



# 5 (39) 2004

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, А. М. Сливинский

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

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

**Маркетинг и реклама** Е. Б. Юрлов

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

**Адрес редакции** 03150 Киев, ул. Горького, 62

**Телефон** +380 44 268 3523, 227 6502

**Факс** +380 44 227 6502

**E-mail** welder@svitonline.com

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

**Представительство в Беларуси** Минск  
Вячеслав Дмитриевич Сиваков  
+375 17 213 1991, 246 4245

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

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

**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.

Предоставленные материалы должны быть напечатаны с указанием авторов, адреса, телефона. 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 06.10.2004. Формат 60×84 1/8.  
Печать офсетная. Бумага офсетная №1.  
Гарнитура PetersburgCTT. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2.  
Зак. № 06/10 от 06.10.2004. Тираж 3000 экз.  
Печать ООО «Людопринт Украина», 2004.  
01023 Киев, ул. Ш. Руставели, 39–41, к. 1012–1014.  
Тел. (044) 220–0879, 227–4280.

© «Экотехнология», «Сварщик», 2004

# Информационно-технический журнал **Сварщик**™

Технологии  
Производство  
Сервис



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Новости техники и технологии</b> .....	<b>4</b>
<b>Производственный опыт</b>	
○ Восстановление цельнолитых станин конусных дробилок сваркой. <i>В. Д. Позняков, А. А. Гайворонский, С. Л. Жданов, Ю. В. Демченко, П. А. Стрижак, А. В. Клапатюк</i> .....	<b>6</b>
○ Газотермические покрытия в решении проблем железнодорожного транспорта. <i>С. В. Петров</i> .....	<b>10</b>
○ Технология сборки и сварки алюминиевых крыш тепловозов. <i>Г. Г. Басов, А. Н. Ткаченко, Н. А. Лустикаева</i> .....	<b>14</b>
○ Опыт повышения качества электродной проволоки для высокопроизводительной сварки в активных защитных газах. <i>Ю. Лее, В. Зенк</i> .....	<b>16</b>
<b>Заготовительное производство</b>	
○ Выбор оборудования и способа резки металлов. Повышение эффективности кислородной резки. Часть 2. <i>М. М. Лилько</i> .....	<b>20</b>
<b>Технологии и оборудование</b>	
○ Разработки Института электроники Болгарской академии наук в области электронно-лучевой сварки. <i>Е. Колева, К. Вутова, П. Петров, Г. Младенов</i> .....	<b>25</b>
○ Электролитно-плазменная обработка поверхности сварочной проволоки. Часть 1. <i>Н. М. Воронай</i> .....	<b>30</b>
○ Новые виды оборудования для термообработки сварных соединений электронагревателями сопротивления. <i>М. И. Мухранов, С. Ф. Колдеев, В. Н. Чушкин, И. П. Кочетков</i> .....	<b>34</b>
○ Машина нового поколения для термической резки металлов «Кристалл-ТМ». <i>Е. Н. Верещаго, О. Ф. Просянов</i> .....	<b>36</b>
<b>Наши консультации</b> .....	<b>38</b>
<b>Охрана труда</b>	
○ Современные средства местной вентиляции для сварочного производства. <i>О. Г. Левченко, Н. Ю. Агасьян</i> .....	<b>40</b>
<b>Подготовка кадров</b>	
○ Учебное пособие «Перенос металла и саморегулирование электрической дуги при сварке в защитных газах». <i>В. Е. Пономарев, А. М. Сливинский</i> .....	<b>43</b>
● Зарубежные аналоги отечественных марок конструкционных сталей .....	<b>45</b>
<b>Торговый ряд</b> .....	<b>47</b>

# 2004

 сентябрь–октябрь

<b>Новини техніки і технології</b> .....	4
<b>Виробничий досвід</b>	
○ Відновлення цільнолитих станин конусних дробарок зварюванням. <i>В. Д. Позняков, А. А. Гайворонський, С. Л. Жданов, Ю. В. Демченко, П. А. Стрижак, А. В. Клапатюк</i> .....	6
○ Газотермічні покриття в рішенні проблем залізничного транспорту. <i>С. В. Петров</i> .....	10
○ Технологія зборки і зварювання алюмінієвих дахів тепловозів. <i>Г. Г. Басов, О. М. Ткаченко, Н. А. Луспикаєва</i> .....	14
○ Досвід підвищення якості електродного дроту для високопродуктивного зварювання в активних захисних газах. <i>Ю. Лее, В. Зенк</i> .....	16
<b>Заготівельне виробництво</b>	
○ Вибір обладнання і способу різання металів. Підвищення ефективності кисневого різання. Частина 2. <i>М. М. Лілько</i> .....	20
<b>Технології і обладнання</b>	
○ Розробки Інституту електроніки Болгарської академії наук в галузі електронно-променевого зварювання. <i>Є. Колева, К. Вутова, П. Петров, Г. Младенов</i> .....	25
○ Електролітно-плазмова обробка поверхні зварювального дроту. Частина 1. <i>М. М. Вороний</i> .....	30
○ Нові види обладнання для термообробки зварних з'єднань електронагрівачами опору. <i>М. І. Мухранов, С. Ф. Колдеев, В. Н. Чушкин, І. П. Кочетков</i> .....	34
○ Машина нового покоління для термічного різання металів «Кристал-ТМ». <i>Є. Н. Верещяго, О. Ф. Просянов</i> .....	36
<b>Наші консультації</b> .....	38
<b>Охорона праці</b>	
○ Сучасні засоби місцевої вентиляції для зварювального виробництва. <i>О. Г. Левченко, Н. Ю. Агасьян</i> .....	40
<b>Підготовка кадрів</b>	
○ Учбовий посібник «Перенос металу і саморегулювання електричної дуги при зварюванні в захисних газах». <i>В. Є. Пономарьов, А. М. Сливинський</i> .....	43
● Зарубіжні аналоги вітчизняних марок конструкційних сталей .....	45
<b>Торговельний ряд</b> .....	47

## CONTENT

<b>News of technique and technologies</b> .....	4
<b>Production experience</b>	
○ Renovation of cast in block bed frame of conic crushers by welding. <i>V. D. Poznyakov, A. A. Gayvoronskiy, S. L. Zhdanov, Yu. V. Demchenko, P. A. Strizhak, A. V. Klapatyuk</i> .....	6
○ Gas thermal coating in solving of problems of railway transport. <i>S. V. Petrov</i> .....	10
○ Technology of assembly and welding of aluminum tops of diesel locomotives. <i>G. G. Basov, A. N. Tkachenko, N. A. Luspikaeva</i> .....	14
○ Experience of increasing of quality of electrode wire for high productive welding in active protective gases. <i>Yu. Lee, V. Zenk</i> .....	16
<b>Preparation production</b>	
○ Choice of equipment and manner of metal cutting. Increasing of effectiveness of oxygen cutting. Part 2. <i>M. M. Lil'ko</i> .....	20
<b>Technologies and equipment</b>	
○ Developments of Institute of electronics of Bulgarian academy of sciences in the field of electron beam welding. <i>E. Koleva, K. Vutova, P. Petrov, G. Mladenov</i> .....	25
○ Electrolytic-plasma treatment of surface of welding wire. Part 1. <i>N. M. Voroniy</i> .....	30
○ New types of equipment for thermal treatment of weld joints by electric resistant heaters. <i>M. I. Mukhranov, S. F. Koldeev, V. N. Chushkin, I. P. Kochetkov</i> .....	34
○ Machine of new generation for thermal cutting of metals «Crystal-TM». <i>E. N. Verechshago, O. F. Prosyanyov</i> .....	36
<b>Our consultations</b> .....	38
<b>Labor protection</b>	
○ Modern tools of local ventilation for welding production. <i>O. G. Levchenko, N. Yu. Agas'yan</i> .....	40
<b>Training</b>	
○ Educational aid «Transfer of metal and self regulation of electric arc during welding in protective gases». <i>V. E. Ponomarev, A. M. Slivinskiy</i> ..	43
● Foreign analogues of native types of structural steels .....	45
<b>Trade line</b> .....	47

# Сварщик

Технології  
Виробництво  
Сервіс



## 5 (39) 2004

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

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

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 3102 від 09.03.98

**Засновники:**

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

**Видавець:**

ДВП «Екотехнологія»

**Видання журналу підтримують:**

Товариство зварників України,  
Національний технічний університет  
України «КПІ»



Журнал видається за сприяння  
UNIDO

**Головний редактор**

К. А. Ющенко

**Заст. головного редактора**

Б. В. Юрлов, 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, А. М. Сливинський

**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. Розмишляєв, 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 44 268 3523, 227 6502**

**Факс**

**+380 44 227 6502**

**E-mail**

**welder@svitonline.com**

**URL**

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

**Представництво в Білорусі**

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

**Представництво в Росії**

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

**Представництво в Прибалтиці**

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 «Еверт-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. Представлені матеріали повинні бути надруковані із зазначеним адреси, телефону. 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 06.10.2004. Формат 60×84 1/8.  
Офсетний друк. Папір офсетний №1. Гарнітура  
PetersburgCTT. Ум. друк. арк. 5,0. Обл.-вид. арк. 5,2.  
Зам. № 06/10 від 06.10.2004. Тираж 3000 прим.  
Друк ТОВ «Людопринт Україна», 2004.  
01023 Київ, вул. Ш. Руставелі, 39–41, к. 1012–1014.  
Тел. (044) 220–0879, 227–4280.

© «Екотехнологія», «Сварщик», 2004

# УКАЗ

## ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

### Про відзначення державними нагородами України працівників Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України, м. Київ

За вагомий особистий внесок у розвиток науки, розробку і впровадження новітніх високоефективних технологій, зміцнення міжнародного авторитету вітчизняної наукової і інженерної школи у галузі зварювання постановляю:

#### **Нагородити орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня**

КУЧУКА-ЯЦЕНКА Сергія Івановича – *заступника директора, доктора технічних наук, академіка НАН України*

#### **Нагородити орденом «За заслуги» I ступеня**

ПОХОДНЮ Ігоря Костянтиновича – *завідувача відділу, академіка-секретаря Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України, доктора технічних наук, академіка НАН України*

#### **Нагородити орденом «За заслуги» III ступеня**

ЗАГРЕБЕЛЬНОГО Олександра Айзиковича – *заступника завідувача відділу*

КИСЕЛІВСЬКОГО Фелікса Миколайовича – *завідувача відділу, доктора технічних наук, професора*

КОВТУНЕНКА Віктора Олексійовича – *завідувача лабораторії*

ТРИГУБА Миколу Петровича – *завідувача відділу, доктора технічних наук*

ЦАРЮКА Анатолія Корнійовича – *завідувача відділу*

#### **Нагородити орденом княгині Ольги III ступеня**

ЛОКТЕВУ Вероніку Іванівну – *завідувача відділу*

#### **Нагородити медаллю «За працю і звитягу»**

ГОЛОВАТЕНКА Олексія Івановича – *електрозварювальника*

ГОРОШКА Миколу Валер'яновича – *фрезерувальника*

КОРЖА Миколу Михайловича – *слюсаря державного підприємства «Дослідний завод зварювальних матеріалів»*

#### **Присвоїти почесні звання:**

##### **«Заслужений діяч науки і техніки України»**

МАХНЕНКУ Володимирі Івановичу – *завідувачу відділу, докторові технічних наук, академіку НАН України*

МОВЧАНУ Борису Олексійовичу – *головному науковому співробітникові, докторові технічних наук, академіку НАН України*

НАЗАРЕНКУ Олегу Кузьмовичу – *завідувачу відділу, докторові технічних наук, члену-кореспонденту НАН України*

##### **«Заслужений машинобудівник України»**

КУЦАКУ Валерію Стефановичу – *заступникові директора*

Президент України  
м. Київ, 9 вересня 2004 року

Л. КУЧМА  
№ 1053/2004



## Сварка трением деталей кузова автомобиля

Mazda Motor Corp. представила новую технологию сварки, которая была использована при производстве спор-

Рис. 1. Схема процесса точечной сварки трением: 1, 2 — состыкованные пластины металла, подлежащие сварке; 3 — вращающийся сварочный инструмент; 4 — поджимной стержень

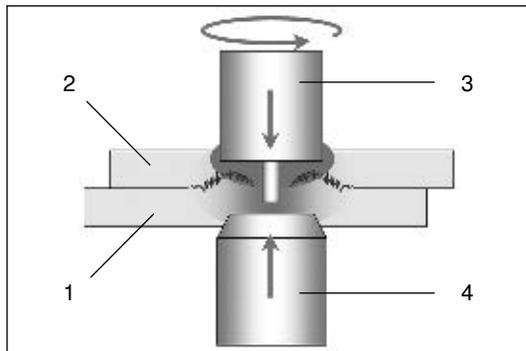


Рис. 2. Внешний вид сварного соединения на задней алюминиевой двери автомобиля Mazda RX-8

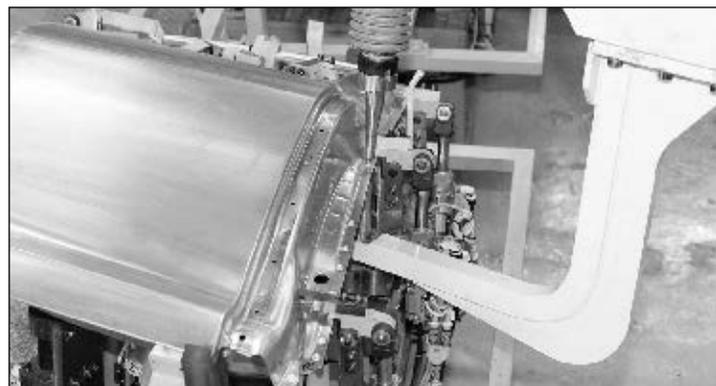
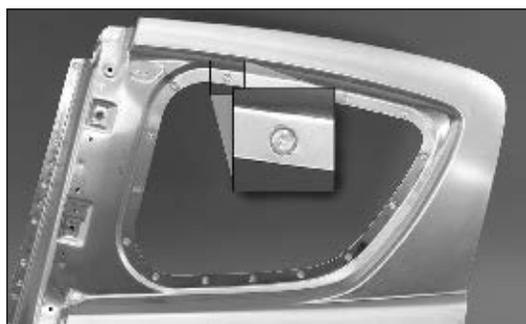


Рис. 3. Внешний вид оборудования для точечной сварки трением

тивного автомобиля марки Mazda RX-8. Этот автомобиль имеет алюминиевый кузов. В процессе изготовления задних дверей и капота автомобиля был использован не применяемый обычно метод контактной сварки — точечная сварка трением.

Для создания непрерывных соединений в этих деталях компания Mazda использует специальную головку для сварки трением. Данная головка захватывает заготовки с обеих сторон и прижимает вращающуюся головку (в виде стержня), которая нагревает металл трением, размягчает его, и в результате создается сварное соединение алюминиевых панелей.

Вследствие того, что электро- и теплопроводность алюминия выше, чем у стали, существуют технологические трудности при выполнении дуговой и контактной точечной сварки алюминия, которые не возникают при сварке трением.

Специалисты компании Mazda утверждают, что использование сварки трением снижает потребление электроэнергии на 99%. Такой метод сварки, в отличие от контактной точечной сварки, не требует использования смазочно-охлаждающей эмульсии, сжатого воздуха, для него не требуется большая сила тока. Более того, капиталовложения в оборудование для сварки трением на 40% ниже, чем на оборудование для контактной сварки алюминия.

Новый метод сварки не требует предварительной очистки рабочих поверхностей и не создает брызг и дыма.

Компания и в дальнейшем будет применять сварку трением, в том числе для изготовления других больших деталей кузова.

● #477

Росс Хэнкок, помощник редактора, «Welding Journal» (США)

Правление Международного фонда Foundation for Excellence in Business Practice (Швейцария) наградило ГВП «Экотехнология» Золотой медалью «За высокое качество в деловой практике».

Это признание безупречной репутации компании и лично руководителя, базирующееся на следующих критериях: высокий уровень корпоративных достижений; инновационная политика, использование современных высоких технологий; высокое качество производимой продукции и оказываемых услуг; образованный персонал, претворяющий высокие этические принципы в бизнесе; стабильный и постоянный экономический рост; удовлетворение запросов клиентов; политика, направленная на развитие экономики страны; развитие человеческих ресурсов.



## Изделия из титановых сплавов станут более прочными

Титановые сплавы как конструкционный материал широко применяются в промышленности благодаря высокой удельной прочности и коррозионной стойкости. Основным средством формирования их эксплуатационных свойств является термическая или химико-термическая обработка. Однако титановые сплавы при высоких температурах могут взаимодействовать с химически активными газами с дальнейшим образованием поверхностных пленок и газонасыщенных слоев с повышенной твердостью и хрупкостью. Поэтому при их обработке, с одной стороны, пытаются свести к минимуму или спрогнозировать отрицательные последствия высокотемпературного взаимодействия, а с другой — использовать эффекты взаимодействия для упрочнения поверхностных слоев, создания функциональных пленок и пр., осуществляя термообработку в вакууме и контролируемых газовых средах.

Программируя изменения температурно-временных и газодинамических параметров активной среды, можно управлять термодинамической ситуацией на границе металл—газ. Это в свою очередь позволяет управлять интенсивностью физико-химических процессов при высокотемпературном взаимодействии титановых сплавов с контролируруемыми газовыми средами и получать приповерхностный слой металла с регламентированными свойствами.

Во Львовском физико-механическом институте им. Г. Карпенко НАН Украины разработан ряд уникальных методик по предварительной нагрузке и ресурсному испытанию опытных образцов, создана гамма высокопродуктивных, многопозиционных стендов для определения характеристик сталей, сплавов и композиционных материалов на металлической основе в широком диапазоне температур. Сконструирована вакуумная шестипозиционная машина для кратковременных испытаний образцов при температурах до 1500 °С, двенадцатипозиционное устройство для испытаний металлов на длительную прочность в вакууме и инертных газах при температурах до 1500 °С до 10 тыс. ч, что обеспечивает высокую экономичность и абсолютную идентичность условий эксперимента для серийных образцов.

● #478

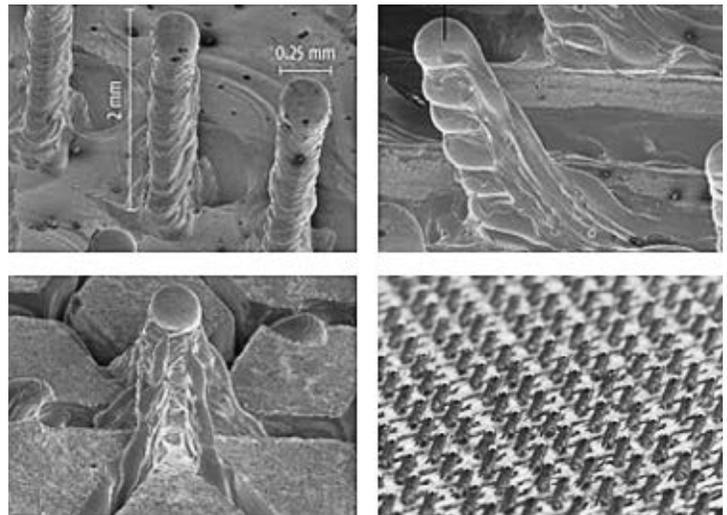
«Украина промышленная» ([www.ukrindustrial.com](http://www.ukrindustrial.com))

## Оригинальный способ соединения металлов

Британские ученые из Института сварки (Welding Institute), расположенного неподалеку от Кембриджа, разработали уникальную технологию соединения материалов, не имеющую на сегодняшний день аналогов.

Суть предложенной методики сводится к следующему. На поверхности помещенного в вакуум металла мощным электронным лучом выплавляется небольшой участок. Далее луч смещается в сторону, а расплавленный материал под воздействием сил поверхностного натяжения приподнимается вверх, образуя небольшой выступ. Дальнейший нагрев соседних участков приводит к тому, что испаряющийся с них металл оседает на уже сформированном ранее выступе. Таким образом, перемещая электронный луч, можно создать крошечный стерженек нужной высоты.

В процессе исследований ученым под руководством Брюса Дэнса удалось «вырастить» на пластинах из нержавеющей стали, алюминия и титана массивы, состоящие из множества отдельных стерженьков. При этом скорость процесса так велика, что на формирование тысяч бугорков



высотой до 2 мм и диаметром 0,2 мм уходит всего десять секунд. В перспективе методика может применяться и в создании композитных материалов.

Наиболее интересно, что выращенные по предложенной технологии стержни обеспечивают невероятно прочное сцепление. В частности, если стержни на двух пластинах «обернуть» тончайшими углеродными волокнами, а затем прижать эти пластины друг к другу, то соединение по прочности превзойдет любое клеевое крепление. Разработкой британских ученых уже заинтересовались около двадцати крупных компаний автомобильной и аэрокосмической промышленности, сообщает New Scientist.

