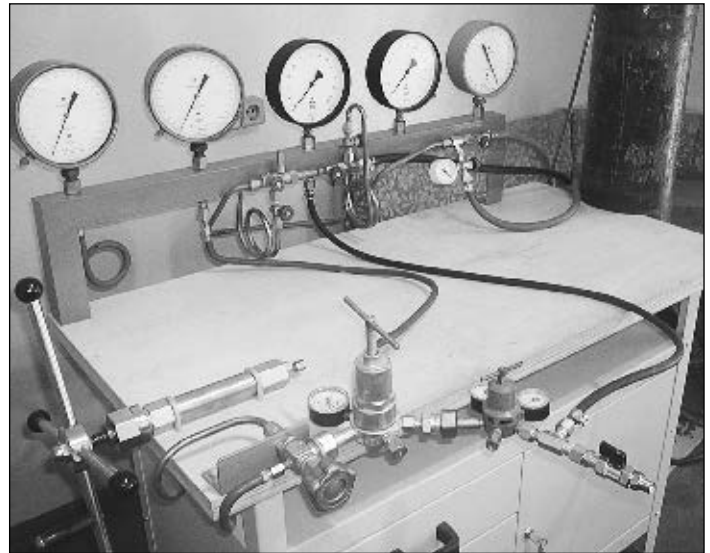
Одним из предприятий, выпускающих такое оборудование, является завод автогенного оборудования «Донмет» (Краматорск, Донецкая обл.). Изготавливаемый заводом комплекс — стенд для проверки газопламенного оборудования — отличается тем, что в его состав входит специальный винтовой насос для сжатия воздуха или азота, отбираемого из баллона. Это позволяет обеспечивать давление, необходимое для проверки герметичности редукторов, вплоть до 40 МПа. Наличие насоса исключает необходимость в компрессоре высокого давления и, как следствие, делает стенд значительно дешевле. Стенд прост в эксплуатации.

С помощью газового испытательного стенда СГИ устанавливают пригодность газопламенного оборудования марки «Донмет» к эксплуатации по показателям без-

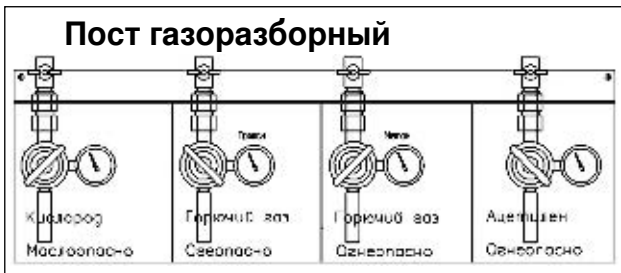
Перечень проверок, проводимых на стенде

Проверяемое оборудование	Внешний вид проверяемого оборудования	Проверяемая характеристика	НД, согласно которому изготавливают оборудование
Резаки инжекторные и с внутрисопловым смешением для ручной кислородной резки		Герметичность (газонепроницаемость, плотность), инжекция (разрежение в каналах), горение, стойкость к обратному удару пламени (внутреннему горению)	ГОСТ 5191-79 ТУ У 29.4-30482268.004-2002 ТУ У 29.4-30482268.008-2004
Резаки для машинной кислородной резки		Герметичность, инжекция, горение, противостояние обратному удару пламени	ТУ У 29.4-30482268.003-2002
Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева		Герметичность, инжекция, горение, противостояние обратному удару пламени	ГОСТ 1077-79 ТУ У 13488523.002-95
Резаки ручные жидкотопливные		Герметичность, инжекцию, горение, противостояние обратному удару пламени	ТУ У 13488523.003-95 ТУ У 29.4-30482268.007-2004
Редукторы баллонные для газопламенной обработки		Герметичность, самотек, срабатывание предохранительного клапана, повышение рабочего давления при прекращении отбора, пропускная способность	ГОСТ 13861-89 ТУ У 30482268.004-99
Горелки однопламенные и многопламенные универсальные для газопламенной сварки, пайки и подогрева (ГЗУ)		Герметичность, инжекция, горение, противостояние обратному удару пламени	ГОСТ 29091-91 ТУ У 30482268.005-2000 ТУ У 29.4-30482268.005-2002
Генераторы ацетиленовые АСП-10 и АСП-14		Герметичность (плотность), прочность	ТУ 3645-012-53149699-2000
Рукава резинотканевые		Герметичность сжатым воздухом или азотом давлением 1 МПа, прочность гидравлическим давлением 3 МПа	ГОСТ 9356-75
Бачки для жидкого горючего		Прочность гидравлическим давлением 1 МПа, герметичность давлением 0,5 МПа	ТУ У 29.4-30482268.001-2001
Оборудование, исполненное по другим стандартам, в частности, манометры		Проверка и калибровка технических манометров	Соответствует техническим характеристикам по вышеперечисленным НД и допускает присоединение

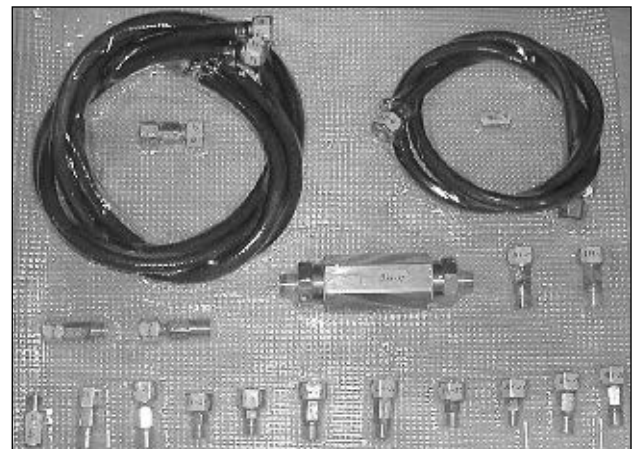
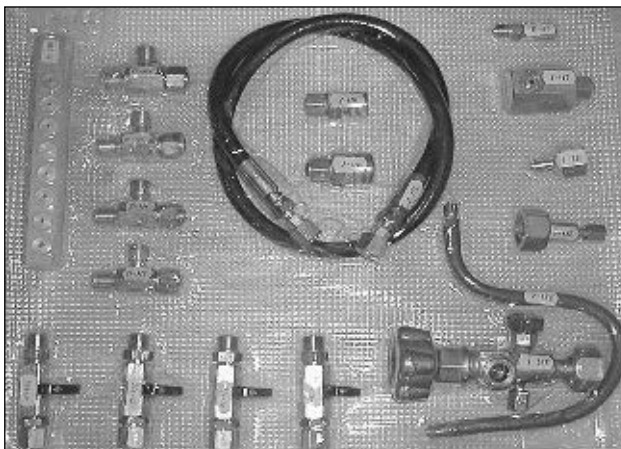
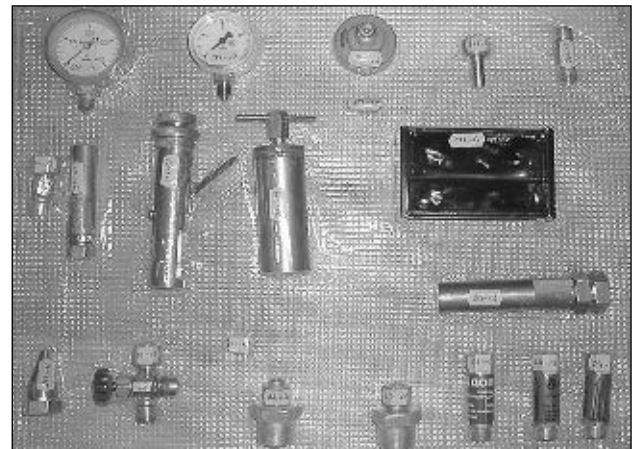
Стол проверочный



Пост газоразборный



Комплект сменных частей



опасности в соответствии с требованиями ДСТУ 2448–94, ГОСТ 12.2.008–75, ГОСТ 1077–79, ГОСТ 5191–79, ГОСТ 9356–75, ГОСТ 13861–89, ГОСТ 29091–91, а также ТУ, разработанных на основании указанных стандартов. Кроме того, на стенде проверяют газоподводящие резиноканевые рукава на герметичность и прочность.

Стенд может быть использован для проверок аппаратуры и оборудования других фирм при условии тех же присоединительных размеров или при наличии соответствующих переходников. Кроме того, стенд может быть использован для проверки оборудования по другим стандартам, полностью или частично включаемым перечисленные в таблице проверки и требования к этим проверкам. В частности, стенд используют для ежегодной калибровки манометров на газовых редукторах, которые затем клеймят заводским клеймом. Такое клеймо является действительным для органов Госназдорхрантруда, однако, оно не может быть использовано с целью клеймления манометра бачка для жидкого горючего, так как эти манометры подлежат ежегодной поверке службами Госназдорхрантруда. Пункт 3.5 ДСТУ 3968–2000 гласит: «Калибровочные лаборатории, которые проводят калибровку для собственных нужд предприятий и организаций, самостоятельно разрабатывают и изготавливают калибровочные клейма». Если не производят калибровку для сторонних организаций, то эти клейма в органах Госназдорхрантруда не регистрируют.

Таким образом, с помощью стенда можно проверять оборудование собственными силами, не привлекая сторонние организации, соблюдая требования государственных надзорных органов и обеспечивая при этом безопасность работы.

Стенд выполнен в виде комплекса оборудования, в состав которого входят проверочный стол, газоразборный пост, комплект сменных частей и комплект эксплуатационной документации. Кроме этого оборудования, должна быть ванна для воды вместимостью 0,3–0,5 м³ (можно использовать бытовую ванну).

Оборудование функционально между собой не связано, его можно располагать в разных помещениях. Проверочный стол и ванна должны быть расположены рядом, в одном помещении, однако конструктивной зависимости между ними нет. Газоразбор-

ный пост с целью безопасности проведения работ предпочтительнее располагать на специализированном рабочем месте.

Проверку проводят после каждой сборки соответствующей схемы согласно руководству по эксплуатации (РЭ) испытательного стенда.

Для проверок, не связанных с огневыми работами, используют проверочный стол и ванну. Основные узлы, необходимые для сборки проверочной схемы, смонтированы на проверочном столе. Проверку проводят сжатым воздухом или азотом из баллона, который установлен в специальном захвате стола. Давление сжатого воздуха или азота регулируют редуктором и контролируют манометром этого редуктора.

Высокое давление воздуха или азота для проверки герметичности редукторов обеспечивает специальный винтовой насос, который смонтирован на проверочном столе. Во время проверок на герметичность проверяемые изделия окунают в ванну с водой, что обуславливает необходимость ее расположения в непосредственной близости от проверочного стола.

Рукава, бачки и ацетиленовые генераторы проверяют после сборки соответствующей схемы согласно РЭ, по которому можно давлением воздуха создать в специальной бачке гидростатическое давление (в качестве рабочей жидкости служит вода). Рабочую жидкость под заданным давлением закачивают из бачка в проверяемое изделие, а давление контролируют с помощью специального манометра, который монтируют на проверочном столе.

Испытания на горение и противостояние обратному удару пламени проводят на рабочем месте, оборудованном подключенным к энергоносителям газоразборным постом. Газоразборный пост должен быть установлен на рабочем месте, оборудованном для проведения огневых работ. Подключение газоразборного поста к источникам энергоносителей (газовой магистрали, баллонам и т. д.) производят согласно ДНАОП 0.00–1.20–98 «Правила безопасности систем газоснабжения Украины».

Комплект сменных частей при транспортировке размещают в ящиках стола. Указания об использовании принадлежностей, входящих в комплект сменных частей, приведены в инструкциях по проверкам, которые прилагаются к руководству по эксплуатации.