● #479

В. Парамонов, «Компьюлента» ([www.compulenta.ru](http://www.compulenta.ru))



# Восстановление цельнолитых станин конусных дробилок сваркой

*В. Д. Позняков, А. А. Гайворонский, С. Л. Жданов, Ю. В. Демченко, кандидаты технических наук, П. А. Стрижак, А. В. Клапатюк, инженеры, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

Для измельчения железной руды на горно-обогатительных комбинатах Украины, России и других стран СНГ используют конусные дробилки крупного, среднего и мелкого дробления типа ККД, КСД, КМД. Основными их несущими элементами являются станина, опорное кольцо, дробящий конус и чаша массой от 30 до 40 т. Общая масса дробилок достигает 500 т. Один из наиболее нагруженных элементов конструкции — станина (рис. 1). Цельнолитые корпуса станин дробилок КСД и КМД изготовлены из стали 25Л, а ККД — из стали 35Л и рассчитаны на эксплуатацию в течение 15 лет. Для защиты от изнашивания внутренние поверхности станины футеруют броневыми плитами из высокомарганцевой стали 110Г13Л.

Проведенный анализ технической документации и осмотр остановленного на ремонт дробильного оборудования, работающего на ДОФ ОАО «Карельский окатыш», показали, что срок эксплуатации большинства конструкций превысил установленный. В процессе длительной работы образовались трещины в местах сопряжения ребер жесткости со стенкой и «стаканом» станины (рис. 2, а), износились боковые стенки (рис. 2, б), возникли выработки в ее трубных элементах (рис. 2, в), на торцах которых появилось большое количество микротрещин. Характерные места и виды повреждений станин дробилок схематично показаны на рис. 3 и 4. Их образование обусловлено комплексным воздействием на металл эксплуатационных циклических и динамических нагрузок в сочетании с абразивным изнашиванием. Начало зарождения трещин и время их развития определить достаточно сложно. В большинстве проанализированных случаев они возникали и развивались от внутренних дефектов металла. Однако можно предположить, что



Рис. 1. Корпус станины дробилки ККД

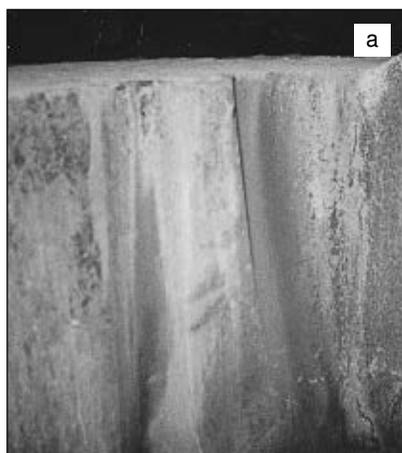


Рис. 2. Характерные повреждения станин дробилок: а — трещина на боковой поверхности станины; б — износ на боковой поверхности станины; в — сквозная выработка в трубном элементе станины

Таблица 1. Химический состав сталей 25Л и 35Л (ГОСТ 977-75)

Сталь	Содержание легирующих элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
Сталь 25Л (КСД, КМД)	0,22–0,30	0,35–0,90	0,20–0,52	≤0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,045	≤0,04
Сталь 35Л (ККД)	0,32–0,40	0,40–0,90	0,20–0,52	≤0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,045	≤0,04

основной причиной их развития является накопление металлом усталостных повреждений после выработки изделием нормативного ресурса. Учитывая глубину трещин до 100 мм при общей толщине металла 120 мм (в некоторых случаях они были сквозными), а также их протяженность (до 800 мм), состояние конструкций оценено как критическое.

Для получения информации о реальном состоянии металла станин был выполнен химический анализ и проведены металлографические исследования. Состояние литья после длительной эксплуатации оценивали по результатам исследования проб металла, взятых из подверженных разрушению участков станин дробилок. Одну часть проб использовали для определения химического состава, а другую – для приготовления шлифов и проведения металлографических исследований. Химический состав металла анализировали на установке «Спектравак-1000». Подтвердилось, что металл, из которого изготовлены станины дробилок КСД и КМД, соответствует стали 25Л (содержание углерода до 0,3%), ККД – стали 35Л (содержание углерода до 0,4%) (табл. 1).

Структуру и неметаллические включения исследовали на микроскопе «Неофот-32». Твердость по Виккерсу измеряли на твердомере модели 2137-ТУ при нагрузке 49 Н, а микротвердость – на микротвердомере М-400 фирмы ЛЕСО при нагрузке 0,49 Н.

Анализ полированных шлифов позволил выявить характерные для литого металла крупные единичные включения, а также скопления более мелких включений, которые идентифицированы как железомарганцевые сульфиды с твердостью  $HV_{0,01}=1890...2010$  МПа.

Изучение микроструктуры литого металла после травления микрошлифов в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты показало, что она состоит из феррито-перлитной смеси с твердостью  $HV_5=1660...1750$  МПа с размерами зерен, соответствующими 1–2-му баллам по ГОСТ 5639. При детальном исследовании металла, непосредственно прилегающего к поверхности раздела, возник-

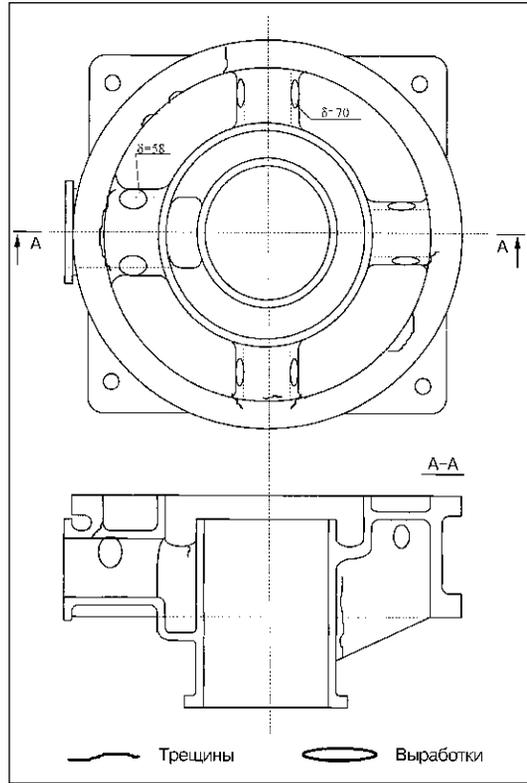


Рис. 3. Схема станин дробилок КСД и КМД с характерными повреждениями

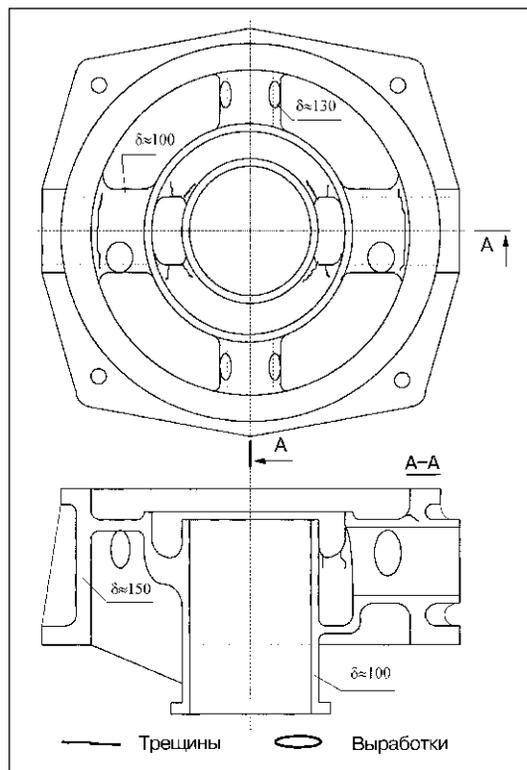


Рис. 4. Схема станины дробилки ККД с характерными повреждениями

шего в результате образования трещин, установлено, что эти участки обезуглерожены и состоят из феррита, который имеет твердость  $HV_5=1180\text{...}1300$  МПа. Характер распространения трещин свидетельствует о том, что растрескивание металла проходило по границам первичных форм кристаллизации, где наблюдаются скопления неметаллических включений.

Таким образом, проведенные исследования выявили ряд особенностей, которые следовало учитывать при разработке технологических процессов ремонтной сварки для восстановления станин дробилок:

- повышенное содержание углерода в металле;
- химическую и структурную неоднородность литого металла;
- наличие участков с микро- и макротрещинами;
- наличие участков с абразивным износом.

Повышенное содержание углерода в сталях 25Л и 35Л и большая толщина элементов литых конструкций предопределяют значительные трудности при их сварке: пониженная стойкость металла шва к образованию кристаллизационных трещин; формирование при охлаждении закалочных структур в металле ЗТВ, что в свою очередь может привести к зарождению и развитию холодных трещин в соединении. Чтобы исключить возможность образования пере-

численных дефектов в сварных соединениях сталей с повышенным содержанием углерода, сварку рекомендуют выполнять с предварительным подогревом до  $200\text{ }^\circ\text{C}$  и выше. Однако, учитывая значительные габариты изделий и толщину металла, реализовать на практике их нагрев до указанных температур не представлялось возможным. Следовало изыскать иные нестандартные подходы к решению этой проблемы.

Исследования показали, что исключить образование кристаллизационных и холодных трещин в подлежащих ремонту сварных соединениях возможно и при более низком подогреве. Для этого необходимо ограничивать содержание углерода в металле шва и снижать уровень остаточных растягивающих напряжений в сварных соединениях.

Проанализировав возможные пути насыщения металла швов углеродом, было решено для удаления трещин и разделки кромок использовать специализированные электроды, например, АНР-2 диаметром 4,0 мм, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона, и (или) подобные им, а сварку выполнять на ограниченных режимах материалами, обеспечивающими высокую пластичность наплавленного металла. Это позволило, с одной стороны, уменьшить долю участия основного высокоуглеродистого металла в шве, а с другой — снизить уровень остаточных напряжений в свариваем-

**Таблица 2. Химический состав металла, наплавленного электродами УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55 (ГОСТ 9467-75)**

Марка электрода	Содержание легирующих элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
УОНИ-13/45	0,08-0,11	0,45-0,80	0,20-0,30	—	—	—	≤0,030	≤0,035
УОНИ-13/55	0,08-0,11	0,80-1,20	0,20-0,50	—	—	—	≤0,030	≤0,035

**Таблица 3. Механические свойства сталей 25Л и 35Л (ГОСТ 977-75) и металла, наплавленного электродами УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55**

Материал	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	$KCU_{+20}$ , Дж/см <sup>2</sup>
Сталь 25Л (нормализация $900\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе), толщина до 100 мм	≥240	≥450	≥19	≥30	≥40
Сталь 35Л (нормализация $880\text{ }^\circ\text{C}$ , отпуск $620\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе), толщина до 200 мм	≥280	≥500	≥15	≥20	≥35
УОНИ-13/45 по ГОСТ 9467-75	—	≥420	≥22	—	≥140
Типичные УОНИ-13/45	360	460	26	65	220
УОНИ-13/55 по ГОСТ 9467-75	—	≥500	≥16	—	≥60
Типичные УОНИ-13/55	420	530	24	62	200

мых элементах конструкции. Весьма эффективным оказалось регулирование сварочных напряжений посредством выбора определенной последовательности заполнения разделки кромок и использования специальных видов обработки швов при сварке. В результате этих подходов общий уровень остаточных сварочных напряжений в соединениях снизился в 2–2,5 раза.

Для восстановления корпусных станин были выбраны электроды марки УОНИ–13/45 и УОНИ–13/55, позволяющие обеспечить механические свойства металла шва, в наибольшей степени близкие свойствам основного металла с достаточно высокой пластичностью. Химический состав и механические свойства металла, наплавленного этими электродами, приведены соответственно в табл. 2 и 3.

По результатам исследований были разработаны технические решения по восстановлению станин дробилок, а также технология ремонта. Технологический процесс ремонта включал следующие операции:

- определение методами неразрушающего контроля протяженности и глубины залегания трещин;
- удаление трещин и разделка кромок под сварку;
- контроль качества подготовленных для сварки поверхностей соединяемого металла;
- предварительный подогрев;
- сварка соединений;
- работы по снижению уровня остаточных напряжений в сварных соединениях;
- снятие усиления металла шва с обеспечением плавного его перехода к основному металлу;
- контроль качества наплавленного металла и соединения в целом.

В соответствии с разработанными техническими решениями и при авторском надзоре специалистами НТК ИЭС им. Е. О. Патона на ДОФ ОАО «Карельский окатыш» был выполнен восстановительный ремонт восьми станин дробилок ККД, КСД и КМД. В настоящее время их эксплуатируют в проектом режиме. Затраты на восстановление дробилок не превысили 25% стоимости новых станин. Для сварочных работ использовали электроды марки УОНИ–13/45 и УОНИ–13/55 производства электродного завода ЗАО «ЭЛЗ» (С.-Петербург), а для разделки — электроды ОЗР производства ОАО «Спецэлектрод» (Москва).

● #480



## ПОЗДРАВЛЯЕМ Каховский завод электросварочного оборудования с 75-летием!

*Сегодня Открытое акционерное общество «Каховский завод электросварочного оборудования» — передовое машиностроительное предприятие в Украине и странах СНГ. Оно выпускает высокоэффективное электросварочное оборудование, которое эксплуатируется в 76 странах мира. В области производства оборудования для контактной сварки рельсов и труб завод является мировым лидером.*

*В широкой гамме выпускаемой продукции — автоматы для дуговой сварки и наплавки, полуавтоматы для дуговой сварки, машины для контактной стыковой сварки трубопроводов, машины для контактной стыковой сварки рельсов, машины для контактной точечной и шовной сварки и другое оборудование.*

*Многие годы ОАО «КЗЭСО» сотрудничает с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, что позволяет на высоком техническом уровне разрабатывать технологии сварки, изготавливать уникальное специализированное электросварочное оборудование и предоставлять широкий спектр услуг: пуско-наладочные работы, гарантийное и послегарантийное обслуживание, ремонт электросварочного оборудования.*

*С 1990 г. Каховский завод электросварочного оборудования возглавляет Ярослав Иванович Микитин, талантливый руководитель и инженер, заслуги которого высоко оценены государством и отмечены наградами.*

*В настоящее время предприятие располагает большими материальными и трудовыми ресурсами — компетентным и высококвалифицированным персоналом, современным оборудованием и технологиями, сырьем и материалами. В этом заслуга и руководства завода, и всего коллектива.*

*Занять лидирующие позиции в своей отрасли нелегко, а удержаться на высоком уровне и постоянно поднимать планку еще сложнее. Но за плечами у завода 75-летняя история, славные и трудные периоды становления предприятия, труд нескольких поколений заводчан. Все это и определяет успех, и является крепким фундаментом для дальнейшего роста.*

*Коллектив КЗЭСО может гордиться своим предприятием и тем, что марку завода хорошо знают в стране и за ее пределами.*

### Примите наши поздравления и наилучшие пожелания!

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



# Газотермические покрытия в решении проблем железнодорожного транспорта

*С. В. Петров, д-р техн. наук, Институт газа НАН Украины*

Газотермические покрытия давно заняли свое место в космической и авиационной технике, энергетике, двигателестроении и других высокотехнологичных отраслях промышленности. В последние годы в странах СНГ интерес к этим покрытиям, в том числе со стороны предприятий, обслуживающих железные дороги, возрос. Причина такого интереса — необходимость оздоровления эксплуатационного парка подвижного состава, повышения эффективности его использования и укрепления ремонтной базы.

Рекордным по объему железнодорожных перевозок за весь период независимости Украины был 1992 г. Потом был колоссальный спад. В результате резкого снижения объема перевозок десятки тысяч поездов были отставлены на запасные пути (в Украине 180, в России более 1000 локомотивов), а поставки новых локомотивов и вагонов были доведены до минимума. В итоге, несмотря на сохранение достаточного количества подвижного состава, его возраст и техническое состояние трудно назвать удовлетворительным. По оценкам МПС России и Укрзализныци, износ активной части основных фондов — локомотивов и вагонов — по условиям обеспечения безопасности движения и бесперебойной работы железных дорог достиг предельного уровня. Например, для тепловозов и пассажирских электровозов физический ресурс исчерпан на 80%, на комбинате «Криворожсталь» (собственный парк — 206 тепловозов и 3213 вагонов), как и на других промышленных предприятиях страны, более чем на 50% подвижной состав отработал амортизационные сроки и требует замены.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция роста грузооборота и перевозок. В русле мировых тенденций будут увеличиваться средняя скорость и грузонапряженность. При протяженности железнодорожных путей в Украине 22 тыс. км ежегодно ремонтируют более тысячи километров колеи. Ремонт одного километра колеи сейчас обходится в 750 тыс. грн.

Сегодня приобрести требуемое количество новых локомотивов и вагонов нереально. Работу ведут в двух направлениях: обновление подвижного состава и продление срока службы уже эксплуатируемой техники. Минтранс принял отраслевую программу развития подвижного состава, согласно которой запланировано приобрести для Укрзализныци в 2004 г. — 1436 грузовых вагонов, в 2005 г. — 3991 грузовой вагон. Обновление идет, но медленно, и не может компенсировать старение парка вагонов, поэтому приоритет за вторым направлением.

При ограниченных инвестиционных возможностях и неподготовленности промышленности планируют в ближайшие годы направлять средства прежде всего на продление на 15–20 лет срока службы имеющихся локомотивов и вагонов за счет их капитального ремонта и модернизации. Благодаря продлению срока службы подвижного состава ежегодно экономится около 600 млн. грн., которые пришлось бы тратить на закупку новых локомотивов. Если новый локомотив стоит 13 млн. грн., то его ремонт с продлением срока эксплуатации на 10–15 лет обходится в 1,2–2,5 млн. грн.

В условиях быстрого наращивания объема перевозок и увеличения средней скорости движения возрастает количество отказов и отцепок вагонов. На текущий ремонт вагоны поступают раньше установленных гарантийных сроков.

Для решения проблемы повышения надежности и продления сроков безотказной работы железнодорожной техники необходимо повысить качество ее ремонта. Основными деталями и узлами, влияющими на долговечность, являются колеса (гребни), рельсы (стирание боковой грани в кривых малого радиуса) и стрелочные устройства, экипажные части грузового и пассажирского вагонов (детали тележки), детали двигателя (коленчатый вал и втулки цилиндров), балансирные и рессорные подвески локомотива, ударно-цепные

устройства подвижного состава. Своевременный ремонт этих деталей снизит эксплуатационные расходы.

Газотермическое напыление защитных покрытий можно отнести к инновационным технологиям, которые радикально меняют устоявшиеся представления. Есть много примеров, когда такие покрытия в десятки раз повышают срок службы деталей и изделий, работающих в экстремальных условиях, причем затраты при этом относительно невысоки. Газотермическое напыление защитных покрытий как родственный процесс сварочным технологиям сегодня в полной мере можно отнести к перспективным в области транспортного материаловедения. На всех ремонтных предприятиях Европы, США, Канады, Японии и других развитых стран большой процент составляют технологии газотермического напыления.

Для упрочнения гребня колеса и боковой грани рельса наносят износостойкое покрытие из самофлюсующегося сплава. Шведская фирма DUROC использует лазер, Институт путей сообщения Дрездена — индукционный нагрев, российский ВНИИЖТ — ацетиленокислородное или пропанокислородное пламя. По сути это процессы порошкового напыления—наплавки, которые дают примерно одинаковый результат. Выбор процесса определяют требуемая производительность, автоматизация, точность, себестоимость покрытия, инвестиции. При массовом производстве следует ожидать, что предпочтение получит высокопроизводительное плазменное напыление с последующим оплавлением. Эксплуатационные испытания показали, что такие покрытия (толщиной 1 мм и шириной 25 мм) пригодны для упрочнения гребней колес разных типов: от трамвайных до локомотивных, которые работают с большими нагрузками. Износ снижается в пять раз. Хотя покрытие можно наносить многократно, оно не может полностью заменить проточку колес. Сегодня это единственная возможность отремонтировать рельсы бесстыкового и звеньевое пути с местным повреждением длиной до 200 мм и глубиной до 8 мм в средней части.

Впервые способ газопорошкового напыления—наплавки рельсов был использован швейцарской фирмой «Кастолин—Эвтектик» и внедрен на железных дорогах Евро-

пы и Великобритании. Основное достоинство способа заключается в том, что при нанесении покрытия полностью исключается возможность образования в зоне термического влияния хрупких структур. В результате сохраняется структура сорбита закалки и высокие механические свойства рельсов. При реализации этой технологии отпадает необходимость ежегодной замены десятков тысяч рельсов, поврежденных выкрашиваниями, пробуксовкой и другими дефектами. Эффективность применения газопорошкового напыления—наплавки вместо вырезки дефектного участка высока и достигает 400 дол. США за одно отремонтированное место.

По данным ВНИИЖТ, в течение последних 20 лет 45% случаев преждевременных отцепок грузовых вагонов связаны с ослаблением резьбы гайки М110 на оси колесной пары. Здесь восстановление напылением может быть более эффективным, чем наплавка в связи с повышенной прочностью материала покрытия и отсутствием термического влияния на материал оси.