Аппаратура подачи присадочной проволоки для сварки неплавящимся электродом

С. В. Дубовецкий, канд. техн. наук, С. В. Можжев, Д. В. Плющ, А. Е. Фролов, ООО «НАВКО-ТЕХ» (Киев)

Сварку неплавящимся электродом (ТИГ сварка) выполняют, как правило, с подачей присадочной проволоки. Это обеспечивает получение сварного шва нужной формы и размеров, необходимое легирование сварного шва, а также предотвращает стекание сварочной ванны при сварке в различных пространственных положениях путем ее охлаждения за счет подачи «холодной» проволоки.

В каждом случае подачу присадочной проволоки необходимо выполнять с определенной (постоянной или программно заданной) скоростью. Эта скорость должна быть в среднем на порядок меньше, чем при МИГ/МАГ сварке.

Фирмой «НАВКО-ТЕХ» разработано устройство УП4, предназначенное для прецизионной подачи стальной или алюминиевой присадочной проволоки при ручной или автоматической сварке неплавящимся электродом, а также плазменной сварке. Устройство состоит из механизма подачи проволоки, блока управления (рис. 1) и узла крепления тракта подачи проволоки к сварочной горелке (ручной или машинной).

Особенности устройства:

- высокая точность задания скорости подачи проволоки за счет установки датчика скорости вращения на двигатель механизма подачи и управления двигателем от контроллера;
- возможность подачи проволоки как непрерывно, так и в импульсном режиме;

- возможность регулирования времени задержки подачи в начале шва и времени реверса подачи проволоки после гашения дуги для предотвращения «примерзания» проволоки в сварочной ванне;
- удобство настройки требуемых параметров подачи за счет применения многооборотных резисторов и цифровой индикации скорости подачи.

Техническая характеристика:

Скорость подачи проволоки, мм/с 0–130

Диапазоны регулирования времени, с:

задержки при включении 0–5

реверсивной подачи при выключении 0–3

паузы и импульса 0–5

Устройство опробовано в составе автоматической установки АС303–2 (рис. 2) для сварки продольных швов стальных и алюминиевых тонкостенных труб (длина трубы до 1000 мм, диаметр 90–600 мм, толщина стенки 0,5–1,5 мм). В базовом варианте исполнения установки сварку выполняют без подачи присадочной проволоки. Применение блока УП4 позволяет уменьшить вероятность появления дефектов типа «прожог» и «горячая трещина», а также выполнить сварку тонких листов «по зазору».

Возможно применение этого устройства и при ручной дуговой сварке (рис. 3). Специальный узел крепления тракта подачи проволоки к обычной сварочной горелке позволяет направить подачу в удобном для сварщика направлении, повысить производительность сварки и создать комфортные условия для работы. ● #543



Рис. 1. Внешний вид блока управления

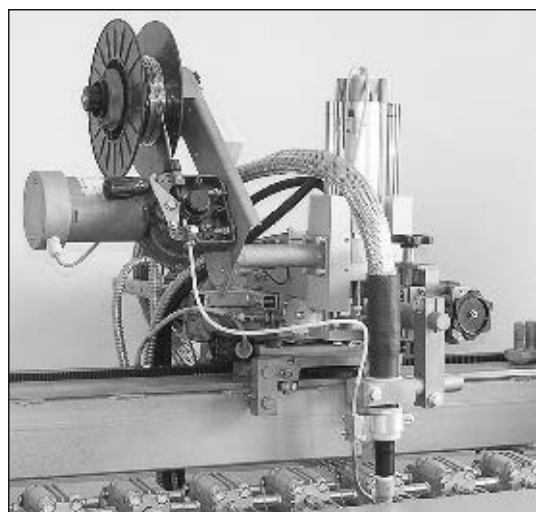


Рис. 2. Устройство УП4 в составе автоматической установки АС303–2 для сварки продольных швов тонкостенных труб

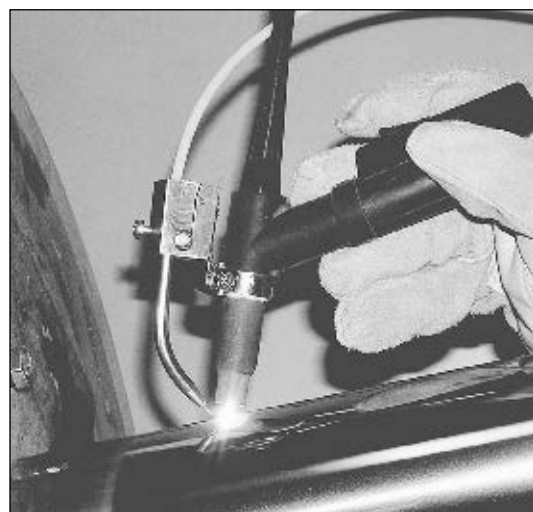


Рис. 3. Ручная ТИГ сварка с механизированной подачей присадочной проволоки



Особенности профессиональной подготовки сварщиков в соответствии со стандартами компетентности

*П. П. Проценко, В. Е. Пономарев, кандидаты техн. наук,
Межотраслевой учебно-аттестационный центр ИЭС им. Е. О. Патона (Киев)*

В настоящее время в Украине действует отчасти усовершенствованная модель прежней системы разрядов для определения уровня квалификации рабочих-сварщиков, которая унаследовала все недостатки ее «прототипа». Так, с одной стороны, в ней явно завышены требования к уровню знаний и навыкам сварщиков более низких разрядов, а с другой — нет четких разделительных признаков между разрядами. Система оперирует такими «размытыми» понятиями, как, например, деталь «простая», «средней сложности», «сложная» и «особо сложная» или «ответственная» и «особо ответственная» сварная конструкция. Более того, в ней ликвидирован первый разряд, но максимальным разрядом для сварщиков газовой сварки теперь является 5-й, для сварщиков механизированной сварки — 6-й, а для сварщиков ручной дуговой сварки — 8-й разряд. Таким образом, вместо того, чтобы стать более простой и четкой, она стала сложнее и запутаннее.

Учитывая указанные недостатки действующей квалификационной системы рабочих-сварщиков, Межотраслевой учебно-аттестационный центр ИЭС им. Е. О. Патона (МУАЦ) начал разработку новой системы, основанной на стандартах компетентности сварщика.

При разработке новой квалификационной системы сварщиков использованы подходы Международного Института сварки и Европейской сварочной федерации (Doc. IAB-089-2003/EFW-452-467-480-481 «International Welder»). Ее суть показана на примере стандартов компетентности для сварщика механизированной дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом — МИГ/МАГ (таблица).

Каждый стандарт компетентности сварщика рассматривается как составляющая его компетентности. Стандарт компетентности четко регламентирует какими теоретическими знаниями и практическими навыками должен обладать сварщик для выполнения определенной сварочной операции с учетом типа выполняемых швов (стыковой или угловой), вида свариваемых

деталей (пластины или трубы) и типа основного металла. В стандарте компетентности вводится также понятие *элемент компетентности*, которым является конкретный практический навык, освоенный сварщиком. Каждому стандарту компетентности присваивается определенное количество кредитов, которое равно числу элементов компетентности, включенных в данный стандарт. Стандартов компетентности должно быть столько, сколько требуется для того, чтобы как можно более полно охватить данную область профессии. Так, применительно к сварке МИГ/МАГ разработан 21 отдельный стандарт, которые объединены в общий рамочный стандарт.

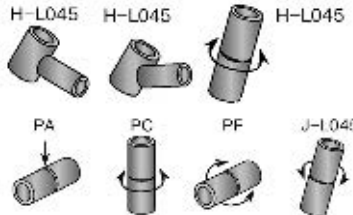
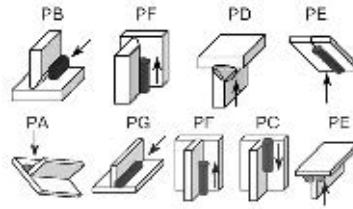
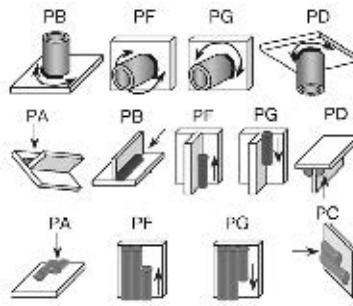
Как видно из приведенной таблицы, новая квалификационная система дана в сравнении со старой системой разрядов, так как предполагается, что на период становления новой системы сохранится в силе и прежняя, которая пока еще остается основой для оценки уровня квалификации рабочих на всем постсоветском пространстве.

Одним из главных достоинств новой квалификационной системы является то, что введение стандартов компетентности позволит использовать программы профессиональной подготовки сварщиков, разработанные на базе модульных учебных систем, рекомендованных Международной организацией труда, а также Министерством труда, Министерством образования и науки Украины.

Особенностью модульной технологии обучения является то, что она разрабатывается на основе глубокого и детального анализа конкретных производственных заданий, которые должны быть выполнены сварщиком соответствующего уровня квалификации. Поэтому основное внимание уделяется его практической подготовке, в то время как теоретическая подготовка сварщика дается в объеме, необходимом и достаточном для выполнения каждого

Таблица. Стандарты профессиональной компетентности по профессии «Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах» (Код КП: 7212.2)

Специализации: 1. Дуговая механизированная сварка в среде защитных газов сплошным электродом.
2. Дуговая механизированная сварка в среде защитных газов порошковой проволокой.

Типы сварных соединений (практические навыки сварщика)	Сварочный материал	Составляющие компетентности с учетом вида основного металла			
		Низкоуглеродистые и низколегированные стали	Чугун	Высоколегированные стали	Алюминий (сварка сплошной проволокой)
Третья группа стандартов (соответствует уровню Международного сварщика труб)					
	Порошковая проволока	7212.2.15.04 Кредитов 3 Разряд 4	7212.2.18.04 Кредитов 1 Разряд 6	7212.2.21.04 Кредитов 3 Разряд 6	7212.2.12.04 Кредитов 3 Разряд 6
	Сплошная проволока	7212.2.03.04 Кредитов 3 Разряд 4	7212.2.06.04 Кредитов 1 Разряд 6	7212.2.09.04 Кредитов 3 Разряд 6	—
Вторая группа стандартов (соответствует уровню Международного сварщика пластин)					
	Порошковая проволока	7212.2.14.04 Кредитов 4 Разряд 3	7212.2.17.04 Кредитов 4 Разряд 5	7212.2.20.04 Кредитов 4 Разряд 5	7212.2.11.04 Кредитов 3 Разряд 5
	Сплошная проволока	7212.2.02.04 Кредитов 4 Разряд 3	7212.2.05.04 Кредитов 4 Разряд 5	7212.2.08.04 Кредитов 4 Разряд 5	—
Первая группа стандартов (соответствует уровню Международного сварщика угловых швов)					
	Порошковая проволока	7212.2.13.04 Кредитов 4 Разряд 2	7212.2.16.04 Кредитов 4 Разряд 4	7212.2.19.04 Кредитов 5 Разряд 5	7212.2.10.04 Кредитов 5 Разряд 4
		7212.2.01.04 Кредитов 4 Разряд 2	7212.2.04.04 Кредитов 4 Разряд 4	7212.2.07.04 Кредитов 5 Разряд 5	—
	Сплошная проволока	7212.2.01.04 Кредитов 4 Разряд 2	7212.2.04.04 Кредитов 4 Разряд 4	7212.2.07.04 Кредитов 5 Разряд 5	—

Примечание. Разработаны с учетом квалификационной системы Международного института сварки.