В вагонных и локомотивных депо, на вагоно- и локомотиворемонтных заводах имеется большое количество осей колесных пар подвижного состава с предельно заниженными общими размерами. Ежегодный выход таких маломерных, но практически годных осей с изношенными буксовыми шейками исчисляется на различных дорогах от сотен до тысяч. Газотермическое напыление — пожалуй, единственная подходящая технология ремонта таких осей. Фирма «Wilhelm Schmidt» (Германия) наносит на подступичные части осей газопламенным способом молибденовое покрытие, ВНИИЖТ рекомендует электродуговое напыление стальной проволоки типа 30ХГСА. Исходя из требований к покрытию, способ сверхзвукового электродугового напыления является наиболее подходящим для этих целей. Он обеспечивает наиболее высокую прочность и плотность покрытия.

Центр транспортных технологий ассоциации американских железных дорог (AAR) провел исследования газотермических покрытий для снижения трения в зоне контакта колеса с рельсом. В качестве твердой смазки использовали сталенейлоновое покрытие толщиной примерно 1 мм, полученное плазменным напылением.

Результаты стендовых, лабораторных и ходовых испытаний подтвердили первоначальные предположения: благодаря покрытию снизился коэффициент трения (до 0,1) со всеми вытекающими из этого благоприятными последствиями; в условиях трения качения с проскальзыванием (соответствующих реальным) срок службы покрытия по пропуску груза составляет 2 млн. т брутто. Согласно исследованиям, проведенным автором, при использовании новой техники сверхзвукового напыления срок службы покрытия увеличится в несколько раз благодаря улучшению его качества. Оценочная себестоимость покрытия примерно 2,5 долл. США за погонный метр. В процессе напыления покрытие головка рельса прогреется до температуры менее 100 °С, т. е. никакого влияния на механические свойства оказано не будет. Работоспособность рельса будет определяться только накоплением усталости металла.

Фирма «Sulzer-Metco» (Германское отделение) разработала концепцию износостойких покрытий с низким коэффициентом

трения для защиты скользящих пластин стрелочных переводов. Композиционное покрытие на основе карбидов вольфрама (хрома) наносят плазменным или сверхзвуковым газопламенным напылением. Эксплуатационные испытания показали более чем десятикратное снижение износа.

Сегодня можно утверждать, что проблема надежного и экономически эффективного восстановительного ремонта с упрочнением коленчатого вала и втулки цилиндра, а также колец мощных локомотивных дизелей решается в рамках одного способа — сверхзвуковой электродуговой металлизации. Восстановление тяжело нагруженных коленчатых валов локомотивных дизелей стало возможным благодаря созданию аппаратуры сверхзвуковой электродуговой металлизации и специальной порошковой проволоки. Их применение позволяет получить принципиально новое покрытие с достаточным запасом механической прочности и высокими износостойкостью и антизадирными свойствами. Организовано пять участков по восстановлению локомотивных коленчатых валов дизеля 12VFE и валов меньших размеров, в том числе в локомотивном депо Иловайск (рис. 1, 2). На этих участках в течение 8 лет восстановлено более 300 валов. Все они находятся в эксплуатации, ни одного случая отказа не зафиксировано, а ресурс восстановленных коленчатых валов уже вдвое превысил ресурс новых. Успех практической реализации технологии в широком масштабе дает все основания утверждать, что таким же образом могут быть восстановлены и упрочнены коленчатые валы более мощных дизелей типа 5Д49.

Проведенные эксплуатационные испытания втулки цилиндра показали высокую экономическую и техническую эффективность восстановления с упрочнением: восстановленные втулки изнашиваются меньше, чем заводские, и значительно лучше выдерживают экстремальные и аварийные ситуации. Например, обрыв шатуна повреждает зеркало цилиндра втулки основного материала, а на покрытии следов практически не остается. Аналогичную картину наблюдают на восстановленных коленчатых валах: прекращение подачи масла приводит к задиру поверхности шейки из основного материала (не восстановленного), а соседняя поверхность с покрытием остается практически нетронутой. Это происходит благодаря использованию эффекта

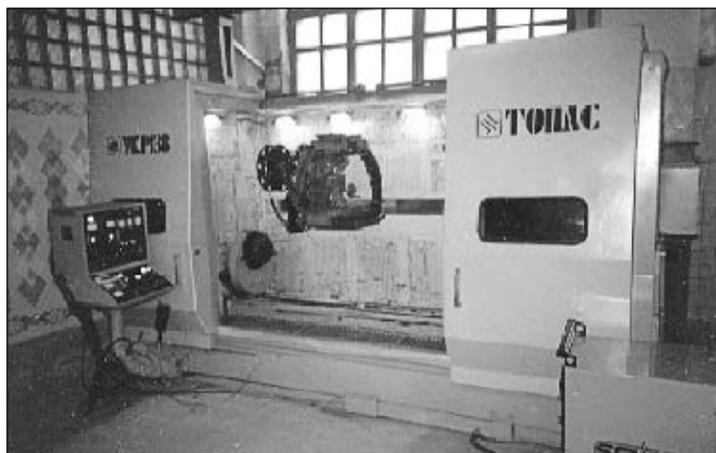


Рис. 1. Полуавтомат для восстановления коленчатых валов дизеля 12VFE

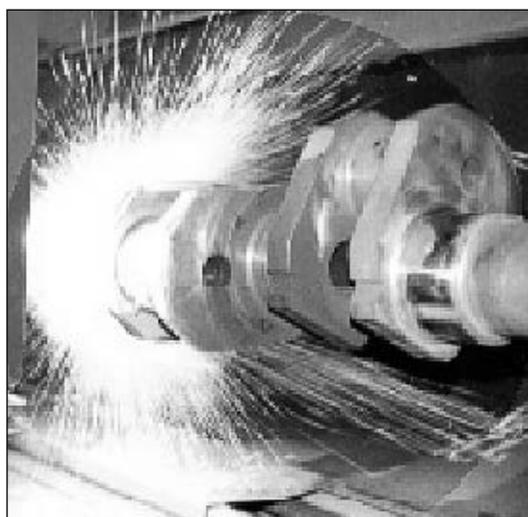


Рис. 2. Процесс напыления покрытия на изношенную шейку коленчатого вала

самосмазывания. Технология восстановления с упрочнением способом сверхзвуковой электродуговой металлизации проще плазменной, а качество покрытия выше. Примечательно, что в этом случае отпадает необходимость в фосфатации поверхности, поскольку покрытие по своей природе уже имеет маслоудерживающий рельеф. Проверенными также являются технологии упрочнения клапанов, нанесения каталитического покрытия на днище поршня и др.

В результате анализа, выполненного ВНИИЖТ и ПКБ ЦТ (Москва), установлена номенклатура деталей тепловозов, электровозов, электро- и дизель-поездов, которые можно восстанавливать напылением и упрочняющей наплавкой. В ней свыше 800 наименований. Ремонт этих деталей позволит существенно сократить потребность в запасных частях.

Параметры тележки грузового вагона напрямую связаны с износом гребней колесных пар, боковым износом рельсов, а следовательно и безопасностью движения. Случайные колебания кузова с большими амплитудами, обусловленными повышенным износом и зазорами в узлах опирания кузова на тележки и в рессорных комплектах, ответственны за сход с рельсов. Украинские ученые ДИИТа даже ввели термин «шальные тележки» из-за их влияния на безопасность движения. Среди множества причин износа главной считают прирост динамической нагрузки грузовых вагонов. Увеличение износа колеса и рельса — это результат действия чрезмерных горизонтальных поперечных сил, воспринимаемых рельсом от колес подвижного состава. По данным МПС России, более 50% грузовых вагонов имеют сверхнормативный износ деталей опорной системы кузова. При движении могут возникать моменты сил поворота, достаточные для снятия гребнями колес стружки с боковой рабочей грани головки рельса. Здесь средства и усилия сосредотачивают в двух направлениях: модернизация тележки и восстановительный ремонт изношенных, но еще пригодных к эксплуатации деталей. В основном это трущиеся поверхности узла «пятник—подпятник», опорных скользунов, корпуса буксы, наклонные плоскости надрессорной балки, опорные поверхности боковой рамы тележки, подвесок тормозных башмаков. При восстановительном ремонте наибольший объем работ выполняют с использованием сварочно-наплавочных технологий. В Укра-

ине по заданию Укрзалізничці адаптацію цих технологій применительно к ремонту грузовых, пассажирских вагонов и контейнеров выполняет ПКТБ ЦВ.

При восстановительной наплавке масса наносимого металла равна 0,5–6% массы ремонтируемых деталей. При нормативном износе подпятникового узла 3 мм в ремонт поступают детали с износом 10 мм и более. Как правило, после наплавки необходима последующая механическая обработка, а повышение износостойкости обычно обеспечивают за счет ухудшения усталостной прочности.

Сложившуюся ситуацию можно кардинально изменить при правильном сочетании сварочно-наплавочных технологий восстановления и восстановления-упрочнения с технологиями упрочнения-восстановления с помощью напыления. По своей природе все технологии напыления сводятся к нанесению покрытия толщиной допустимого износа с требуемым набором свойств, и обеспечивающих повышенную усталостную прочность детали. Например, проблема узла пятник—подпятник может быть практически снята нанесением композиционного покрытия из твердых карбидов в «мягкой» матрице методом сверхзвукового газопламенного или плазменного напыления с последующим оплавлением. Механической обработки покрытия не требуется, поскольку технология позволяет сразу обеспечить необходимые допуски. Исходя из опыта применения таких покрытий, износ уменьшается в десятки раз. Причем покрытие можно наносить многократно. Инвестиции в реализацию технологий напыления несколько выше по сравнению с инвестициями в реализацию сварочно-наплавочных технологий. Однако это оправданно. Конечной целью всех мероприятий по совершенствованию узлов трения подвижного состава является достижение состояния, когда срок выработки ресурса детали по усталостной прочности совпадает со сроком ее механического износа. Следовательно, напыленные покрытия можно успешно использовать как при производстве новых, так и при ремонте побывавших в эксплуатации деталей.

Третья по значимости проблема подвижного состава — низкий ресурс элементов автосцепного устройства — пожалуй, наиболее проста для технологии упрочнения газопорошковым напылением-наплавкой. На изношенную поверхность

(Окончание  
на стр. 19)

# Технология сборки и сварки алюминиевых крыш тепловозов

Г. Г. Басов, канд. техн. наук, А. Н. Ткаченко, Н. А. Лусликаева, инженеры, ОАО «ХК «Лугансктепловоз»

На ОАО «ХК «Лугансктепловоз» освоено выпуск новых тепловозов ТЭ114И для экспортных поставок. Магистральный тепловоз ТЭ114И мощностью 1933 кВт (2630 л. с.), с электрической передачей переменного и постоянного тока предназначен для вождения грузовых и пассажирских составов в районах с тропическим климатом и высокой запыленностью воздуха, на железных дорогах с шириной колеи 1435 мм. Запас топлива на тепловозе обеспечивает пробег без дозаправки на расстояние 1000 км.

Тепловоз односекционный с двумя кабинами. Им можно управлять дистанционно с пульта управления ведущего локомотива.

Кузов с рамой представляют собой единую цельносварную несущую конструкцию, элементы которой воспринимают любые возможные при эксплуатации нагрузки. Рама состоит из продольных обносных балок коробчатого сечения и поперечных связей. На средней части рамы установлен топливный бак с отсеками для аккумуляторных батарей.

Тележки тепловоза трехосные с односторонним расположением тяговых двигателей, обращенных подвеской к середине тепловоза. Подвешены тележки на одноступенчатых рессорах и имеют бесчелюст-

ные буксы. Рама тележки состоит из двух боковин и четырех междурамных креплений. Две поперечные балки прямоугольного сечения соединены между собой сварной шкворневой балкой коробчатого сечения. К трем междурамным креплениям приварены литые кронштейны для опор электродвигателей. Снизу к каждой боковине приварены кронштейны для крепления буксовых поводков.

Крыша состоит из отдельных съемных секций (над генератором, выпрямительной установкой и дизелем), что обеспечивает установку и демонтаж дизель-генератора и другого тяжеловесного оборудования.

В процессе создания данного тепловоза были проведены исследования и анализ технологий изготовления подобной техники родственными предприятиями, на основании которых был сделан вывод о том, что крыши тепловозов традиционно изготавливают стальными без разделения на отдельные подузлы. Применяют ручную дуговую сварку плавящимся электродом или механизированную сварку в среде защитных газов. Сварку выполняют сплошными, прерывистыми и пробковыми швами.

С целью уменьшения массы кузова, снижения нагрузки на ось и, следовательно, увеличения скорости тепловоза на ОАО «ХК «Лугансктепловоз» разработана конструкция секций крыш из алюминомангниевых сплавов и технология их изготовления. Металлоконструкция крыши состоит из гнутых алюминиевых профилей (уголки, швеллеры, балки и др.) толщиной 3 мм и листов алюминиевого сплава марки АМгЗ толщиной 2 мм, имеющего следующий химический состав, %:

Al	98,8
Cu	0,1
Mg	3,2–3,8
Mn	0,3–0,6
Zn	0,2
Cl	0,5
Si	0,5–0,8

При изготовлении опытных образцов алюминиевых крыш после сварки сплош-

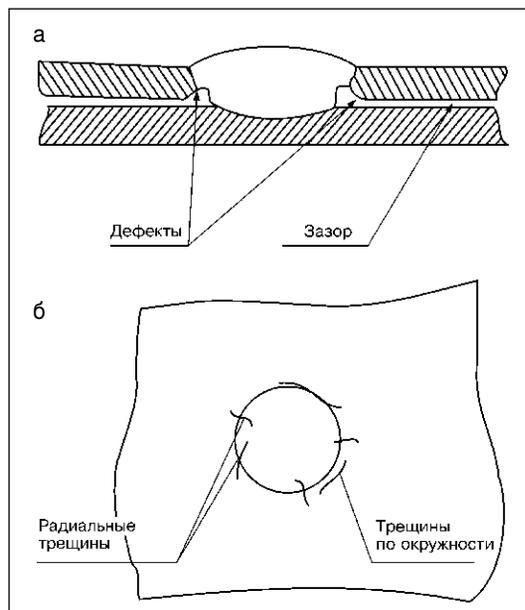


Рис. 1. Пробковый шов: а — поперечное сечение сварной точки пробкового шва; б — схема расположения трещин на пробковом сварном шве

ными и пробковыми швами возникли дефекты (серповидность, продольные и поперечные прогибы, повлекшие за собой изменение геометрии узла, появление хлопунгов, непрямолинейности и др.), значения которых превышали допустимые (2 мм на 1 м изделия). Качественное сварное соединение с использованием пробковых сварных швов не удалось получить также из-за сложности прижатия обшивки к каркасу (рис. 1, а). Как видно из рисунка, в сварных точках между листами имеются подрезы, которые ухудшают качество сварного соединения и являются концентраторами напряжений, что недопустимо при динамических знакопеременных нагрузках. По краям сварных точек зачастую появлялись трещины, не позволяющие получить герметичное соединение (рис. 1, б).

Деформации крыши, возникающие после ее сварки сплошными, прерывистыми и пробковыми швами, показаны на графике (рис. 2). В процессе измерения продольных прогибов за нулевую точку были приняты торцы обшивки крыши.

На графике видно, что наибольшие деформации находятся в верхней части боковых поверхностей секции крыши. Поэтому было принято решение об изменении конструкции и технологии изготовления крыши. Конструкция была разбита на более технологичные отдельные узлы — две панели, три арки, крышка люка и др., а также применена поузловая сборка секций крыши, важным элементом которой является отдельная сборка, сварка и правка боковых панелей. Это позволило значительно улучшить качество изготовления каркасов крыш и уменьшить цикл их сборки и сварки (рис. 3). Кроме того, вместо гнутых профилей собственного производства в ОАО «ХК «Лугансктепловоз» применили профили постоянного сечения (ГОСТ 4784–74), изготавливаемые КП «Киевский завод алюминиевых строительных конструкций». Сварные швы крепления обшивки крыши к элементам каркаса были заменены на гидронепроницаемые заклепки 4,8×RNA3STTS48110, дополнительно к которым использовали клей-шпатлевку Polyurethane–50FC (рис. 4). Заклепочное соединение не дает деформаций и не имеет усиления, которое затем необходимо убирать.

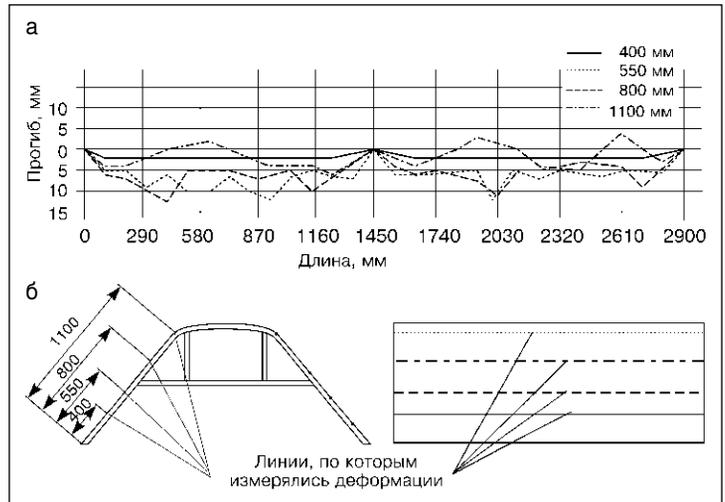


Рис. 2. Деформации крыши: а — график деформаций крыши; б — схема измерения деформаций

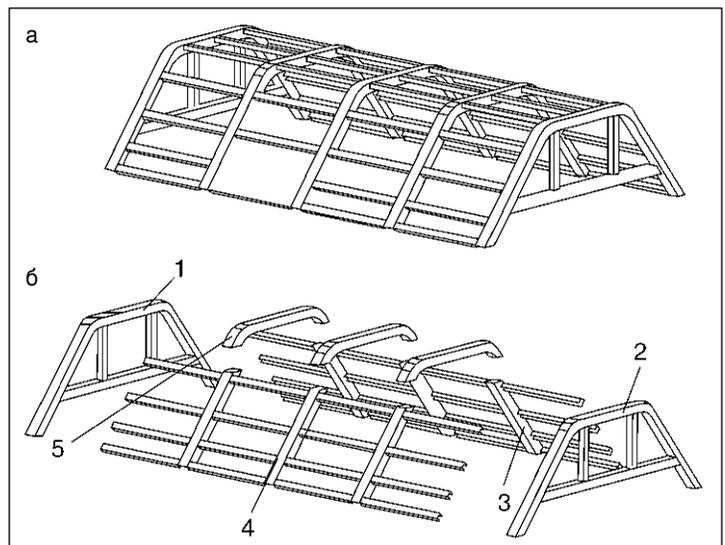


Рис. 3. Схема крыши тепловоза: а — собранный каркас крыши; б — схема разбивки на технологические узлы (1, 2 — большие арки; 3, 4 — боковые панели; 5 — малые арки)

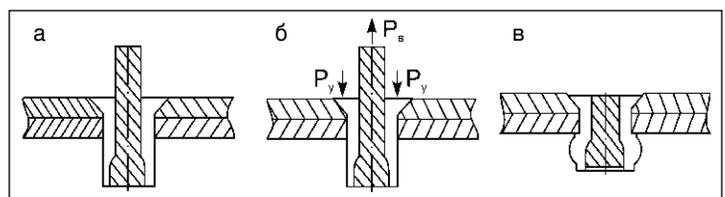


Рис. 4. Схема установки односторонних заклепок: а — заклепка, вставленная в отверстие; б — схема процесса клепки ( $P_b$  — усилие вытягивания стержня,  $P_y$  — усилие упора); в — заклепка после установки

Комплекс проведенных мероприятий по изменению конструкции и технологии сварки алюминиевых крыш позволил получить требуемое качество изделий. ● #482

# Опыт повышения качества электродной проволоки для высокопроизводительной сварки в активных защитных газах

*Ю. Лее, Гамм/Ротенбург, В. Зенк, Нордхаузен (Германия)*

Предприятие шахтного строительства SBN в Нордхаузене уже 105 лет оказывает широкий спектр специальных услуг в области металлоконструкций и машиностроения. После объединения с группой «Бауэр» (Германия) начался новый этап развития предприятия: в первую очередь это были инвестиции в модернизацию сварочного производства с целью повышения производительности и качества сварных конструкций.

В начале 1990-х гг. на предприятии был внедрен высокопроизводительный способ сварки в среде активных защитных газов (МАГ-сварка). При отсутствии системной научно-технической информации, такой, например, как предлагают теперь бюллетени Германского общества сварочной техники (DVS Meckblatter 0909-1 и 0909-2), практические знания в определении возможностей МАГ-сварки приобретались в процессе ее внедрения в сварочное производство. Высокопроизводительная МАГ-сварка, когда скорость подачи сварочной проволоки превышает 15 м/мин, требует тщательного подбора сварочной техники и, особенно, электродной сварочной проволоки, оказывающей определяющее влияние на качество металла шва.

Предприятие WDI (до 1987 г. фирма «Klockner Draht») в Вестфалии производит сплошную сварочную проволоку с начала 1960-х гг. и имеет большой опыт в совершенствовании качества сварочного материала.