конкретного производственного задания. Таким образом, процесс обучения не разделяется на практическую и теоретическую составляющие, а проводится в комплексе. Такой подход обеспечивает гармоничную подготовку сварщика, при которой исключаются случаи, когда аттестованный сварщик либо «много знает, но мало умеет», либо наоборот «мало знает, но много умеет».

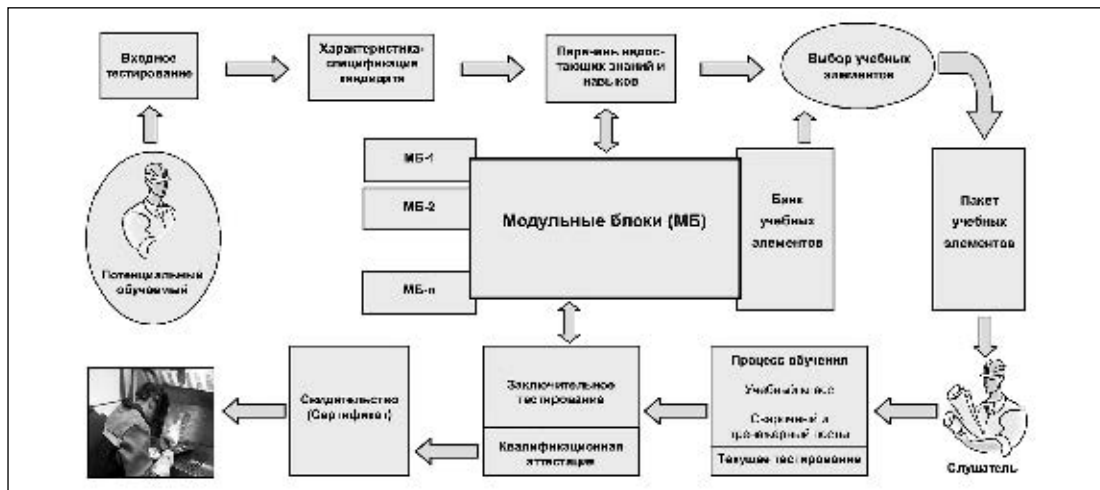
Модульная технология профессионального обучения предусматривает индивидуальный принцип подготовки. Вначале проводят входное тестирование кандидата на обучение, которое позволяет определить начальный уровень его знаний и умений. По результатам тестирования составляют индивидуальный учебный план и подбирают пакет учебных элементов для данного

слушателя. Такой подход дает возможность исключить из программы подготовки конкретного сварщика ту часть учебного материала, по которой он имеет необходимый уровень знаний, а это в свою очередь позволяет оптимизировать сроки и стоимость обучения.

Учебный процесс по модульной технологии реализуют с помощью *учебных элементов (УЭ)*, содержащих необходимую информацию о конкретном навыке (умении) или об отдельной части профессиональных знаний (*рисунок*).

В общем виде *учебный элемент* — это краткое описание в определенной логической последовательности конкретного объема знаний или процедуры выполнения одного отдельно взятого практического навы-

Рисунок.
Схема
модульного
учебного
процесса



ка, которые необходимо слушателю освоить самостоятельно под руководством инструктора или преподавателя. Учебный элемент содержит необходимую для этого информацию в виде органичного сочетания текста и иллюстраций и представляет собой брошюру объемом 8–10 страниц. В нем также имеется раздел для проверки усвоения материала; только после положительных результатов проверки обучаемый переходит к освоению следующего учебного элемента.

Типичные наименования теоретических учебных элементов:

- Основные сведения об электричестве.
- Электрическая дуга и ее технологические свойства.
- Сварочные напряжения и деформации.
- Строение сварного соединения.
- Дефекты сварных соединений.
- Технические измерения.
- Свойства защитных газов для сварки плавящимся электродом и др.

Для практических учебных элементов (или так называемых элементов действия) характерны такие наименования:

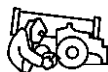
- Подготовка сварочного поста для сварки МИГ/МАГ.
- Подготовка к сборке деталей под сварку и выполнение прихваток.
- Соединение пластин угловыми швами в положении PA, PB, PF и PD.
- Соединение пластин с трубами угловыми швами в положении PB, PF и PD.
- Соединение пластин стыковыми швами в положении PA.
- Соединение пластин стыковыми швами в положении PF, PC и PE.
- Соединение труб стыковыми швами в положении PA и PC.
- Соединение труб стыковыми швами в положении PF и т. п.

Дополнительно к УЭ разработаны учебно-методические пособия, видеофильмы и компьютерные анимации о процессах в сварочной дуге и особенностях переноса электродного металла при сварке в защитных газах (см. «Сварщик» № 5, 2004). При описании в УЭ или при устном объяснении физических явлений, сопровождающихся сложными динамическими преобразованиями, не удастся передать все их особенности. Возможность увидеть, как протекают такие процессы, позволяет существенно облегчить понимание их слушателями. Для демонстрации таких учебных материалов созданы классы, укомплектованные современной компьютерной техникой.

Первостепенное значение при профессиональной подготовке сварщиков по модульной технологии необходимо уделять мастерским для практических занятий. Подготовку сварщиков в МУАЦ проводят в специализированных учебных мастерских, оснащенных необходимым отечественным и зарубежным оборудованием и тренажерами. Каждый слушатель имеет свое рабочее место и обеспечивается сварочными материалами в необходимом количестве.

Модульные технологии профессиональной подготовки применимы и для обучения по программам Международного института сварки на соответствие квалификации Международный сварщик, на которые МУАЦ получил полную аккредитацию.

Проверка результатов обучения предусматривает в обязательном порядке сварку контрольных соединений в соответствии с утвержденными технологическими инструкциями (WPS). Оценочные критерии учитывают требования действующей в сварочном производстве нормативной документации (стандартов, правил, регламентов). ● #544



Инженерное искусство В. Г. Шухова

Т. П. Мороз

Величайший русский инженер, основоположник нефтяной гидравлики, открытия которого на десятилетия опережали время, никогда не тиражировал свои проекты. Его же открытия повторяли многие как отечественные, так и зарубежные специалисты.