Сотрудничество SBN и WDI позволяет улучшать качество сварных конструкций благодаря постоянному совершенствованию сварочно-технологических характеристик сплошной проволоки для МАГ-сварки.

**Общие соображения по поводу высокопроизводительной МАГ-сварки электродной проволокой.** На предприятии SBN для сварки угловых швов с катетом не менее 4 мм на изделиях мостостроения и машиностроения применяют электродную проволоку. При этом сварщик испытывает

большие нагрузки, связанные с повышенным тепловым излучением и конвекцией. Поэтому установка защиты от теплоты на самой горелке с учетом доступности к сварному шву, а также применение теплозащитных перчаток, кожаных спецовок и светофильтров класса 14 обязательны.

В связи с высокой скоростью подачи проволоки необходим регулярный визуальный контроль приводного механизма. При этом следует особо контролировать давление прижима роликов, их положение и наличие на них грата.

Вследствие высокой термической нагрузки на горелку требуется продуманная система охлаждения вплоть до трубчатого токоподвода, который при недостаточном охлаждении может частично расплавить проволоку, в результате чего произойдет так называемая самопроизвольная сварка, после которой процесс не может быть продолжен.

По сравнению с обычной при МАГ-сварке вылет электродной проволоки должен быть больше. Для улучшения газовой защиты сварочной ванны трубчатый токоподвод следует располагать позади газового сопла на расстоянии 12 мм. Это также уменьшает термическую нагрузку на токоподвод.

Состав защитного газа оказывает заметное влияние на производительность сварки. Мнения специалистов относительно оптимального его состава расходятся. На SBN в замкнутую систему газопровода подают защитный газ следующего состава: аргон как основа — 65,5%, CO<sub>2</sub> (активный компонент, стабилизирующий дугу) — 15%, гелий (для улучшения смачивания и угла подтекания) — 20%.

**Разработка электродной проволоки сплошного сечения для сварки в защитных газах.** Сварка в защитных газах была разработана еще в начале 1950-х г. в ФРГ, когда стали применять углекислый газ как

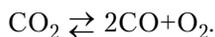
Таблица. Анализ поставки проволоки G4Si1 (содержание элементов)

Элемент	Среднее значение, %	Стандартное отклонение, %	Минимум, %	Максимум, %
Mn	1,638	0,010	1,630	1,670
Si	0,950	0,010	0,930	0,970

дешевый защитный газ для сварки углеродистых сталей. Практика показала, что электродная проволока должна содержать значительно больше раскисляющих элементов (например, кремния, марганца). С этого времени заговорили о сварке в активных защитных газах.

Металлургические реакции, вызванные взаимодействием углекислого газа и кислорода окружающего воздуха с расплавленным металлом, значительно отличаются от тех, которые происходят при других способах дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом.

Углекислый газ диссоциирует в зоне дуги в соответствии со следующим уравнением:



Освободившийся кислород окисляет расплавленный металл и, в первую очередь, легирующие элементы, входящие в состав плавящейся электродной проволоки. Продукты реакции SiO<sub>2</sub>, MnO, FeO, SO<sub>2</sub> и прочие переходят в шлак.

Перенос электродного металла крупнокапельный, с короткими замыканиями, сопровождается сильным разбрызгиванием. Значительное улучшение сварочно-технологических свойств проволоки было отмечено при соотношении Mn/Si, равном не менее 2.

Наряду с усовершенствованием способа (применение импульсного режима сварки) были созданы и газовые смеси, которые стабилизировали процесс МАГ-сварки благодаря высокому содержанию аргона (например, 82% аргона, 18% CO<sub>2</sub>) и сделали этот способ сварки вообще ведущим. Для МАГ-сварки сплошной проволокой в газовых смесях на основе аргона соотношение Mn/Si ≈ 2 оказалось неприемлемым.

Для G3Si1 согласно EN 440 соотношение Mn/Si в 2000 г. было принято равным 1,67, в 2001 г. — 1,68. Для G4Si1 в 2000 г. и в 2001 г. оно равнялось 1,74.

В таблице приведен анализ поставки от WDI в Ротенбурге 30 плавок проволоки G4Si1 за первые шесть месяцев 2003 г., который говорит о стабильности соотно-

шения Mn/Si, что является предпосылкой высокой производительности плавления сплошной проволоки.

**Влияние химического состава на МАГ-процесс.** Для многих потребителей проволоки G3Si1 оптимальное соотношение Mn/Si достаточно для обеспечения стабильного процесса сварки. При производстве катанки из проволоки G4Si1 применяют специальную технологию (контролируемое охлаждение), которая обеспечивает изготовление сплошной проволоки диаметром 0,8, 1,0 и 1,2 мм при высоких скоростях волочения.

Естественно, потребитель может сказать, что в большинстве случаев при МАГ-сварке углеродистых сталей применение проволоки G3Si1 является наиболее благоприятным. Однако практика показала, что для достижения высокой производительности плавления и высокого качества шва проволока типа G4Si1 незаменима.

Высокое содержание кремния в сплошной проволоке G3Si1 или G4Si1 способствует образованию ярко выраженной текстуры во время холодной деформации. Это чрезвычайно важно для технологии и технологического оборудования при производстве сплошной проволоки. При волочении проволок всегда следует соблюдать принцип — не допускать резких перегибов проволоки поперек текстуры.

Этот же принцип должен сохраняться и при применении проволоки. В конструкции современных подающих механизмов тока для МИГ- и МАГ-сварки, катушках типа В или BS согласно DIN EN 759 это должно учитываться. При скорости подачи проволоки до 15 м/мин недопустимый изгиб проволоки не окажет существенного влияния на стабильность ее плавления. Однако с ростом скорости стабильный процесс сварки может быть нарушен.

**Влияние качества поверхности и геометрии сплошной проволоки на процесс МАГ-сварки.** Во всех диапазонах силы сварочного тока успех МАГ-сварки зависит от стабильности подачи электродной проволоки подающими роликами. Для высокопроизводительной МАГ-сварки необхо-

Рис. 1. Измерения переходного сопротивления  $R$  различных покрытий: 1 — медное толщиной 2,79 г/м<sup>2</sup>; 2 — медное толщиной 0,55 г/м<sup>2</sup>; 3 — бронзовое; 4 — без покрытия

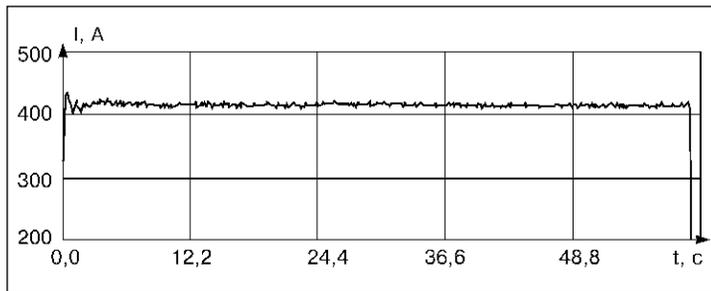
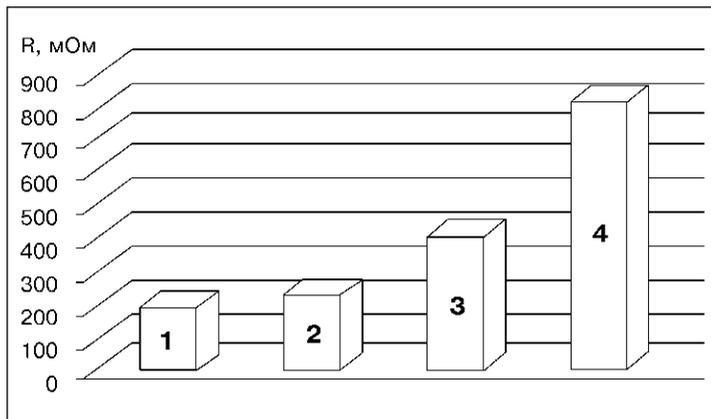


Рис. 2. Хорошее качество проволоки — стабильный сварочный ток, высокая производительность плавления

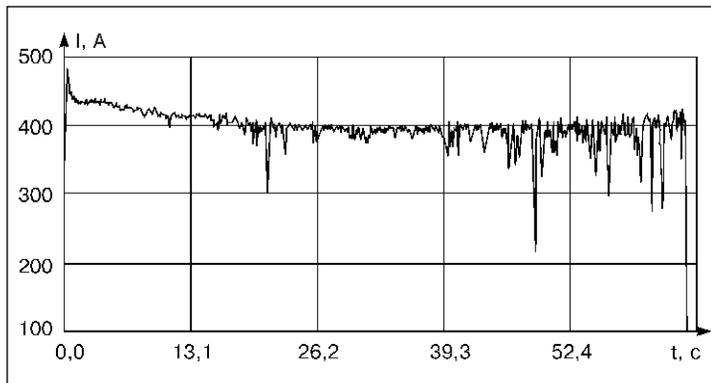


Рис. 3. Плохое качество проволоки — сильный разброс значений силы тока (проволока для сварки не годится)

дима проволока сплошного сечения высокого качества.

Допуски к геометрическим размерам проволоки установлены стандартом DIN EN 759. Согласно стандарту должны быть выполнены следующие требования:

- отсутствие отклонения от круглости проволоки в диапазоне 1/100 мм;
- отсутствие волнистости;
- высокая жесткость каналов шлангов (на антифрикционную способность канала шлангов решающее влияние оказывает жесткость/прочность проволоки сплошного сечения; эмпирическое правило гласит: высокая прочность — хорошее скольжение);

- широкая дрессура, т.е. диаметр более 1500 и менее 2000 мм измеряют на полной катушке массой 15 кг; скручивание проволоки должно быть близким к нулю. DIN EN 759 на катушке типа В допускает скручивание до 50 мм. При механизированной МАГ-сварке часто не допускается ни одного миллиметра скручивания на витке. При скорости подачи проволоки более 15 м/мин оправдало себя тангенциальное разматывание проволоки.

В настоящее время предлагают сплошную проволоку с медным либо бронзовым покрытием или без покрытия. Цвет проволоки с бронзовым покрытием колеблется от желтого до серебристого в зависимости от содержания олова. Отсюда тривиальное название «блестящая». Теоретические основы применения покрытий на проволоке вытекают из величин электрической проводимости покрытия:

Покрытие проволоки	Проводимость, м/мм <sup>2</sup>
Медь	60
Железо	10,3
Олово	0,16
Бронза	~50

Ясно, что проводимость в токоподводящем мундштуке может в первую очередь повышать медь, но бронзовое покрытие тоже имеет свои положительные свойства.

На рис. 1 показаны измерения переходного сопротивления различных покрытий.

В результате исследований установлено, что омедненные поверхности имеют наименьшее переходное сопротивление, у поверхностей с бронзовым покрытием оно примерно вдвое большее, а сопротивление поверхности без покрытия больше примерно в четыре раза. Повышение доли меди не ведет к существенному снижению переходного сопротивления. Таким образом, поверхность проволоки для МАГ-сварки должна быть омедненной. Основное — оптимизация толщины слоя. На заводе WDI сейчас изготавливают проволоку с толщиной покрытия от 0,8 до 1,3 г/м<sup>2</sup>.

**Плакирование поверхности.** После омеднения в ходе калибровки происходит окончательная деформация и плотная опрессовка пористого слоя меди на поверхность проволоки. Кроме того, устанавливается конечный диаметр проволоки.

**Компактная намотка на катушку.** Намотка проволоки сплошного сечения на катушки типа В или BS (по 15 кг) согласно

DIN EN 759 производят, как правило, на специальных машинах. Точная установка обслуживающим персоналом необходимого инструмента является основой для компактной и плотной послойной намотки проволоки диаметром от 0,8 до 1,6 мм.

**Практические исследования.** Несмотря на жесткие требования EN 759 к покрытию поверхности и геометрии сплошной проволоки, качество может отличаться не только у разных производителей, но и у одного производителя от плавки к плавке. Поэтому на SBN во время изготовления проволоки регистрируют и подвергают оценке все технологические параметры. Диаграмма ток—время (рис. 2, 3) отражает качество проволоки.

В течение последних лет предприятие SBN в Нордхаузене использует вместо

проволоки G3Si1 проволоку G4Si1. При этом отмечены следующие преимущества:

- повышение скорости подачи проволоки с 15 до 20 м/мин;
- лучшее раскисление металла шва в связи с повышенным соотношением Mn/Si;
- высокая металлургическая чистота, следовательно меньшая склонность наплавленного металла к трещинам;
- высокая стойкость каналов шлангов;
- хорошее скольжение в каналах шлангов благодаря омедненной поверхности проволоки;
- возможна хорошая способность к дрсуре согласно DIN 759 (до 2000 мм при типе катушек В и BS);
- меньший износ сопел и спиралей.

● #483

## Газотермические покрытия в решении проблем железнодорожного транспорта

(Окончание. Начало на стр. 10–13)

наносит тонкий (0,7–3,0 мм) твердый (45–50 HRC<sub>3</sub>) слой покрытия с высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения. Если срок эксплуатации автосцепок между ремонтами в депо составляет около 100 тыс. км, то упрочненные автосцепки на российских дорогах прошли уже 1,1 млн. км и их продолжают эксплуатировать. После нанесения покрытия не требуется механическая обработка, так как упрочненные детали имеют достаточно ровную и гладкую поверхность. Возможно многократное нанесение покрытия.



На железных дорогах эксплуатируют сотни тысяч вагонов, предназначенных для перевозки химически активных грузов, минеральных удобрений, угля, нефти и др. Все они подвержены ускоренной коррозии. Лакокрасочные покрытия подвергаются быстрому разрушению и, по сути, свое назначение не выполняют. Наиболее эффективной мерой защиты от коррозии и изнашивания корпусных поверхностей и отдельных элементов сегодня является алюмокерамическое покрытие, получаемое сверхзвуковой электродуговой металлизацией. В широком масштабе антикоррозионную защиту грузовых вагонов газотермическими покрытиями используют в Китае.

В приведенном далеко не полном перечне решаемых проблем способами газотермического напыления большинство технологических решений не требуют каких-либо исследований, доработок и готовы к внедрению. Их реализация даст весомый вклад в «оздоровление» подвижного состава. Однако сделать это невозможно без квалифицированного сопровождения, поскольку для каждой детали необходимо обеспечить нужную технологию, гарантированное качество исходных материалов, сервисное обслуживание оборудования, обучение обслуживающего персонала.

● #481



# Выбор оборудования и способа резки металлов\*

## Повышение эффективности кислородной резки. Часть 2

М. М. Лилько, АО «Эффект» (Одесса)

Исследования, проведенные во ВНИИавтогенмаше в 1960–1970-х гг. А. Н. Шашковым, а затем в Болгарии И. Бошнаковым, показали, что скорость резки можно повысить, повышая давление режущего кислорода. Вызванная этим увеличением турбулентность потока способствует уменьшению ламинарной пленки и улучшению перемешивания железа и оксидов в жидкой фазе.

\*Продолжение.  
Начало см.  
«Сварщик» –  
2004: №3,  
стр. 20–24.

### Резка повышенным давлением режущего кислорода

Повышенное давление кислорода на входе в сопло увеличивает кинетическую энергию режущей струи. Кроме того, в результате перепада давления на входе и выходе из сопла происходит охлаждение режущего кислорода, увеличение его плотности и, как следствие, увеличение дальности струи.

Например, по данным А. Шашкова, увеличение давления режущего кислорода с 0,5 до 7,0 МПа повышает скорость истечения с 460 до 610 м/с, при этом температура струи режущего кислорода падает с минус 85 до минус 165 °С, а кинематическая вязкость в этой области температур уменьшается в 4 раза.

Исследования, выполненные в германском Центральном институте сварки, показали, что увеличение давления режущего

кислорода до 1,8–2,0 МПа повышает скорость резки и уменьшает ширину реза, особенно при резке толстого металла. При резке металла толщиной 100 мм и давлении кислорода 1,8 МПа скорость резки составляет 190–200 мм/мин, а ширина реза уменьшается примерно с 5 до 2,5 мм. Проведенные в АО «Эффект» работы, а также опыт зарубежных фирм показывает, что использование мундштуков комбинированного смешения газов (рис. 1) с профилированным и полированным соплом малого диаметра позволяет при давлении режущего кислорода 1,8–2,0 МПа (чистота кислорода 99,6–99,7%) получить на чистом от окалины металле толщиной 250 мм и температурой 800 °С скорость резки до 500 мм/мин и более, а ширину реза – 6,5–7 мм.

### Ремонтопригодность резачков

Показателями, определяющими надежность работы оборудования, являются его ремонтпригодность и взаимозаменяемость деталей.

Существует два конструктивных решения сопряжения головки резачка и мундштука: по конусу либо по плоскости. Коническое уплотнение теоретически предпочтительнее, так как требует меньшего усилия для затяжки соединения головки резачка с мундштуком.

При изготовлении деталей на станках с ЧПУ по одной программе в термостатированных помещениях качество получается идеальное. Однако в процессе эксплуатации при переходе на обработку металла другой толщины мундштуки меняют, при этом гнездо на головке резачка постепенно изнашивается, в результате нарушается плотность соединения. Поэтому многие потребители отказываются от аппаратуры с коническим уплотнением.

Плоское уплотнение требует большего усилия затяжки соединения головки резачка с мундштуком, однако, уплотняемые поверхности всегда можно притереть шлифо-

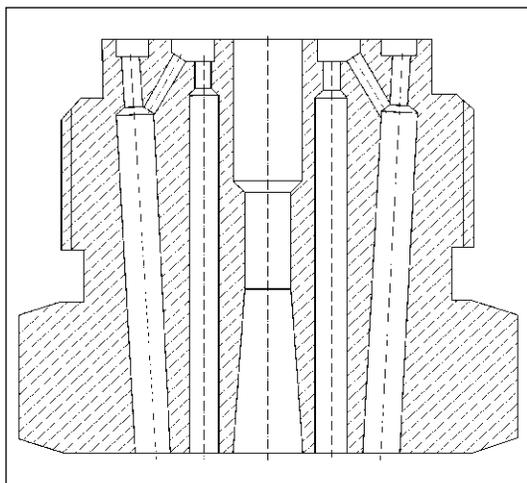


Рис. 1.  
Моноблочный мундштук

вальной шкуркой «00». Недостатком аппаратуры такого типа (особенно ручных резаков) является скручивание головки резака при затяжке. Поэтому АО «Эффект» ввел в комплект поставки резаков специальное приспособление, позволяющее ликвидировать данный недостаток.

Одной из серьезных проблем является надежное охлаждение резаков. Вода, подводимая с помощью трубки к головке резака, охлаждает ее и мундштук. Однако в воде содержится большое количество взвеси, что приводит к забиванию карманов, чистить которые практически невозможно. В АО «Эффект» разработана конструкция резаков, позволяющая разбирать камеру охлаждения для чистки. Эти резаки проходят опытно-промышленные испытания на ОАО «Азовсталь» и АО «ММК им. Ильича» (Мариуполь).

Применяемая в резаках «Эффект-М-БТ-В» система охлаждения позволяет:

- обеспечить теплоотвод из самой горячей зоны (от мундштука);
- менять мундштук, не снимая резак с машины;
- разбирать для чистки камеру охлаждения резака, не снимая мундштук и резак с машины;
- исключить необходимость пайки кожуха к головке и верхнему корпусу, что делает резаки пригодными для ремонта;
- сливать воду из резака при длительных перерывах в работе, не снимая его с машины.

### Технологические требования к процессу резки

Эффективность кислородной резки во многом зависит от правильного выбора технологического процесса резки. Все детали, получаемые после кислородной резки, можно разделить на две группы: детали, подлежащие сварке, и заготовки.

**Вырезка деталей для сварки.** Перед началом процесса резки поверхность листа необходимо подогреть до температуры воспламенения металла в струе кислорода (примерно 1200 °С), после чего должна быть включена подача режущего кислорода. При работе на газозаменителях ацетилен для увеличения скорости нагрева металл начинают прогревать «жестким» пламенем с последующим переходом на нормальный режим горения подогревающего пламени. Примерное расстояние от места пробивки отверстия до контура детали в зависимости от толщины металла:

<i>Толщина металла, мм</i>	<i>Расстояние до контура детали, мм</i>
10. . . . .	6–8
10–20. . . . .	8–10
20–30. . . . .	10–12
3–40. . . . .	12–15
40–50. . . . .	15–20
50–70. . . . .	20–25
70–90. . . . .	25–30
До 100. . . . .	До 40

Время нагрева металла ацетиленом в зависимости от толщины металла при пробивке отверстия:

<i>Толщина металла, мм</i>	<i>Время нагрева, с</i>
5–15. . . . .	5–10
16–30. . . . .	10–15
30–60. . . . .	15–25
60–100. . . . .	25–35

При нагреве жестким пламенем избыток подогревающего кислорода в пламени может достигать до 20% от нормального режима горения. Во избежание засорения выходных каналов мундштука брызгами расплавленного металла при пробивке отверстия в листе газорезущая машина должна быть оснащена устройствами для подъема резака над листом до 30 мм в момент пуска режущего кислорода. Кроме того, при пробивке отверстия в листе для уменьшения разбрызгивания металла машина должна быть оснащена устройством для плавного увеличения расхода (давления) режущего кислорода в момент пробивки. Должна быть также предусмотрена возможность совмещения подачи режущего кислорода с медленным перемещением резака от точки пробивки к контуру вырезаемой детали. При выходе на контур вырезаемой детали подогревающее пламя должно стать нормальным, давление режущего кислорода — рабочим, скорость перемещения газорезущей машины — оптимальной, а резак должен опуститься вниз до рабочего положения.