Только для топливно-энергетического комплекса им выполнены работы такого объема, который под силу коллективам десятка НИИ. Крылатыми стали слова, их характеризующие: «Нефть поднималась из недр шуховскими насосами, рационально перерабатывалась в шуховских крекинг-аппаратах, хранилась в шуховских резервуарах, дешево и без потерь доставлялась наливными шуховскими баржами или нефтепроводами, сжигалась с получением максимального количества тепла шуховскими форсунками в шуховских котлах». По проектам В. Г. Шухова было сооружено больше 10 тысяч металлических резервуаров, 500 мостов через Оку, Волгу, Енисей, Днепр; около 200 башен оригинальной конструкции, в т. ч. Шаболовская, как в нашей стране, так и за рубежом; почти три десятка громадных наливных барж, доменные печи и зерновые элеваторы, и даже наклонившийся минарет медресе Улугбека был выровнен по его проекту.

Владимир Григорьевич Шухов родился 26 августа 1853 г. в городке Гайворон Курской области (ныне Белгородская обл.) в семье государственного служащего министерства финансов. Детские годы провел в селе, а в 1871 г. с отличием закончил петербургскую гимназию и поступил в Императорское техническое училище (ныне МВТУ им. Баумана), которое в 1876 г. также закончил с отличием. Ученый совет училища направил В. Г. Шухова на Чикагскую выставку в Америку. Там он познакомился с академиком Д. И. Менделеевым и своим соотечественником инженером А. В. Бари.

Отмена акцизной системы в 1877 г. способствовала бурному росту числа акционерных товариществ, работающих в области нефтеперегонки. А. В. Бари, занимающийся нефтебизнесом, предложил Шухову возглавить бакинский филиал своей фир-



Владимир
Григорьевич
Шухов
(1853–1939)

мы. В 1878 г. Владимир Григорьевич приехал в тогдашний глухой уголок Российской империи — Баку, куда «буровых мастеров выписывали из Америки, а слесарей и плотников сманивали друг у друга».

Запах нефтедолларов привел в Баку и товарищество «Братья Нобель». Имея заказ американской фирмы на поставку бакинской нефти, Людвиг Нобель задумал расширить и осовременить полукустарное бакинское нефтепроизводство, вложив в дело капитал своего талантливого брата Альфреда Нобеля. Учитывая предыдущий опыт работ в России, Л. Нобель предложил фирме А. В. Бари, где работал В. Г. Шухов, соорудить трубопровод от Балаханских промыслов к фотогенному (керосиновому) заводу в Баку.

Хотя идею Д. И. Менделеева о транспортировке нефти по трубопроводам американцы осуществили первыми, но они не разработали ни одного научно обоснованного расчета, а все делали наугад, о чем свидетельствовали аварии на широко известных трубопроводах «Колумбия Лайн» и через Алеганские горы. При проектировании трубопровода и вспомогательных сооружений (нефтеперекачивающие станции, насосы, резервуары и др.) В. Г. Шухов впервые в мире самостоятельно решает

целый комплекс сложнейших технических задач и выполняет инженерные расчеты, учитывающие экономическую эффективность проекта.

Сооружение в 1878 г. первого отечественного трубопровода («труба» — так его называли в то время) длиной более 10 км с пропускной способностью 80 тыс. пудов нефти в сутки открыло эру строительства трубопроводов. В 1879 г. в Баку Владимир Григорьевич разработал свой второй проект нефтепровода для фирмы Лианозова.

Одновременно с сооружением трубопровода появилась необходимость в проектировании дешевых и надежных нефтехранилищ, так как традиционные прямоугольной формы не imponировали инженерному гению В. Г. Шухову. В совершенстве владея методом математического анализа, Владимир Григорьевич установил, что при заданной площади сечения самой рациональной фигурой будет круг, который к тому же гарантирует минимальную металлоемкость. Впервые он ввел в практику клепаные резервуары для хранения нефти, гарантировавшие герметичность. Методику расчета резервуаров В. Г. Шухов предложил в 1883 г. И лишь через пять лет Циммерман повторил расчеты систем на упругом основании, внедренные В. Г. Шуховым в инженерную практику.

В. Г. Шухов впервые в России организует проектное бюро с постоянным штатом инженерно-технических работников. За два года фирмой А. В. Бари было изготовлено 130 металлических резервуаров. Более того, В. Г. Шухов переходит к проектированию и сооружению резервуарных станций.

Разрабатывая наиболее экономичные формы резервуаров для перевозки по водным путям и изучая возможности их оптимального размещения на судах, В. Г. Шухов пришел к мысли о целесообразности изменения конструкции самих судов. При

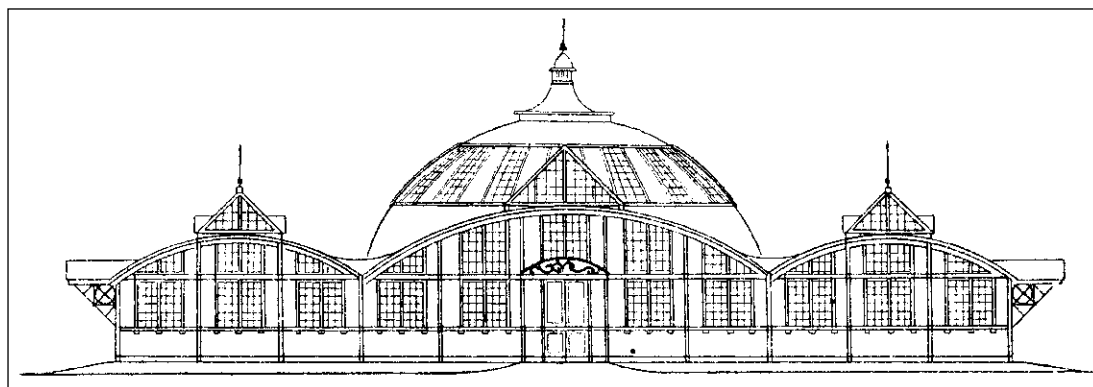
решении очередной сложной инженерной задачи — проектирование самой совершенной самоходной баржи, — опираясь на свои теоретические исследования систем на упругом основании, В. Г. Шухов отошел от установившихся в речном судостроении эмпирических зависимостей и увеличил длину барж примерно в два раза, доведя ее до 150–170 м, что явилось основным секретом легкости его барж.