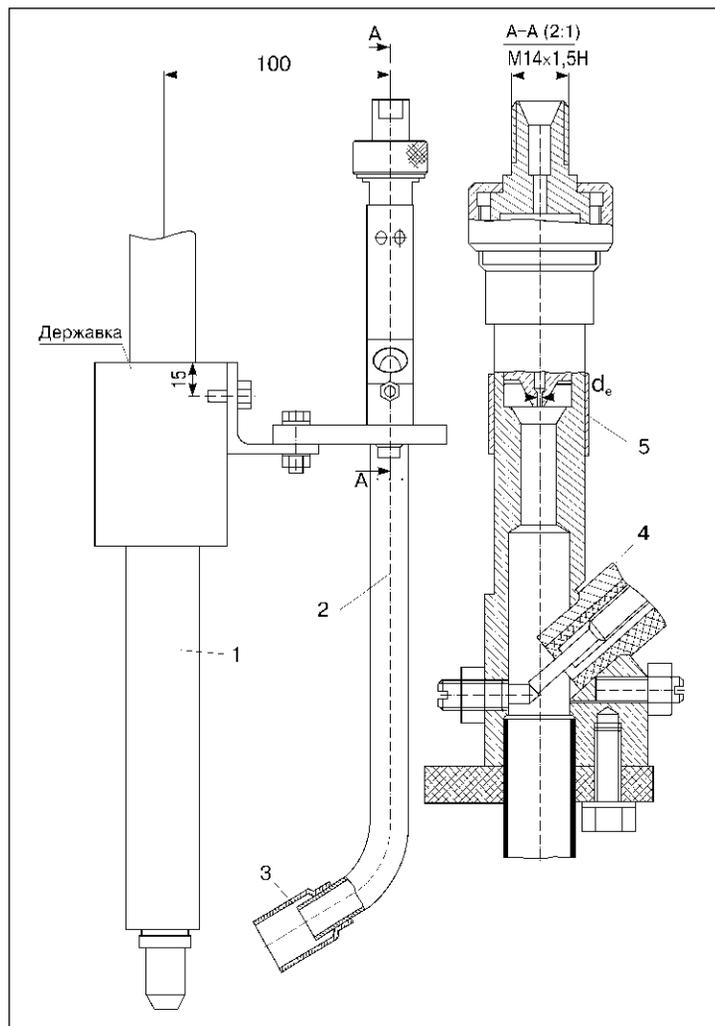
При обходе острых углов на контуре вырезаемой детали и снижении скорости перемещения машины необходимо уменьшить мощность подогревающего пламени и расход режущего кислорода для предотвращения оплавления кромки детали.

Все указанные операции выполняются автоматически системой ЧПУ независимо от количества работающих в данный момент на машине резаков, для чего блок газовой автоматики должен быть оснащен необходимым набором редукторов, элект-

ромагнитных клапанов, узлов поджига и другой специальной аппаратурой.

**Резка заготовок.** Заготовки в большинстве случаев вырезают из металла толщиной более 100 мм, так как весьма мала вероятность пробивки отверстия, резку начинают с кромки. При резке холодного металла подогрев начинают «жестким» пламенем, при резке горячего металла возможно даже врезание без остановки на прогрев при нормальном режиме горения пламени. Так как пуск режущего кислорода осуществляют вне поверхности заготовки, разбрызгивание металла минимально и необходимость в плавном пуске режущего кислорода отпадает. Ввиду большого расхода режущего кислорода (до 120 м<sup>3</sup>/ч) каждый резак должен иметь индивидуальную систему газорегулирования и управление его должно осуществляться от своего щита, для чего на линии режущего кислорода последовательно редуктору с пневматическим управлением устанавливают электромагнитный клапан с условным проходом 10 мм.

Рис. 2. Запальник с узлом поджига: 1 — резак; 2 — трубка запальника; 3 — стабилизатор; 4 — свеча; 5 — шторка



Система подачи горючего газа может работать на природном газе, пропан-бутане и ацетилене. Возможна работа также на коксовом газе либо любом другом с теплопроводностью не ниже 4000 ккал/м<sup>3</sup>.

Управление газами осуществляют с помощью редуктора и электромагнитного клапана. Максимальный расход природного газа до 20 м<sup>3</sup>/ч. Максимальный расход подогревающего кислорода до 30 м<sup>3</sup>/ч.

Одной из серьезных проблем, возникающих при механизированной резке, является поджиг резака. Существует несколько подходов к решению данной проблемы:

- резак поджигают при помощи запальника, запальник поджигают от свечи, генерирующей искру (данный тип запальников применяют в основном на портальных газорезущих машинах);
- на резке устанавливают постоянно горящий запальник, который перемещается вместе с резаком;
- постоянно горящий запальник устанавливают неподвижно, а резак поджигают в начальном положении.

Последние два варианта применяют в основном на МГР МНЛЗ, подвижная установка запальника предпочтительнее, так как позволяет поджечь резак в любой рабочей точке при его аварийном погасании.

Возможен также перевод резака на режим работы с дежурным пламенем, однако для этого требуется много дополнительной аппаратуры.

#### Оборудование для управления процессом резки

Запальник с узлом поджига (рис. 2) относится к классу газозвушных горелок на атмосферном воздухе с инъекцией в ствол горелки и электрическим узлом поджига. Предназначен для поджига газокислородных резаков на газорезущих машинах при автоматическом и дистанционном управлении процессом газокислородной резки металлов.

Принцип действия запальника состоит в том, что он работает на обедненной кислородом газозвушной смеси. Такая смесь загорается только от постоянно горящего источника пламени, например мощной искры. Подожженная смесь выдувается наружу, фронт пламени смещается в полость стабилизатора, где осуществляется дополнительный подсос воздуха, способствующий образованию развитого устойчивого очага воспламенения. После выключения свечи (либо другого источника пламени) горение в

трубке прекращается, однако подожженная в стабилизаторе смесь продолжает гореть, пока электромагнитный клапан, установленный в блоке автоматики, не прекратит подачу горючего газа. Для получения обедненной газозвушной смеси нужного состава служит небольшой регулятор расхода газа, установленный в верхней части трубки. Указанный регулятор обеспечивает постоянный расход горючего газа независимо от колебания давления в сети. Количество подсосываемого воздуха регулирует шторка.

Данный тип запальника можно применять для поджига газозвушных устройств в печах, котлах либо других удаленных и труднодоступных местах. Длина трубки и ее форма не имеют существенного значения. Свеча и все органы управления устанавливаются вне топки в холодной зоне. При постоянно открытом электромагнитном клапане (вентиле) запальник превращается в постоянно горящий.

*Постоянно горящий запальник с раскателем (рис. 3)* также относят к классу газозвушных горелок на атмосферном воздухе с инжекцией в стволе горелки. Запальник работает на природном газе давлением 0,02–0,06 МПа и атмосферном воздухе. Расход природного газа примерно 0,5 м<sup>3</sup>/ч, пламя жесткое, длиной 150 мм. Давление регулирует редуктор, установленный на щите газорегулирования. Тонкую подстройку режима горения осуществляют перемещением смесительной камеры. Газозвушная смесь разделяется на два потока: основной, истекающий из центрального сопла, и дополнительный, истекающий из подогревающих отверстий, расположенных вокруг центрального сопла. При этом фронт пламени частично смещается в полость стабилизатора, образуя развитый очаг устойчивого воспламенения. Ударяясь об отражатель, факел поворачивает к резаку. Такая конструкция обеспечивает устойчивый поджиг резаков при сильных потоках воздуха, большой влажности и низком (до 18%) содержании кислорода в зоне горения резаков.

*Электромагнитный мембранный клапан с условным проходом  $du=10$  мм* предназначен для дистанционного управления подачей горючего газа и кислорода в машинные резаки, установленные преимущественно на машинах газовой резки холодных и горячих заготовок установок непрерывной разливки стали. Клапан можно применять также для управления подачей и других

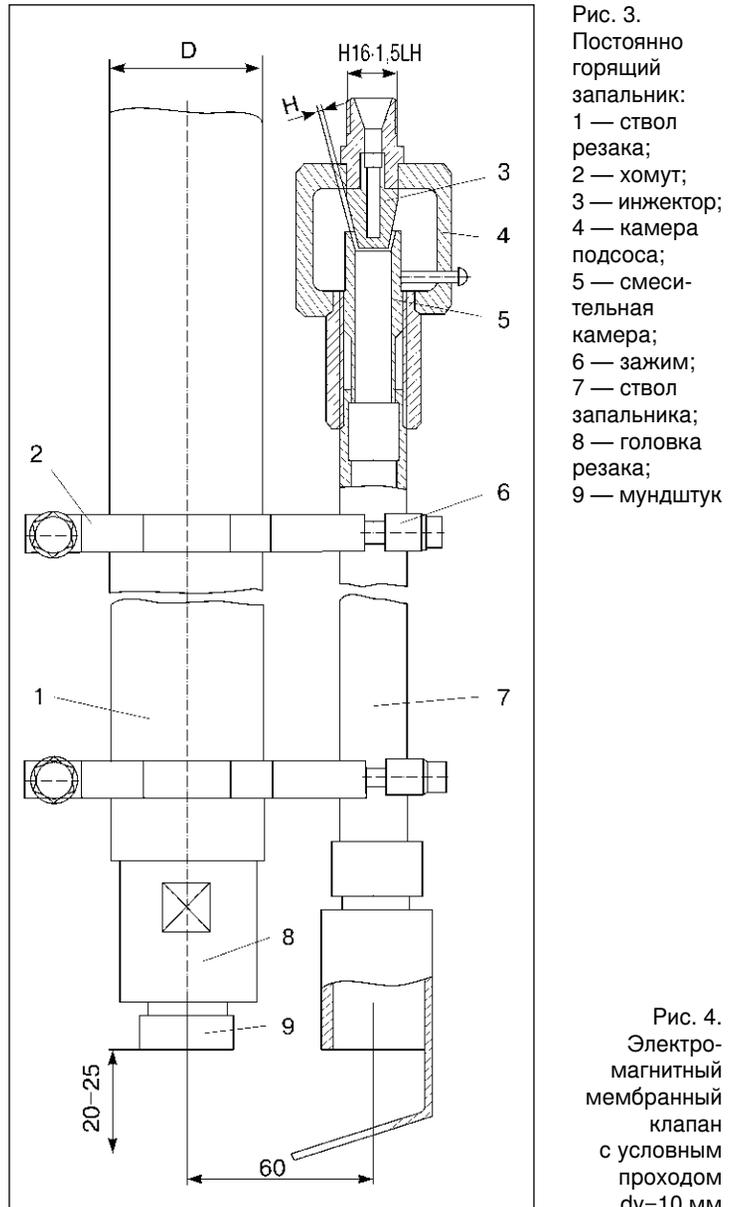


Рис. 3. Постоянно горящий запальник: 1 — ствол резака; 2 — хомут; 3 — инжектор; 4 — камера подсоса; 5 — смесительная камера; 6 — зажим; 7 — ствол запальника; 8 — головка резака; 9 — мунштук

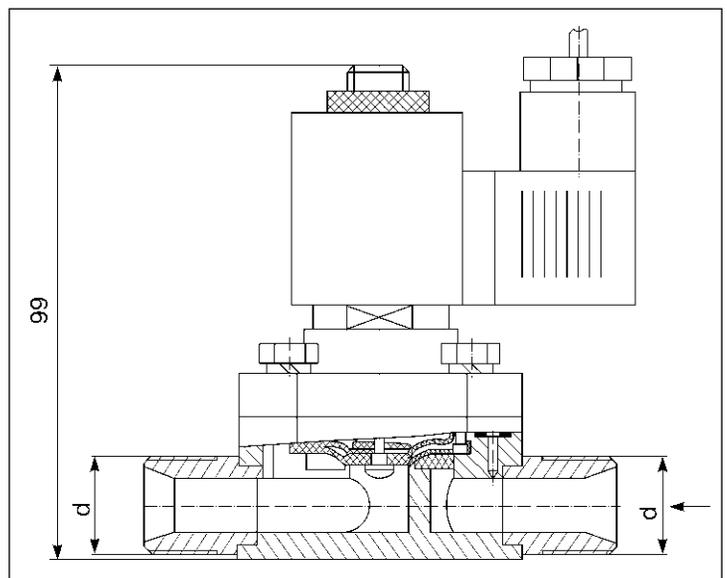


Рис. 4. Электромагнитный мембранный клапан с условным проходом  $du=10$  мм

Рис. 5. Электромагнитный мембранный клапан с дублиром,  $du=10$  мм

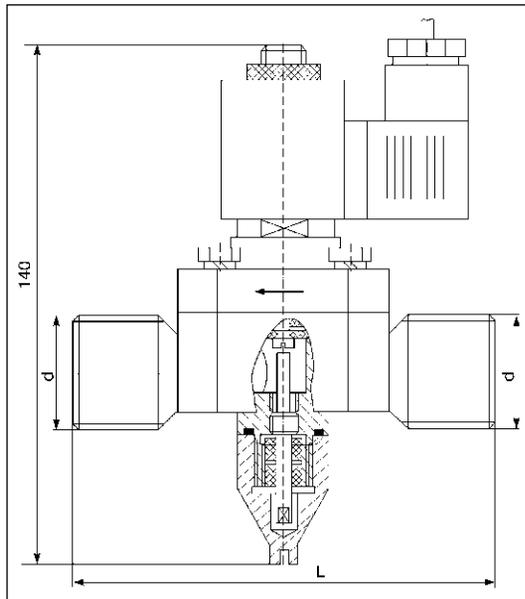


Рис. 6. Электромагнитный угловой клапан

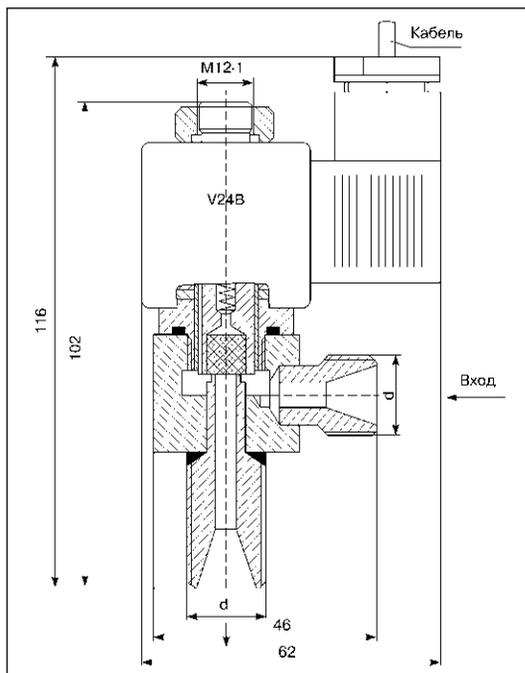
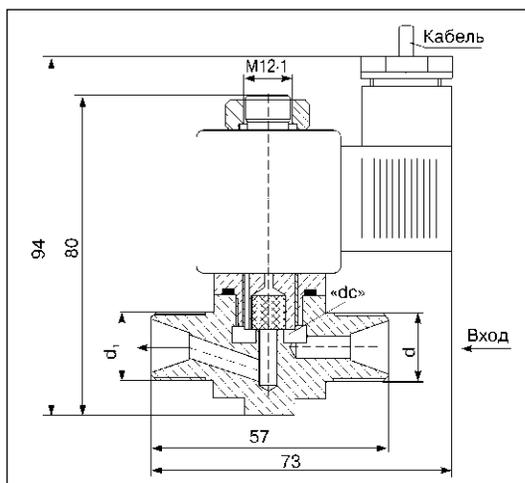


Рис. 7. Электромагнитный клапан прямого действия



неагрессивных газов (водород, азот, гелий, воздух,  $CO_2$  и им подобных).

Клапан изготавливают в двух конструктивных исполнениях:

- без возможности внешнего воздействия (рис. 4);
- с дублиром (рис. 5).

В первом варианте исполнения открытие и закрытие электромагнитного клапана осуществляется соответственно при подаче электрического питания и его обесточивании. Во втором варианте исполнения в клапане установлен дублир, позволяющий открыть клапан, поднимая мембрану с помощью толкателя при отсутствии электричества.

Это значительно повышает надежность работы газорезающего оборудования в целом при аварийном отключении электричества, а также дает возможность настроить и проверить работу газорезающего оборудования при ремонтных работах без подачи электропитания на весь отключенный агрегат. Наличие дублиров позволяет отказаться от байпасных линий на щитах газорегулирования. Указанные клапаны могут быть использованы в энергетическом хозяйстве металлургических заводов.

Напряжение питания 24 В постоянного тока, максимальное рабочее давление газов 2,4 МПа, минимальное давление не регламентировано, резьба присоединительных штуцеров — по заказу. Возможно изготовление клапанов  $du=15$  и 20 мм.

Электромагнитный клапан с  $du=4...5$  мм предназначен для дистанционного управления подачей горючего газа и кислорода в резаки, установленные на машинах газокислородной резки металла. Клапан можно применять для управления подачей также и других неагрессивных газов (водород, гелий, азот, воздух,  $CO_2$ ).

Клапан изготавливают в двух конструктивных исполнениях: угловой (рис. 6) и прямого действия (рис. 7). Угловые клапаны могут быть собраны в блоки по два, три и четыре. Блоки клапанов применяют для управления одинаковыми газами. Например, блок из двух клапанов — подача горючего газа в резак, запальник, блок из трех клапанов — подача кислорода в три резака трехрезакового блока.

Напряжение питания 24 В постоянного тока, максимальное рабочее давление газов 1,2 МПа, минимальное не лимитировано, резьба присоединительных штуцеров — по заказу.

● #484



# Разработки Института электроники Болгарской академии наук в области электронно-лучевой сварки

*Е. Колева, инж., К. Вутова, д-р, П. Петров, д-р, Г. Младенов, проф.,  
Институт электроники Болгарской академии наук (София)*

**Электронно-лучевая сварка — современный технологический процесс, в котором для образования сварочной ванны используют сфокусированный пучок электронов. Известно, что глубокое проплавление при электронно-лучевой сварке является результатом сложных физических процессов, протекающих в многофазной зоне взаимодействия электронного пучка с материалом.**

Установлению зависимостей между параметрами процесса и геометрией зоны проплавления посвящено немало исследований, однако единой точки зрения относительно общих взаимозависимостей, на основании которых можно определить параметры режима сварки, пока не существует. Объясняется это тем, что геометрические размеры поперечного сечения сварного шва связаны с распределением плотности энергии электронного пучка (ЭП) в зоне его взаимодействия со свариваемым материалом. Это распределение трудно измерить, оно взаимосвязано с термическими, гидро- и газодинамическими процессами в сварочной ванне и с ионизацией парогазовой фазы.

В области физических процессов при электронно-лучевой сварке авторами было изучено влияние ионной самофокусировки электронного пучка в парах обрабатываемого материала, локальная нейтрализация объемного заряда электронного пучка генерируемыми положительными ионами и роль двойного слоя на границе плазмы с жидкими стенками кратера в сварочной ванне. Авторами было также показано, что в качестве основных характеристик электронного пучка следует использовать эмиттанс и электронную яркость, приведенные к единице ускоряющего напряжения. Эти характеристики учитывают кинетику радиального распределения тока электронного пучка по его длине и угловое распределение плотности тока электронного пучка, и

по ним удобнее переносить конкретные технологии с одной сварочной установки на другую, так как уменьшается объем предварительных сварочных экспериментов.

Качество сварных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой, определяют свойства материала, технологические условия и энергетические параметры процесса сварки.

Для расчетов температурных полей при электронно-лучевой сварке обычно используют аналитические и численные методы решения уравнения теплопроводности. Для обоих подходов характерна существенная идеализация теплового источника, действующего в сварочной ванне. Это связано с отсутствием количественных описаний сложных физических процессов, протекающих в пародинамическом канале и в жидкой фазе металла во время передачи энергии электронным пучком. Поэтому принимается приближение, описывающее процесс нагрева материала подвижным стационарным объемным или линейным источником теплоты (иногда комбинированный линейный и точечный источник). При этом приближении не учитывается положение фокуса электронного пучка по отношению к поверхности свариваемого металла. В то же время именно этот параметр определяет распределение энергии электронного пучка по его длине в зоне взаимодействия. Размеры сварочной ванны оценивают на базе теплового баланса, т. е. они связаны с термическим КПД процесса  $\eta_{пр}$ .

Используя теорию Н. Н. Рыкалина, получено решение уравнения теплового баланса (рис. 1). По представленной номограмме можно прогнозировать глубину  $h$  и ширину  $b$  шва при электронно-лучевой сварке с выбранными мощностью пучка и скоростью сварки для разных материалов. Удобнее задавать ширину шва  $b$  (из прежнего опыта сварщика, поскольку  $b$  меняется меньше) и получать однозначно глуби-

ну шва  $h$  для данного материала, выбранной мощности пучка  $P$  и скорости сварки  $V$ . Корреляции мощности пучка  $P$  и глубины шва  $h$  видны для двух (средних) значений ширины поперечного сечения шва ( $b=1\text{ мм}$  — сплошная линия и  $b=2\text{ мм}$  — штриховая) для разных скоростей  $V_1=0,5\text{ см/с}$ ,  $V_2=1\text{ см/с}$ ,  $V_3=1,5\text{ см/с}$ ,  $V_4=2\text{ см/с}$ ,  $V_5=2,5\text{ см/с}$ . Погонная энергия, которая достаточно полно характеризует обычные методы сварки, при электронно-лучевой сварке не является однозначной характеристикой процесса. Если ширина шва изменяется при постоянной погонной энергии, то также изменяется и глубина проплавления. При постоянной погонной энергии можно получить глубину пропла-

вления, отличающуюся в два раза и более. Это связано с зависимостью глубины проплавления от плотности мощности и ее распределения по длине электронного пучка (в первую очередь зависит от положения фокуса). Поэтому такие расчеты можно использовать только при выборе режима электронно-лучевой сварки тонкостенных деталей в режиме сферического проплавления.

Поиск адекватных комплексных параметров для уменьшения числа переменных, влияющих на результаты электронно-лучевой сварки, предпринимали многие исследователи. Безразмерный коэффициент полезного действия  $\eta_{пр}$ , представляющий отношение энергии  $P_w$ , необходимой для плавления металла в зоне сварки, к общей энергии  $P_o$ , введенной в образец электронным пучком, включая энергию отраженных электронов, характеризует эффективность ввода энергии для локального плавления металла. Обычно эту эффективность описывают тепловым и электронным КПД  $\eta_{пр}=\eta_o\eta_t$ , где  $\eta_o$  — электронная эффективность,  $\eta_t$  — термический КПД процесса. Термический КПД можно представить как

$$\eta_t = P_w/P_o = VF_wS/P_o,$$

где  $V$  — скорость сварки;  $F_w$  — площадь поперечного сечения шва,  $F_w=bh$ , если шов с приблизительно параллельными границами расплавленной зоны, и  $F_w=(bh)/2$  при приблизительно треугольном поперечном сечении шва; при произвольной форме сечения принимают среднее значение ширины  $\bar{b}$ , определяемое как  $\bar{b}=F_w/h$ . Теплоемкость  $S$  в зоне плавления является произведением разности между температурой плавления и комнатной температурой и среднего теплосодержания в этом температурном интервале.

Известно, что  $\eta_t = 0,484$  есть теоретический предел термической эффективности электронно-лучевой сварки при модели нагрева тела линейным источником теплоты. Как и следует из теории Рыкалина, близкий к этому значению термический КПД можно ожидать при высоких мощностях электронного пучка и высоких скоростях сварки.

На *рис. 2* приведены теоретические и экспериментальные данные электронно-лучевой сварки нержавеющей стали при обработке более чем 140 макрошлифов поперечных сечений сварных швов. Экспериментальные точки (показана только часть)

Рис. 1. Зависимость глубины шва  $h$  от мощности пучка  $P$  и погонной энергии  $W/l$  при сварке нержавеющей стали:  $V_1=0,5\text{ см/с}$ ,  $V_2=1\text{ см/с}$ ,  $V_3=1,5\text{ см/с}$ ,  $V_4=2\text{ см/с}$ ,  $V_5=2,5\text{ см/с}$

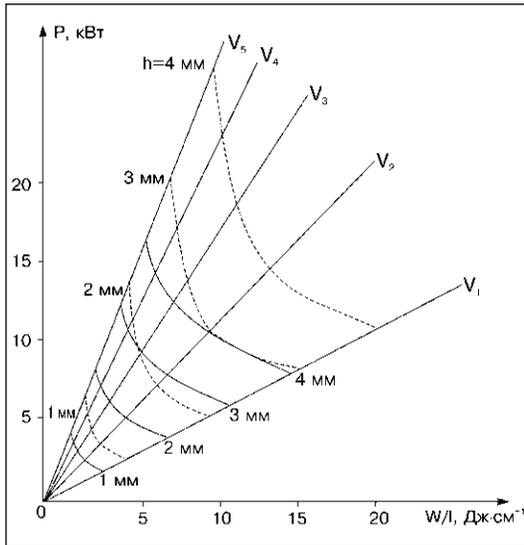
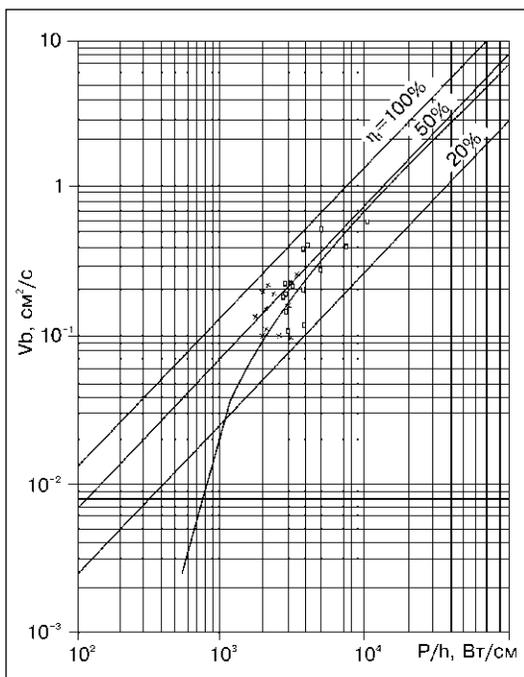


Рис. 2. Зависимость скорости плавления от погонной мощности электронного пучка при сварке нержавеющей стали. Точки  $\times$  — экспериментальные, точки  $\square$  — теоретические



и теоретическая кривая представляют значения параметров  $V_b$  и  $P/h$  каждого шва. Эти точки и наклонные линии, проведенные под углом  $45^\circ$ , позволяют оценить значения термического КПД для каждого шва. Отметим, что все экспериментальные точки расположены для  $P/h$  в интервале  $1,34-10$  кВт/см и для  $V_b$  — в интервале  $0,054-0,75$  см<sup>2</sup>/с. Это можно использовать для прогнозирования диапазонов  $h(P)$  и  $b(V)$  (см. также рис. 4 и 5).

Необходимо отметить, что авторами не обнаружены максимумы термического КПД в исследуемом диапазоне, как в работах И. В. Зуева и его коллег. Получение швов с высоким термическим КПД не означает, что эти швы максимально глубокие. При изменении расположения фокуса пучка по отношению к поверхности детали глубина шва  $h$  является более чувствительным параметром, чем термический КПД.

Результаты экспериментального термического цикла (рис. 3) показывают также, что значения экспериментального КПД бывают больше, чем теоретически предсказанное для линейного источника  $0,484$ . Это объясняется наличием пародинамического канала в сварочной ванне и нестационарными тепловыми и гидродинамическими процессами, которые и формируют специфический (нестационарный, импульсный, распределенный) тепловой источник при электронно-лучевой сварке. Это подтверждено экспериментально при исследовании температурных полей с помощью  $W/W-Re$  термомпар. При измерении на близких к сварочной ванне расстояниях обнаружены колебания температуры с частотой от  $3,5$  до  $5$  Гц.

Для получения статистически значимых результатов при создании эмпирической модели сварки электронным пучком мощностью  $4,2-8,4$  кВт со скоростью  $20-80$  см/мин выполняли работы на двух сварочных установках и для трех типов швов методом планирования эксперимента для нержавеющей стали. При этом использовали многооткликовую методику для статистической обработки данных, регрессионные полиномиальные модели для связи между геометрическими характеристиками швов (глубина и ширина шва) или между значениями термического КПД и характеристик процесса и материала. С целью улучшения качества продукции при массовом производстве (уменьшения дисперсии около среднего значения желаемого геометрического параметра или КПД) применен

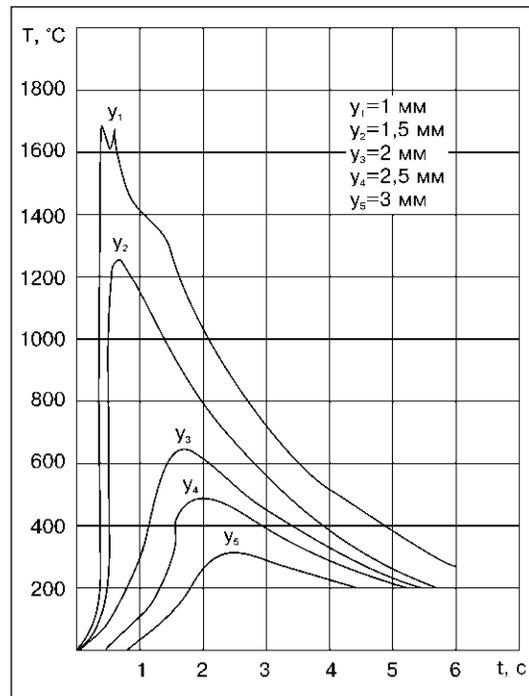


Рис. 3. Экспериментальный термический цикл на различных расстояниях  $y$  от линии движения теплового источника

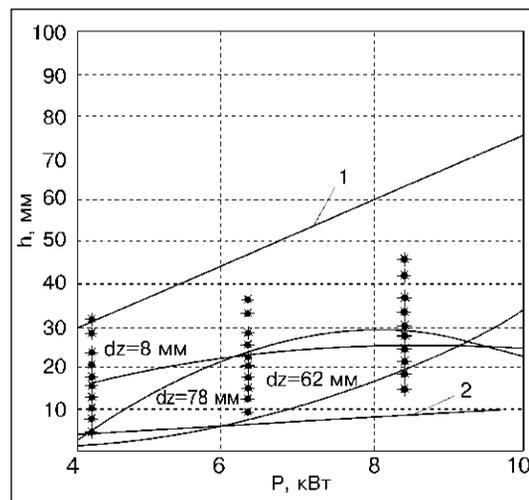


Рис. 4. Зависимость глубины проплавления от мощности электронного пучка при скорости сварки 50 см/мин: 1 —  $V_b=0,75$  см<sup>2</sup>/с; 2 —  $V_b=0,0533$  см<sup>2</sup>/с

модельный подход. Для этой цели, кроме упомянутой полиномиальной модели для среднего значения параметра, рассчитали и модель дисперсии для этого параметра при массовом производстве с учетом отклонений параметров процесса и материала. Созданы компьютерные программы выбора процесса для получения желаемых параметров геометрии шва или термического КПД.

На рис. 4 показаны статистические зависимости глубины шва  $h$  от мощности электронного пучка  $P$  для различных значений параметра фокусировки  $dz = z_0 - z_p$  (здесь  $z_0$  и  $z_p$  — расстояние от электронной пушки соответственно до поверхности образца и до фокальной плоскости). Значения параметра фокусировки  $dz$  со знаком

Рис. 5. Зависимость ширины шва от скорости сварки при мощности электронного пучка 6,3 кВт

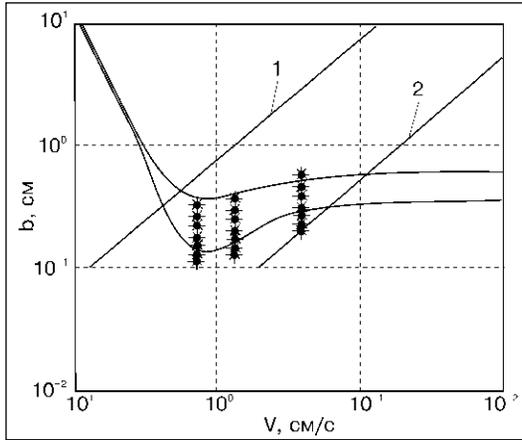


Рис. 6. Зависимость термического КПД от мощности при V=50 см/мин

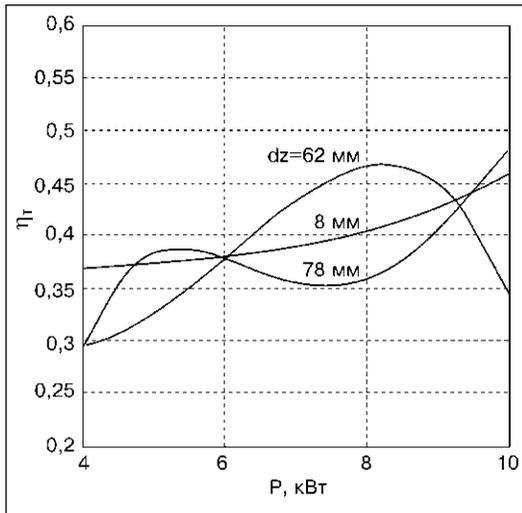
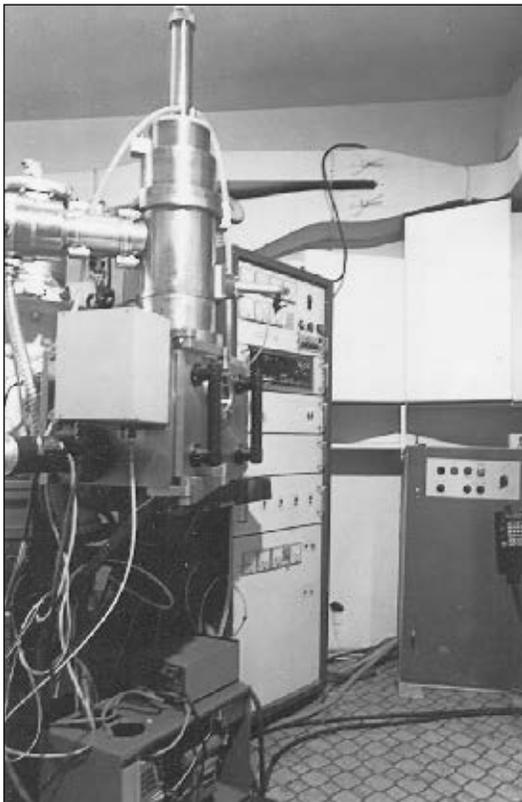


Рис. 7. Вид установки ЭЛИС 15/60



минус означают положение фокуса пучка ниже поверхности образца, а положительные — над этой поверхностью. Видно, что для большой мощности (6–9 кВт) электронного пучка расположение фокуса под поверхностью (нержавеющая сталь, скорость сварки 50 см/мин) не критично и обеспечивает большую глубину шва. Для малой мощности электронного пучка (до 6 кВт) положение фокуса критично. Здесь же на рисунке показаны пределы возможных глубин шва для  $P/h=1,333$  кВт/см (прямая 1) и  $P/h=10$  кВт/см (прямая 2), полученных на основе теоретических и экспериментальных данных (см. рис. 2). Видно, что статистический подход дает более точное и детальное описание процесса.

На рис. 5 показано распределение значений ширины шва в зависимости от скорости сварки и положения фокуса (видны и пределы этого параметра, полученные на основе данных рис. 2), на рис. 6 — изменение термического КПД при разных мощностях электронного пучка и скорости сварки 50 см/мин. Широкие швы, полученные при больших мощностях и фокусе, расположенном над поверхностью образца, имеют более высокий термический КПД.

Актуальным направлением при разработке оборудования для электронно-лучевой сварки является стремление к полной автоматизации технологического процесса. Это связано как с увеличением производительности электронно-лучевых установок, так и с повышением качества сварных соединений. На разработанной в Институте электроники Болгарской академии наук установке ЭЛИС 15/60 для электронно-лучевой сварки (рис. 7) была осуществлена автоматизация технологического процесса сварки гидрораспределителей, изготавливаемых из стали 45. Автоматизированная система основана на микропроцессорном устройстве, состоящем из двух контроллеров.

Первый контроллер управляет:

- трехкоординатным манипулятором, который осуществляет прямолинейное движение для управления шестью пневматическими вентилями, поворот на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $360^\circ$  вокруг одной оси, поворот на  $0^\circ$  или  $45^\circ$  вокруг другой оси (скорость передвижения изменяется с помощью программы);
- накалом катода электронной пушки, управляющим и ускоряющим напряжением, током фокусировки и электронного пучка.

Второй контроллер управляет вакуумной системой рабочей камеры и электронной пушкой.

Технологические параметры режима сварки определяют при помощи изложенной модели. Сварные швы, соединяющие гидрораспределитель 1 и штуцер 2 (рис. 8, а), должны обеспечить необходимую плотность шва и заданную прочность соединений. Обе части гидрораспределителей сваривают в такой последовательности: первоначально выполняют шов 1 (рис. 8, б), а потом швы 3, 2 и 4. Управляющая система работает в двух режимах «Цикл» и «Конец».

В режиме «Цикл» после установки деталей в манипуляторе и закрытия двери камеры автоматически запускается программа сварки (вакуумирование, сварка). Режим «Конец» применяют в конце работы установки, он включает развакуумирование рабочей камеры с последующим выключением вакуумной системы. Система управления работает в ручном и автоматическом режимах.

● #485

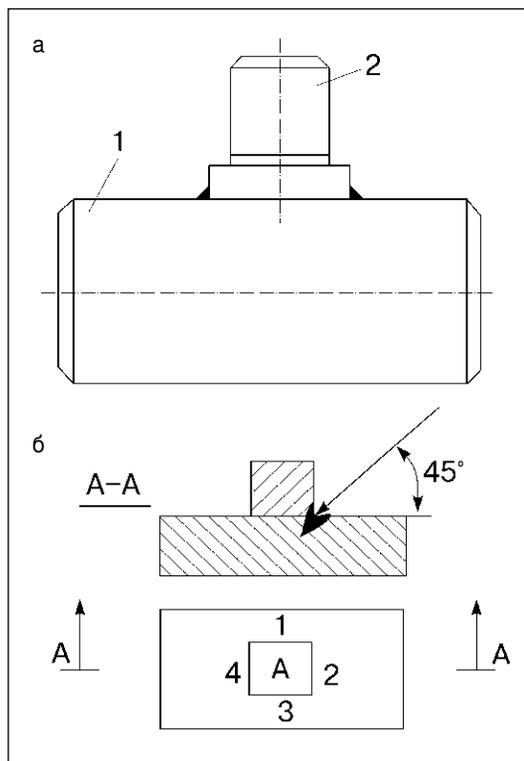


Рис. 8. Схема свариваемого гидрораспределителя высокого давления

ОТ АВТОРОВ

Авторы поздравляют с 70-летием коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона и благодарят его сотрудников — д-ра техн. наук О. К. Назаренко, д-ра техн. наук А. А. Кайдалова, д-ра техн. наук А. А. Бондарева, д-ра техн. наук М. Л. Жадкевича и канд. техн. наук В. Д. Шеляшина за многолетнюю совместную плодотворную работу.

## Внимание специалистов!

Издательство «Экотехнология» в IV квартале 2004 г. готовит к выпуску книги:

**А. А. Кайдалов. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии.** Изд. 2-е, перераб. и доп.

Изложены современные данные об основах физики и технологий сварки, упрочнения, наплавки, резки, сверления, пайки и гравировки с применением аксиально-симметричных электронных пучков с энергией 20–150 кэВ. Описаны технические требования, принципы построения и характеристики оборудования для электронно-лучевых технологий.

Рассмотрены основы автоматического и программного управления технологическими процессами сварки и термоупрочнения поверхностей металлов. Освещен опыт промышленного применения электронно-лучевых технологий.

Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области сварочного производства, может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

**В. Я. Кононенко. Технологии подводной сварки и резки**

Рассмотрены особенности горения дуги, переноса металла и формирования соединения при сварке под водой. Сформулированы принципы создания покрытых электродов и самозащитных порошковых проволок для подводной сварки. Даны характеристики сварочных материалов. Приведены типы сварных соединений, методики подготовки и сборки под сварку, возможные дефекты соединений и способы предупреждения их образования.

Обобщена информация о типичных повреждениях подводных металлоконструкций и предложены технологические решения восстановления конструкций подводной сваркой плавящимся электродом. Представлены марки и характеристики оборудования для дуговой сварки под водой. Приведены основные способы подводной термической резки, сравнительные характеристики электродных материалов, примеры применения технологий подводной термической резки.

Рассчитана на научных и инженерно-технических работников, высококвалифицированных водолазов-сварщиков, работающих в области проектирования, изготовления и ремонта металлоконструкций, эксплуатируемых под водой.

Заявки на книги направляйте в редакцию журнала «Сварщик»: тел./ф. (+380 44) 227 6502; welder@svitonline.com

# Электролитно-плазменная обработка поверхности сварочной проволоки.

## Часть 1

Н. М. Воронай, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Эффективность применения механизированной дуговой сварки в значительной степени зависит от качества подготовки поверхности сварочной проволоки. В зависимости от технологии изготовления и условий хранения на ней может быть технологическая смазка и смазочные вещества, оксиды и продукты химического травления, адсорбированная влага и консервационные покрытия. Для улучшения сварочных свойств проволоки ее поверхность подвергают трудоемким операциям механической очистки, химической обработки или меднения.