Преимуществом шуховских барж было отсутствие прогиба концов, они были ближе к типам судов, «мнущих воду», т. е. имели заострение носовой части не по ватерлинии, а по батоксам. Значительная ширина и плоскодонность барж позволяли им легко проходить через мели и перекаты.

В области теплотехники исследования и изобретения В. Г. Шухова явились не только новым этапом в развитии массового отечественного котлостроения, но и весомым вкладом в мировую теплотехнику.

Основными преимуществами шуховских котлов была повышенная производительность за счет увеличенной поверхности их нагрева и сравнительно небольшой влажности пара, гарантировавшейся подачей его сквозь толщу кипящей воды, простота изготовления стандартных элементов, небольшая масса и малая стоимость. Шуховские водотрубные котлы получили мировое признание. Они были отмечены высокими наградами Всероссийской выставки 1896 г. и Всемирной выставки 1900 г. в Париже.

Для первой Всероссийской промышленно-художественной выставки в Нижнем Новгороде (1896 г.) В. Г. Шуховым были также спроектированы и в короткий срок сооружены разборные павильоны, явившиеся целым классом новых конструктивных форм. Феерические своды — висячие сетчатые и двоякой кривизны, выполненные над пятью зданиями пролетами от 12,8 до



Вариант трехпролетного павильона с размещенным в центре куполом диаметром 23,4 м

32 м общей площадью 20 000 м², оригинальные сетчатые пространственные конструкции и плоские системы с перекрестными затяжками не имели аналогов в мировой строительной практике и способствовали решению одной из наиболее принципиальных задач строительной техники: использование преимуществ сквозных пространственных систем.

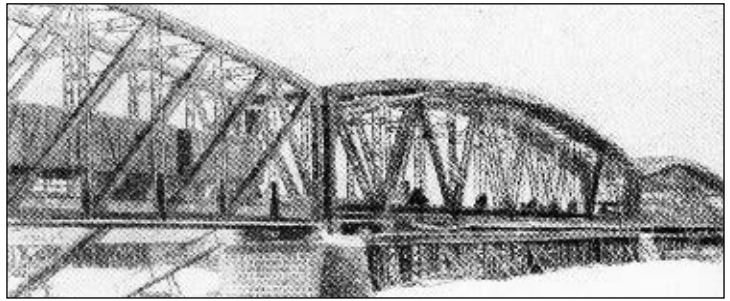
Впервые в России фирме А. В. Бари за шуховские сетчатые покрытия была присуждена высшая награда в разделе «Строительное дело» «за применение новых усовершенствований в конструкции металлических зданий и за широкое развитие, быстрое и хорошее исполнение строительных и котельных работ». За эти же конструкции фирма Бари получила Золотую медаль Всемирной выставки 1900 г. в Париже. Через 20 лет зарубежные фирмы, используя шуховскую идею сетчатых конструкций, составили несколько вариантов конструкций покрытий, запатентовав их: покрытия Юнкера, Ламеля, свод Цолльбау.

Различные варианты шуховских систем применяют и в настоящее время, так как сетчатые конструкции представляют собой несущую поверхность, составленную из однотипных взаимозаменяемых элементов малого сечения, разметку и обработку которых можно выполнять на месте их сборки.

Однако среди всего этого множества направлений деятельности Владимир Григорьевич остается верен своей первой привязанности — нефтепереработке. В начале 1890 г. он вместе со своим однокурсником инженером С. Гавриловым сооружают опытный аппарат для измельченной перегонки нефти под давлением, на который была получена российская привилегия за номером 175, а в 1891 г. — американский патент.

Только через 25 лет в США начали появляться изобретения, частично повторяющие, но значительно уступающие по техническому совершенству российскому. В 1920-е гг., продолжая работы по совершенствованию своего изобретения, В. Г. Шухов совместно с М. А. Капелюшниковым создал новую систему трубчатого крекинга (1929–1934 гг.), реализованную в Баку в установке «Советский крекинг».

Работы В. Г. Шухова в области мостостроения касаются создания легких пролетных строений пешеходных и служебных мостов, железнодорожных мостов с большими пролетами, эстакад, акведуков, кесонов для возведения мостовых опор и др.



В 1910 г. в условиях обострившейся промышленной конъюнктуры, требующей дальнейшего удешевления производства, В. Г. Шухов развил свою идею серийного изготовления конструкций, спроектировал серию мостов с пролетами от 4 до 60 м, в 1903 г. разработал серию двухъярусных мостов с пролетами от 8,1 до 42,6 м, а также две серии мостовых кранов: ручные грузоподъемностью 1,3–7 т и электрические грузоподъемностью 3–20 т. Разработка принципа серийности конструкций, компоновки из повторяющихся элементов и подтверждение его эффективности для самых разнообразных типов конструкций открыли новую страницу в развитии промышленного производства, на много лет опередив зарубежную технику.

В годы Первой мировой войны В. Г. Шухов выполнял работы по военным заказам: специальные заводы и сооружения, призванные обслуживать нужды армии и флота, для Адмиралтейского и Рижского судостроительных заводов, для Николаевского, Севастопольского, Кронштадтского и Свеаборгского портов, Охтенского порохового завода и др. В 1914 г. он разработал новый метод расчета оптимального конструктивного решения батопортов (громатные суда, служащие воротами доков) и занялся их сооружением. В 1915 г. В. Г. Шухов разработал конструкции бонов для пришвартовывания подводных лодок и платформы для тяжелых орудий; изобрел плавучие мины, а также оригинальные конструкции мин с сетями заграждения и ряд типов мин малой и большой глубины. Он предложил остроумную конструкцию якоря-тележки для установки мин на заданной глубине и приспособление, гарантирующее их безопасность при перевозке и в случае отрыва.

После революции 76-летний инженер, продолжая свои ранее начатые работы, с необыкновенным подъемом занялся восстановлением разрушенных мостов. В это время он широко внедрял в строительную практику металлодеревянные конструкции.

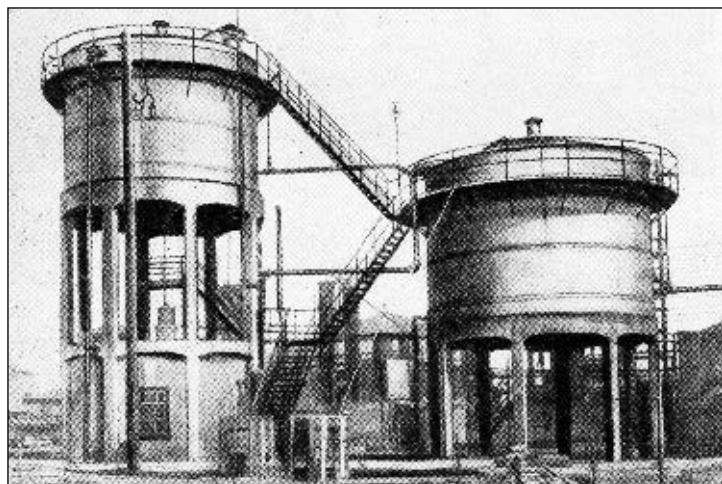
Восстановление моста с фермами пролетом по 75 м (1920 г.)

Благодаря этому к апрелю 1919 г. была запущена важнейшая стратегическая железнодорожная линия, связывающая центр с Уралом. По его проектам сооружали здания с металлодеревянными фермами: сжатый верхний пояс фермы, имеющий полигональное очертание, был сделан из дерева, а все раскосы и нижний пояс — из металла.

Еще в 1902 г. В. Г. Шухов спроектировал двухъярусный железнодорожный мост с пролетом 85,2 м с проезжей частью понижу с параллельными поясами, имеющими двухраскосную решетку. И лишь через 30 лет Союзтранспроект МПС СССР узаконил переход к полигональному очертанию ферм, а еще через 10 лет в проектах стандартных мостов, разработанных ГПИ «Проектстальконструкция», начинают применять фермы с параллельными поясами для мостов и с более значительными пролетами.

Шаболовская башня в Москве — единственное в мире сооружение, образованное пятью поставленными один на другой сетчатыми гиперboloидами. 150-метровую стальную башню сооружали специально предложенным В. Г. Шуховым для этого случая методом «телескопического монтажа». Это первое высотное сооружение, смонтированное без всяких строительных лесов. Высота башни определяла мощные сечения для ее ног. Учитывая дефицит металла, сечения ног были составлены из двух швеллеров достаточно простой конструкции. Наиболее сложным являлся узел взаимного сопряжения гиперboloидов смежных ярусов: конструкция кольца, составленного из двух раздвинутых уголков, связанных внизу легкой решеткой, дает возможность пропустить внутри него фасонки, к которым прикреплены наклоненные под разными углами швеллеры ног смежных гиперboloидов.

Резервуарная станция (1925 г.) в г. Грозном, общая емкость 32 резервуаров составляет около 10 млн. пудов



Обследование 200 узлов башни, проведенное в 1947 г., показало, что за 25 лет эксплуатации коррозия металла в узловых соединениях составила всего около 5%.

В 1923 г. В. Г. Шухову было поручено разработать техническую документацию и изготовить изобретенный русским инженером Даниленко глубоководный снаряд для подъема затонувших судов. Изготовленный в рекордно короткий срок снаряд уже в сентябре 1923 г. опустили на глубину 123 м, значительно превышавшую мировые рекорды. Организация «ЭПРОН», занимающаяся подъемно-спасательными работами, за первые несколько лет подняла со дна моря 250 различных судов.

В 1924–1927 гг. Владимир Григорьевич возглавляет комиссию Госплана по нефтепроводам. При его деятельном участии были спроектированы и проложены нефтепроводы Грозный—Туапсе, Баку—Батум, изготовлены резервуары для Эмбанефти, газгольдеры и мачты для линий передач и подстанций Донбасса и многое другое.

Начиная с 1925 г., В. Г. Шухов принимает активное участие в проектировании и строительстве объектов черной металлургии: мартеновские цеха Верх-Исетского, Пермского, Белорецкого; литейный Харьковского паровозостроительного заводов.

В 1926 г. В. Г. Шухов получил патент на вертикальный водотрубный паровой котел, в 1927 г. — патент на «воздушный экономайзер». В 1927 г. Владимир Григорьевич был избран почетным членом Академии наук СССР, в 1928 г. ему присвоили звание Героя труда, а в 1929 г. — звание заслуженного деятеля науки и техники.

В период с 1933 по 1937 гг. В. Г. Шухов систематически консультировал трест «Промстальконструкция» по вопросам разработки конструкций первых советских металлических 200-метровых радиомачт на оттяжках.

В результате несчастного случая В. Г. Шухов умер на 86 году жизни 2 февраля 1939 г.

Вдумчивый анализ и сама постановка задачи с ясным стремлением к конечной цели, не заслоняемая промежуточными частными задачами, были отличительными особенностями шуховского инженерного метода. Анализ работ Владимира Григорьевича позволил по-новому подойти к вопросу о рациональности и целесообразности распространенных технических решений и выбору соответствующих конструктивных строительных форм.

● #545