Механическая очистка и меднение не обеспечивают полного удаления загрязнений с поверхности металла и снижают его коррозионную стойкость. Традиционные электрохимические способы характеризуются относительно низким рабочим напряжением (до 70 В) и малой производительностью. Повышение напряжения более 90 В изменяет типичный ход электрохимического процесса, приводит к выделению пузырьков газа и испарению электролита. В результате вокруг электрода образуется парогазовая оболочка. Происходит пробой и ионизация оболочки, возникают электрические разряды. На этой стадии сила тока практически не изменяется. Процессы, протекающие в электролите при наличии ионизации, называют электролитно-плазменной обработкой (ЭЛПО), при которой электрохимическое растворение сопровождается электроэрозионным и кавитационным снятием поверхностного слоя металла. Интенсивность обработки в этом случае резко возрастает.

**Обработка стальной сварочной проволоки.** Изучали влияние состава, концентрации и температуры электролита, величины рабочего напряжения на вольт-амперные характеристики процесса ЭЛПО. В экспериментах использовали проволоку марки Св-08Г2С диаметром 2 мм. Образцы проволоки обрабатывали в водных растворах ортофосфорной кислоты, едкого натра, сернокислого и углекислого натрия при напряжении до 200 В. В растворах серной, соляной и азотной кислот обработку не проводили ввиду их высокой агрессивности и выделения вредных веществ. Источником постоянного тока, как правило, служил однофазный двухполупериодный выпрямитель.

Качество обработки поверхности оценивали по внешнему виду проволоки, содержанию в ней водорода, величине контактного сопротивления и сварочно-технологич-

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики ЭЛПО сварочной проволоки Св-08Г2С:  
1 — 40%-ный раствор NaOH;  
2 — 75%-ный раствор H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>;  
3 — 16%-ный раствор Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;  
4 — 16%-ный раствор Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

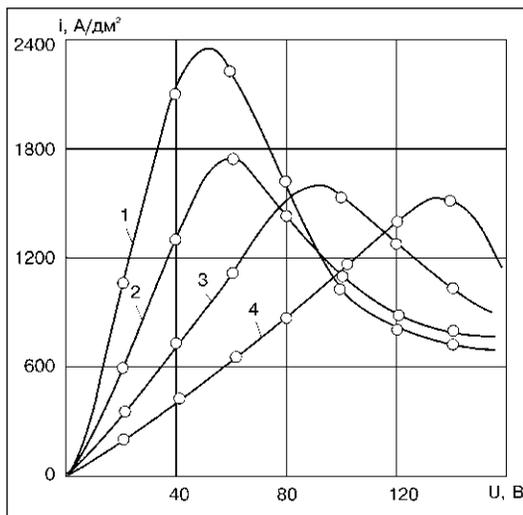
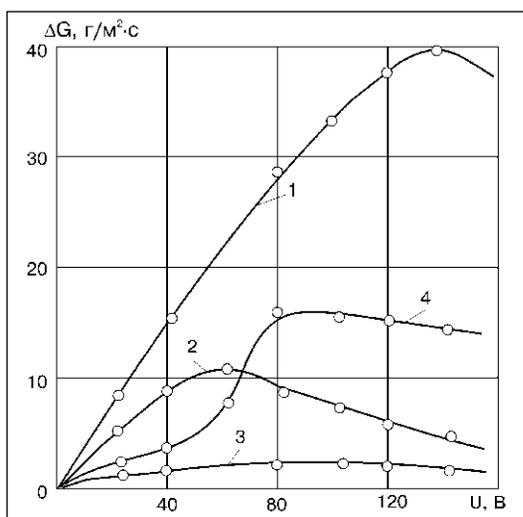


Рис. 2. Влияние напряжения на скорость снятия металла при температуре раствора 298 К:  
1-4 — то же, что на рис. 1



ческим свойствам проволоки. Содержание водорода определяли методом вакуумной экстракции. Контактное сопротивление измеряли по схеме двойного моста с четырьмя зажимами. Склонность обработанной поверхности проволоки к коррозии оценивали по результатам ускоренных испытаний — выдержке образцов над 3%-ным водным раствором хлористого натрия при температуре 298 К. Для испытания сварочно-технологических свойств проволоки, обработанной различными способами, сварили образцы из низколегированной стали постоянным током в углекислом газе.

Вольт-амперные характеристики электролитно-плазменного процесса свидетельствуют, что в растворах щелочи и ортофосфорной кислоты этот процесс наступает при более низких напряжениях, чем в растворах сульфата и карбоната натрия (рис. 1). При использовании таких растворов сила тока стабилизируется, начиная с напряжения 140 В. Возникают периодические электрические разряды.

Наибольшая скорость снятия металла достигается в растворах ортофосфорной кислоты (рис. 2). Для растворов NaOH, сернокислого и углекислого натрия указанный показатель в 2,5–13 раз ниже. Ортофосфорная кислота обеспечивает быстрое и полное удаление с поверхности проволоки технологической смазки и продуктов коррозии, чего нельзя достичь при использовании других растворов. Следовательно, в качестве рабочего раствора для электролитно-плазменной обработки наиболее целесообразно использовать ортофосфорную кислоту.

Скорость снятия металла существенно зависит от напряжения на электродах и концентрации ортофосфорной кислоты (рис. 2, 3). При повышении напряжения до 130–140 В скорость снятия металла плавно возрастает, а затем падает; с повышением концентрации кислоты скорость линейно возрастает, причем в области концентрации свыше 60% она увеличивается более интенсивно (рис. 3, кривая 2).

Влияние температуры раствора на скорость снятия металла незначительно (рис. 3, кривая 1), что позволяет проводить ЭЛПО в широком интервале температур (293–352 К) практически без изменения качества обработки. В этом отношении электролитно-плазменная обработка имеет несомненные преимущества по сравнению с электрохимической.

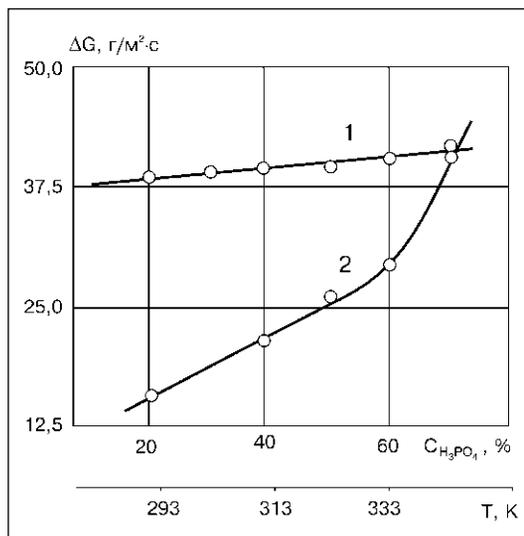


Рис. 3. Зависимость скорости снятия металла от температуры (кривая 1) и концентрации С (кривая 2) ортофосфорной кислоты при напряжении 140 В

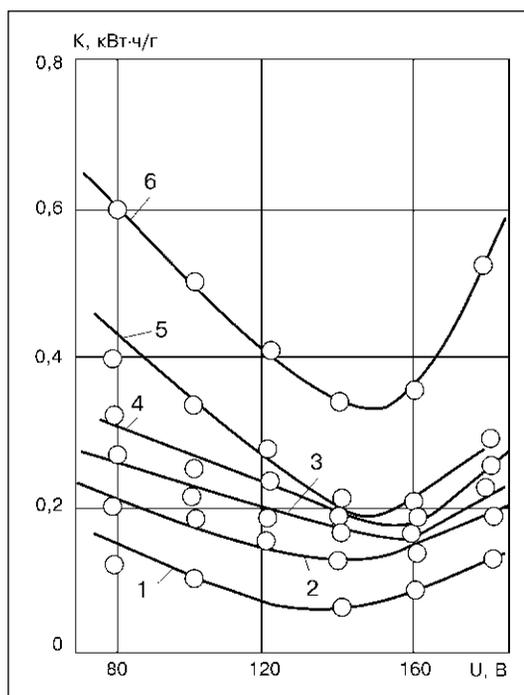


Рис. 4. Зависимость затрат электроэнергии от напряжения при концентрации ортофосфорной кислоты (Т=298 К): 1–6 — соответственно 75, 60, 50, 40, 30, 20%

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4, показывает, что удельные затраты электроэнергии минимальны при электролитно-плазменной обработке в концентрированных растворах ортофосфорной кислоты. При этом достигается наибольшая производительность процесса. Следовательно, разработанная технология ЭЛПО стальной сварочной проволоки включает такие операции: электролитно-плазменную обработку в ортофосфорной кислоте, промывку в холодной воде, нанесение антифрикционного слоя из водного раствора стеарата натрия, сушку проволоки.

Результаты сравнительных испытаний сварочной проволоки Св-08Г2С неочищенной свидетельствуют, что содержание

Таблица. Влияние способа обработки поверхности проволоки Св-08Г2С на ее сварочно-технологические свойства

Способ обработки	Напряжение, В	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Содержание водорода в 100 г проволоки, мл	Контактное сопротивление, Ом·10 <sup>3</sup>	Скорость коррозии, (г/(см <sup>2</sup> ·ч))·10 <sup>3</sup>	Время очистки, с
Без обработки	—	—	6,5–7,8	109–122	7,1–7,5	—
ЭХО	20	120	3,3–3,8	6,1–8,5	2,9–3,2	15,0
ЭЛПО	140	850	2,6–2,8	31,2–36,4	1,5–2,1	0,7

остаточного водорода в проволоке и контактное сопротивление после ЭЛПО снижаются в 2–3 раза (таблица). ЭЛПО обеспечивает полное удаление с поверхности проволоки технологической смазки, оксидов и ржавчины. При этом на проволоке формируется тонкий и плотный оксидный слой, заметно повышающий ее коррозионную стойкость. Наличие антифрикционной пленки толщиной около 0,1 мкм облегчает скольжение проволоки по направляющим каналам сварочного аппарата и исключает

прилипание проволоки к токоподводящему мундштуку при сварке. По сравнению с традиционной электрохимической очисткой при ЭЛПО производительность возрастает в 15–20 раз. Это позволяет существенно уменьшить рабочую длину ванны ЭЛПО, упростить условия эксплуатации оборудования и снизить расход технологических материалов.

**Обработка сварочной проволоки из алюминия и его сплавов.** Поверхность сварочной проволоки из алюминия и алюминиевых сплавов обычно обрабатывают химическим травлением в растворе щелочи с последующим осветлением в растворе азотной кислоты. После такой обработки на поверхности проволоки образуется относительно рыхлый слой оксидов, склонных к последующему утолщению и гидратации. Механическая обработка алюминиевой сварочной проволоки алмазным инструментом, применяемая рядом зарубежных фирм, предусматривает удаление поверхностного слоя металла толщиной 0,1–0,2 мм. Это приводит к безвозвратным потерям 10–20% сварочной проволоки. Скальпированную проволоку упаковывают в инертной атмосфере в герметичную тару, а затем в заваренные полиэтиленовые мешки и картонные коробки. Технологическая себестоимость перечисленных операций соизмерима со стоимостью исходной заготовки. Более экологична технология электролитно-плазменной обработки сварочной проволоки.

Исследовано влияние формы кривой напряжения и состава электролита на производительность процесса и качество ЭЛПО. Использовали сварочную проволоку марок Св-А5, Св-АМц, Св-АМг6 и Св-АК5 диаметром 2 мм. Образцы проволоки при обработке подключали к аноду в растворах ортофосфорной кислоты. Растворы серной, соляной и азотной кислот не испытывали ввиду их высокой агрессивности, а растворы солей и щелочей — из-за образования толстой оксидной пленки на

Рис. 5. Зависимость плотности тока от напряжения процесса ЭЛПО сварочной проволоки Св-АМг6: 1–3 — ОДСВ; 4–6 — ТСВ; 1, 4 — 60% Н<sub>3</sub>Р<sub>0</sub>4; 2, 5 — 70%; 3, 6 — 85%

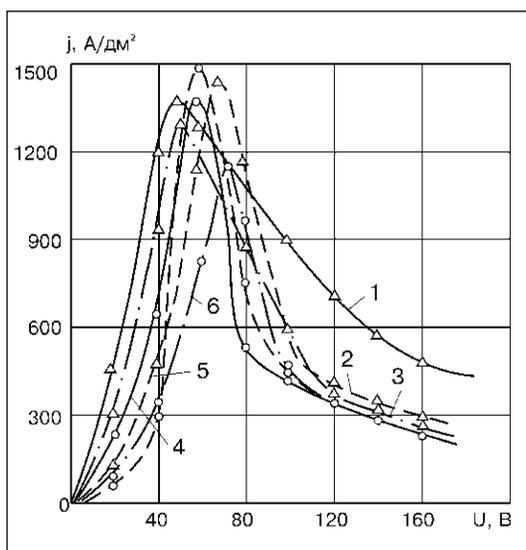
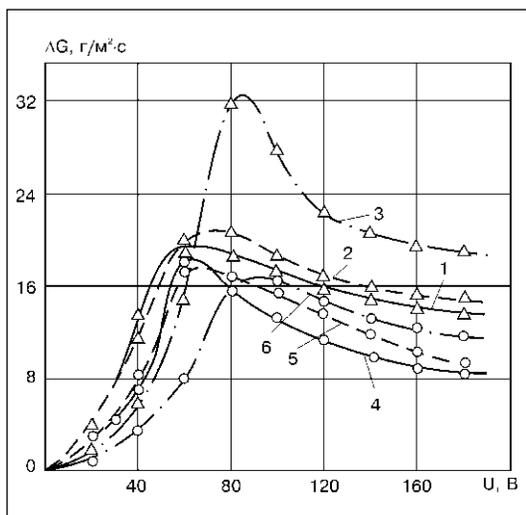


Рис. 6. Зависимость скорости снятия металла от формы кривой напряжения процесса ЭЛПО сварочной проволоки Св-АМг6 в растворах ортофосфорной кислоты: 1–6 — то же, что на рис. 5



поверхности проволоки. В качестве источника питания для ЭЛПО использовали выпрямители с однофазной двухполупериодной (ОДСВ) и трехфазной (ТСВ) системой выпрямления. В ходе испытаний ОДСВ и ТСВ сравнивали по таким показателям:

- форме вольт-амперной характеристики процесса ЭЛПО;
- скорости снятия металла с поверхности проволоки;
- средней высоте неровности;
- толщине оксидной пленки на поверхности проволоки.

Установлено, что вольт-амперные характеристики ЭЛПО при ОДСВ и ТСВ практически идентичны (рис. 5). Форма кривой напряжения оказывает значительное влияние на производительность ЭЛПО и качество поверхности обработанной проволоки. По сравнению с ТСВ система ОДСВ обеспечивает двухкратное увеличение производительности ЭЛПО, способствует уменьшению на порядок толщины оксидной пленки и средней высоты неровностей на поверхности проволоки. На осциллограммах тока и напряжения видно, что при ТСВ в течение каждого полупериода наблюдаются две стадии процесса: электрохимическая и электролитно-плазменная. Обе стадии по длительности примерно равны. При ОДСВ основное снятие материала происходит на электрохимической стадии. Электролитно-плазменная стадия связана с депассивацией поверхности металла. Система ОДСВ по сравнению с ТСВ обеспечивает значительно большую скорость снятия металла (рис. 6). Кроме того, на электрохимической стадии происходит полирование поверхности проволоки, что способствует снижению уровня шероховатости и уменьшению толщины оксидной пленки. Полученные результаты опытов показывают, что в качестве источника питания для ЭЛПО сварочной проволоки из алюминия целесообразно использовать выпрямитель с однофазной двухполупериодной схемой выпрямления.

С повышением концентрации ортофосфорной кислоты с 30 до 80% скорость снятия металла при ЭЛПО возрастает с 12 до 32 г/(м<sup>2</sup>·с). Температура электролита незначительно влияет на скорость снятия металла, что позволяет вести ЭЛПО в широком интервале температур. Сравнительные испытания сварочных свойств проволоки из алюминиевых сплавов, подвергнутой

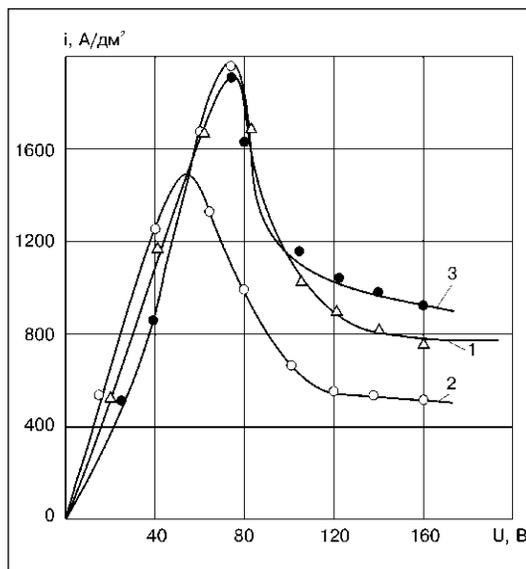


Рис. 7. Вольт-амперные характеристики ЭЛПО сварочной проволоки Св-БрАМц9-2: 1–3 — соответственно 85, 60 и 40%

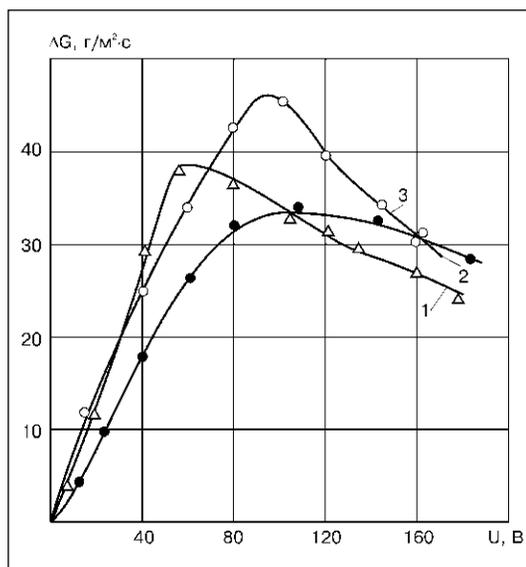


Рис. 8. Зависимость скорости снятия металла от напряжения процесса ЭЛПО: 1–3 — то же, что на рис. 7

ЭЛПО, подтвердили ее высокое качество. Универсальность технологии ЭЛПО позволила использовать одно и то же оборудование для обработки поверхности стальной сварочной проволоки и проволоки из алюминиевых сплавов. При создании промышленных установок для электролитно-плазменной обработки сварочной проволоки разработана оптимальная конструкция токоподвода в рабочие ячейки, обеспечивающая передачу больших плотностей тока на поверхность проволоки и минимальное электроэрозионное разрешение элементов токоподвода.

**Обработка сварочной проволоки из меди и ее сплавов.** Для электрохимической обработки меди и ее сплавов широко применяют фосфорно-хлористые электролиты, однако они имеют существенный недостаток — высокую токсичность, вызван-

(Окончание на стр. 37)

# Новые виды оборудования для термообработки сварных соединений электронагревателями сопротивления

М. И. Мухранов, С. Ф. Колдеев, В. Н. Чушкин, И. П. Кочетков, инженеры, ООО «РСПАлексий» (Москва)

В зарубежной практике широкое применение получили программные установки с электронагревателями сопротивления для местной термообработки сварных соединений. Такие установки разрабатывают и выпускают также отечественные организации. ООО «РСПАлексий» выпускает установки «Термо-1600» мощностью 120 кВ·А и «Термо-3000» мощностью 200 и 300 кВ·А.

Данное оборудование (*таблица*) предназначено для проведения местной термической обработки сварных соединений при монтаже и ремонте технологических и магистральных трубопроводов (газопроводов, нефтепроводов, трубопроводов, находящихся в коррозионно-опасных рабочих средах и т. п.) диаметром до 1420 мм. Возможно также проведение термической обработки сварных соединений паропроводов на промышленных объектах, в т. ч. и на тепловых электростанциях. Мобильные варианты установок «Термо-1200» и «Термо-1600» предназначены для выполнения работ в полевых (трассовых) условиях при монтаже и ремонте магистральных нефтегазопроводов.

Установки «Термо-1600» и «Термо-3000» укомплектованы независимыми программными устройствами типа «Аверон»

для каждого канала нагрева, что обеспечивает проведение автономной термообработки каждым из этих каналов нагрева.

Допускается ручное регулирование процесса термообработки. Программные устройства сохраняют семь программ нагрева с восемью температурными участками.

Контроль работы каждого канала нагрева, заданное значение и реальная температура нагрева отображаются цифровыми индикаторами. Контроль и регистрацию температуры нагрева при термообработке по всем каналам нагрева осуществляют многоканальным аналого-цифровым показывающим и регистрирующим прибором РМТ39Д (регистратор многоканальный регистрирующий) на шесть точек измерения с номинальной статической характеристикой (градуировкой) ХА (К). Температурный цикл термообработки автономно по каждому каналу регистрируется на диаграммной ленте, при этом действительное значение температуры нагрева высвечивается на дисплее. При необходимости информация о проведенном режиме термообработки может быть передана через интерфейс (модуль RS232) в компьютер.

Таблица. Техническая характеристика установок для термообработки

Параметр	Установка				
	«Термо-1600», 120 кВ·А	«Термо-1600», 45 кВ·А	«Термо-1600», 85 кВ·А	«Термо-3000», 200 кВ·А	«Термо-3000», 300 кВ·А
Напряжение питающей сети (3 фазы, 50 Гц), В	380	380	380	380	380
Число независимых каналов нагрева, шт.	6	2	4	6	6; 9
Число программаторов, шт.	6	2	4	6	6; 9
Потребляемая мощность, кВт	120	45	85	200	300
Мощность установок для нагрева, кВ·А	112	42	80	190	285
Напряжение в каждом канале нагрева (макс.), В	85	75	75	85	85; 145
Сила тока в каналах нагрева (макс.), А	320	320	320	360	360
Скорость нагрева (макс.), °С/ч	650	650	650	650	650
Скорость охлаждения (макс.), °С/ч	300	300	300	300	300
Мощность каналов нагрева установок, кВт	19	21	20	32	47,5; 32
Время выдержки (макс.), ч	23,55	23,55	23,55	23,55	23,55
Габаритные размеры, мм	1000×500×1650	500×550×1440	500×770×1550	1000×500×1650	1000×500×1650
Масса, кг, не более	700	450	550	770	920

Скорость нагрева, наличие фаз, регистрацию работы вентиляторов охлаждения и тиристоры показывают светодиодные индикаторы.

Приборы управления эксплуатируют при температуре окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 50 °С, поэтому для нормальной работы установки пульты управления должны быть размещены в специальных кабинках или в закрытых помещениях.

Установки выполнены в однокорпусном исполнении. В верхней части расположены приборы набора программы, регулировки и контроля цикла термообработки, а в нижней части — силовой блок: источник питания (трехфазный трансформатор), блок охлаждения (три вентилятора), а также электронные устройства (12 тиристоры) для плавной регулировки силы тока в каналах нагрева. Изменение тока в электронагревателях в широком диапазоне (от 60 до 320 или 360 А) позволяет гибко регулировать технологический цикл термообработки.

Для термообработки с помощью установок «Термо-1600» и «Термо-3000» можно использовать все известные в России электронагреватели сопротивления типа ГЭН и комбинированного действия типа КЭН (КЭН-1, КЭН-2, КЭН-3, КЭН-4). Допускается также применение электронагревателей сопротивления типа нагревательных матов (поверхностные электронагреватели) мощностью 2,7 кВт (45 А, 60 В).

Установки имеют «Сертификат соответствия», выданный Госстандартом России и «Гигиеническое заключение», выданное Министерством здравоохранения России, что позволяет использовать их для работы за рубежом. По требованию заказчика установки дополнительно комплектуют сварочными источниками питания для независимой работы трех электросварщиков, а также устройством для плазменной резки металла толщиной до 100 мм.

Установки обеспечены следующими средствами защиты:

- от превышения силы тока в каналах нагрева;
- от замыкания на оголенный сварочный кабель, электрододержатель и т. п. (с подачей звукового сигнала); приборов регистрации и контроля температуры;
- от отключения установок посторонними лицами (необходим пароль);
- от колебания напряжения в электросети (допускает работу при напряжении 350–400 В).

Для выполнения относительно небольших объемов работ по термообработке сварных соединений трубопроводов предусмотрена замена установки «Термо-1600» мощностью 120 кВт с шестью каналами нагрева на установки «Термо-1600» мощностью 45 кВт·А с двумя автономными каналами нагрева и мощностью 85 кВт·А с четырьмя автономными каналами нагрева (см. таблицу). У этих типов установок каждый канал нагрева также имеет независимое программное устройство.

Очередной разработкой ООО «РСИ Алексей» является передвижной комплекс для термообработки сварных соединений на базе автомобиля «Урал» или «КамАЗ» различных модификаций.

В состав передвижного комплекса входит, например, автомобиль «Урал» 6×6, с установленным на нем фургоном. Внутри фургона находится установка для термообработки «Термо-1600» мощностью 120 кВт·А или «Термо-3000» мощностью 200 кВт·А, а также дизель-генераторная установка ДГУ-100 или ДГУ-200. Между ними размещена звукопоглощающая перегородка.

**Техническая характеристика мобильного комплекса:**

**Автомобиль «Урал» 6×6**

Номинальная мощность, кВт	175
Масса груза на шасси, кг	12000
Масса автомашины, кг	8310
Полная масса мобильного комплекса, кг	20535
Максимальная скорость движения автомобиля, км/ч	75
Габаритные размеры фургона (кунга), мм	5700×2500×2100

**Дизель-генераторная установка ДГУ-100(-200)**

Номинальная мощность, кВт	100(200)
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,25(0,3)
Род тока	Переменный, трехфазный
Линейное напряжение, В	380
Частота тока, Гц	50
Температура окружающей среды, °С	От -50 до +50
Габаритные размеры, мм	2800(2865)×1280(1330)×1630(1715)
Масса, кг	2800(3000)

Фургон изготовлен из цельнометаллического каркаса, снаружи обшит стальным листом толщиной 1,5 мм, утеплен и оборудован отопителем типа ОВ-65, что позволяет эксплуатировать его в зимних условиях при температуре до минус 50 °С. Снаружи фургона предусмотрены закрывающиеся ящики для хранения кабелей, теплоизоляционных матов и т. п. По боковым сторонам фургона (снаружи) предусмотрены выносные бортовые панели для подключения кабелей, термоэлектродных проводов и т. п.

Установка укомплектована кабелями, позволяющими проводить термообработку от электрической сети 380 В, там где есть электроподстанции. Кроме того, электрооборудование, находящееся в фургоне, имеет защиту от перекоса электрических фаз при проведении работ по однофазной системе.

● #487

# Машина нового поколения для термической резки металлов «Кристалл-ТМ»

*Е. Н. Верещаго, канд. техн. наук, Национальный университет кораблестроения (Николаев),  
О. Ф. Просянов, директор, НПП «УкрТермМаш» (Николаев)*

Накопленный в последнем десятилетии в Национальном университете кораблестроения и на НПП «УкрТермМаш» опыт модернизации машин для термической резки с копировальными или программными (РМ 32, 2Р32М и др.) системами управления, отслужившими свой срок, а также последние результаты исследований и разработок в области автоматизации резки послужили основой для создания новой конструкции машины серии «Кристалл».

В настоящее время на НПП «УкрТермМаш» начато производство базовой машины «Кристалл-ТМ» с совмещенной режущей оснасткой. Она представляет собой точную и мощную порталную машину модульной конструкции с двухсторонним продольным приводом и системой контроля синхронности движения, оснащенную компьютерной системой управления типа CNC (современный аналог числового программного управления). Данная машина (рисунок) предназначена для фигурного раскроя листового проката всех электропроводных материалов.

Надежная механическая часть и современная электроника (отличительные признаки машины нового поколения) обеспечивают высокую производительность, хорошее качество реза и максимальное исполь-

зование листа. Скорость перемещения и позиционирования достигает 12 000 мм/мин (ускоренный ход 20 000 мм/мин).

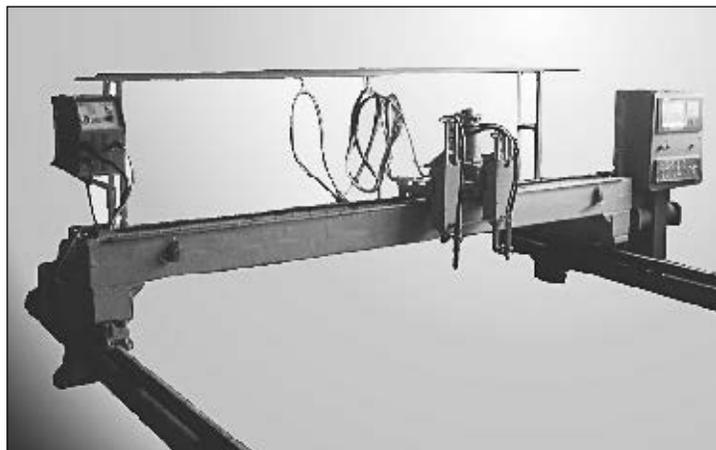
Машины нового поколения по виду и количеству устанавливаемых горелок или инструментов являются гибкими. Они предназначены для автогенной (3–300 мм), плазменной (0,5–100 мм) и комбинированной резки.

## **Техническая характеристика машины «Кристалл-ТМ»:**

*Скорость резания,  
м/с (м/мин) . . . . . 0,0012–0,2 (0,07–12,0)  
Максимальная скорость перемещения по осям X и Y, м/с (м/мин) . . . 0,33 (20,0)  
Максимальная скорость перемещения по оси Z, м/с (м/мин) . . . . . 0,05 (3,0)  
Максимальное ускорение по осям X и Y, м/с<sup>2</sup> . . . . . 2,0  
Точность позиционирования, мм/м:  
статическая . . . . . ±0,02  
повторяемая . . . . . ±0,03  
Дискретность, мм. . . . . 1,0; 0,1; 0,01; 0,001  
Коэффициент неравномерности перемещения резака, не более . . . . . 0,0025  
Точность резки, мм, не хуже . . . . . ±0,3  
Точность поддержания расстояния резака от поверхности листа, мм. . . . . ±0,5  
Наибольшая ширина и длина обрабатываемости листа, мм . . 3200×16000*

Для прецизионной и производительной обработки данные машины предлагают использовать в соединении с плазменным исполнением известных фирм Hypertherm (Гипертерм), Kjellberg (Килльберг). В этом случае речь идет об использовании новейших технологий HyDefinition (высокой точности), HySpeed (высокой скорости) и LohgLife (повышенный срок службы быстрознашивающихся деталей), позволяющих получить превосходное качество (по-

Рисунок. Машина «Кристалл-ТМ»



верхность резов не требует последующей обработки для сварки) и точность резки, сравнимые с показателями качества и точности, достигаемыми при использовании лазерной технологии. Высокое качество реза и увеличенный срок службы сопел и электродов достигаются применением технологии вихревого газа, мультигазового режима:  $O_2$ ,  $Ar/H_2/N_2$ ,  $Ar/H_2$ ,  $Ar/N_2$ , тонкоструйного принципа.

Для стандартной плазменной резки машину комплектуют отечественными источниками питания, используют горелки OTC, Thermal Dynamics или Binzel. Подобное сочетание дает высокое качество резки при минимальных затратах.

Новейшая система управления CNC TM 321 обеспечивает удобство при резке, а по своим параметрам превосходит остальные системы управления, применяемые для функционирования машин термической резки. Ниже приведены некоторые новые функции системы СЧПУ TM 321:

- автоматический доворот контуров по положению листа;
- пользовательские макросы;
- автоматическое масштабирование при отображении;
- автоматическое исправление ошибок УП;
- поиск деталей в графическом режиме;
- просмотр увеличенного текущего фрагмента объекта и др.

Формат подготовки управляющих программ (кодирование обрабатываемых деталей) ESSI/ISO.

Внедрение базовой модели универсальной машины «Кристалл-ТМ» позволяет повысить производительность, точность и качество резки при минимальном уровне временных и материальных затрат на проектирование технологии, изготовление и пусконаладочные работы. Модульное исполнение машины обеспечивает быстрое реагирование на требования заказчика.

● #488

## Электролитно-плазменная обработка поверхности сварочной проволоки.

### Часть 1

(Окончание. Начало на стр. 30–33)

ную наличием хромового ангидрида  $CrO_3$ . Для такого процесса характерна большая длительность обработки и сильное наводо-раживание металла. Для электролитно-плазменной обработки поверхности сварочной проволоки из меди и ее сплавов разработан электролит, содержащий ортофосфорную кислоту и небольшие добавки поверхностно активных веществ. Сварочную проволоку Св-БрАМц9-2 обрабатывают при относительно малой температуре электролита (20–60 °С), удаляя слой металла толщиной 3–5 мкм. Плотность тока и скорость снятия металла в данном случае также зависят от напряжения на электродах и концентрации электролита (рис. 7, 8). С повышением напряжения до 80 В плотность тока и скорость снятия металла увеличивается при любой концентрации элек-

тролита. Дальнейшее повышение напряжения уменьшает эти показатели. Максимальная скорость снятия металла достигается в растворе 60%-ной ортофосфорной кислоты. При обработке проволоки в турбулентном потоке электролита время очистки снижается до 0,3–0,5 с. Затраты электроэнергии на снятие металла при ведении процесса ЭЛПО в 60%-ном растворе ортофосфорной кислоты на напряжении до 90 В минимальны.

Проволока Св-БрАМц9-2 в исходном состоянии обычно покрыта толстым слоем оксида алюминия и ее контактное сопротивление достаточно велико (580–600 Ом·10<sup>3</sup>). ЭЛПО снижает величину контактного сопротивления примерно в 70 раз (до 7–8 Ом·10<sup>3</sup>). При этом поверхность проволоки после ЭЛПО не окисляется в течение длительного времени, а содержание остаточного водорода остается постоянным (в 1,5 раза ниже, чем у проволоки в исходном состоянии).

● #486

*Продолжение в следующем номере.*



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

### Каковы особенности сварки плавлением серебра и его сплавов?

*В. А. Лебедев (С.-Петербург)*

Трудности при сварке плавлением серебра и его сплавов (листы, полосы, трубы, проволока) вызваны прежде всего особыми физическими свойствами этого металла: большая теплопроводность требует применения концентрированных источников теплоты и предварительного подогрева до 500–600 °С, высокий коэффициент теплового расширения способствует возникновению значительных напряжений и деформаций изделий.

Большая растворимость кислорода в жидком серебре и скачкообразное резкое падение его растворимости в закристаллизовавшемся металле приводят к выделению кислорода из раствора с образованием оксида  $Ag_2O$ ; возможно существование эвтектики  $Ag_2O-Ag$  ( $T_{пл}=507\text{ °C}$ ), в результате чего металл становится хрупким. При плавлении и сварке серебро интенсивно испаряется.

Сварка сплавов на основе серебра, содержащих такие элементы, как алюминий, медь, кремний, кадмий, связана с дополнительными трудностями, обусловленными их склонностью к внутреннему окислению. При окислении легирующих добавок резко понижается пластичность и повышаются прочностные показатели. Из-за большой жидкотекучести и подвижности расплава серебра его сварку плавлением выполняют в нижнем или слегка наклонном положении. Хорошо зарекомендовала себя газовая и дуговая сварка серебра неплавящимся электродом в аргоне.

*Газовую сварку* осуществляют при нормальном восстановительном ацетиленокислородном, а также метаноокислородном пламени. Мощность пламени принимают

из расчета 100–150 л/ч горючего газа на 1 мм толщины свариваемого металла. Используют присадочную проволоку, содержащую раскислитель — алюминий (0,5–1 масс. %). Рекомендуют флюс, приготовленный на этиловом спирте из равного количества буры и борного ангидрида с добавкой 10 масс. % стандартного флюса, предназначенного для газовой сварки алюминия. Флюс наносят на свариваемые кромки или на присадочный пруток.

Газовую сварку выполняют справа налево без поперечных колебаний. Горелку располагают под прямым углом или слегка наклонно к свариваемой поверхности, выдерживая расстояние ядра пламени от поверхности сварочной ванны 3–4 мм. Швы весьма склонны к образованию пор. Механические свойства соединений из серебра, выполненных газовой сваркой, нестабильны: предел прочности  $\sigma_B=98,1...127,5$  МПа, угол загиба  $\alpha=30...180^\circ$ .

*Аргонодуговую сварку серебра* неплавящимся электродом проводят на постоянном токе прямой полярности с использованием аргона первого сорта по ГОСТ 10157. Рекомендуют применение присадочной проволоки из серебра с добавками раскислителей (никеля, палладия, РЗМ и др.). При ручной сварке процесс ведут справа налево углом вперед без поперечных колебаний. Угол наклона горелки к плоскости свариваемых деталей 60–70°, присадочную проволоку подают под углом 90° к вольфрамовому электроду; не следует выводить проволоку из зоны, защищаемой инертным газом, так как конец присадки может окислиться.

Сварку стыковых соединений выполняют обычно на подкладках с обязательным поддувом инертного газа для защиты обратной стороны (корня) шва. Возможна также сварка серебра на весу. В этом слу-

**Таблица 1. Ориентировочные режимы аргонодуговой сварки серебра вольфрамовым электродом (постоянный ток прямой полярности)**

Толщина металла, мм	Условия сварки	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Расход аргона, л/мин
1,0	Встык с отбортовкой кромок	2,0	60–70	—	3–4
2,0	Встык без зазора, на весу	2,0	120–130	2–3	4–5
3,0	То же	3,0	150–160	3	6–7

**Таблица 2. Механические свойства сварных соединений из серебра**

Способ сварки	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Угол загиба, ...°
Газовая	161,9	28,5*	180*
Ацетиленоxygenным пламенем	116,7	14,5	67
Плавящимся электродом в аргоне	58,9	4,5	—
Неплавящимся электродом в аргоне на переменном токе	132,4	21,3	180
То же на постоянном токе	138,3	23,8	180
В камере с контролируемой атмосферой аргона	157,9	24,5	180

\* Данные относятся к основному металлу — серебру с чистой 99,99 масс. % (b=2 мм).

чае по мере нагрева металла в процессе сварки рекомендуют снижать силу сварочного тока до значений, обеспечивающих выполнение швов без прожогов и протеканий. Ориентировочные режимы приведены в табл. 1.

Механические свойства соединений из серебра, выполненных электродуговой сваркой, выше механических свойств соединений, выполненных газовой сваркой (табл. 2). Наиболее стабильными свойствами, приближающимися к свойствам основного металла, обладают соединения, сваренные в камере с контролируемой атмосферой аргона, что объясняют более надежной защитой сварочной ванны от воздействия воздуха. Формирование швов является оптимальным при сварке неплавящимся электродом с использованием постоянного тока прямой полярности. Такие сварочные швы имеют повышенную стойкость к образованию пор.

Вследствие малой прочности, а также с целью экономии серебро часто используют в качестве плакирующего коррозионно-стойкого слоя. Серебро, наплавленное непосредственно на сталь, имеет с последней плохое сцепление, на линии сплавления наблюдается большое количество пор, возможно образование трещин в стальном слое, заполненных серебром. Поэтому в ряде случаев рекомендуют промежуточную наплавку никелем, медью или сплавами на ее основе. Прокровка наплавки в горячем

состоянии позволяет уплотнить и повысить пластичность, снизить напряжения.

При аргонодуговой наплавке серебра на сталь рекомендуют применять флюс следующего состава, масс. %: тетрафторбората калия — 30–35, криолита — 35–40, фтористого натрия — 20–22, хлористого натрия — 5–10. При наплавке с флюсом прочность сцепления серебра со сталью заметно повышается: при наплавке без флюса она составляет 29,4–39,2 МПа, при наплавке с флюсом — 98,1–137,3 МПа. ● #489

## Поздравление

*Редколлегия, редакционный совет и редакция журнала «Сварщик» поздравляет с 75-летием своего постоянного автора – профессора, д-ра техн. наук, лауреата Премии правительства Российской Федерации **Феликса Афанасьевича Хромченко**, одного из ведущих ученых-сварщиков АО «Всероссийский теплотехнический институт».*

*От всей души  
желаем **Феликсу Афанасьевичу** здоровья,  
успехов, новых научных достижений!*



# Современные средства местной вентиляции для сварочного производства

О. Г. Левченко, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины,  
Н. Ю. Агасьян, МНТЦ «Темп» (Киев)

Надежную защиту органов дыхания сварщиков, а также окружающей среды от вредного воздействия сварочных аэрозолей (СА) можно обеспечить, применяя современные персональные фильтровентиляционные агрегаты (ФВА), которые улавливают выделяющийся СА непосредственно у источника его образования, очищают воздух от вредных веществ и возвращают обратно в производственное помещение. При этом требуется удалять небольшие объемы воздуха, для чего применяют маломощные вентиляторы. Поэтому данные установки позволяют не только защищать сварщиков и окружающую среду, но и экономить электроэнергию за счет снижения ее потребления для внутрицеховой приточно-вытяжной механической вентиляции. Мировой опыт показал, что ФВА, предназначенные для решения своей прямой задачи — защиты от вредных веществ, вместе с тем являются и экономически выгодной продукцией. При использовании ФВА вместо общеобменной вентиляции или даже в комбинации с ней срок окупаемости таких агрегатов составляет до 1,5 года.

Новые модели передвижных ФВА «Темп-2000», «Темп-НТ» и «Темп-НТ-М» (совместные разработки ИЭС им. Е. О. Патона и МНТЦ «Темп») предназначены для работы в различных производственных условиях. Они обеспечивают эффективное улавливание СА и высокую степень очистки воздуха, легкую очистку фильтров. Срок использования этих фильтров достаточно продолжителен, поскольку здесь механическая фильтрация загрязненного аэрозолем воздуха происходит на специаль-

ном рукавном трехступенчатом фильтре увеличенной емкости.

Базовая модель ФВА — «Темп-2000» (рис. 1) состоит из вентиляционного блока, тканевого фильтра, бункера для сбора осажденной твердой составляющей СА (пыли), передвижной тележки и воздуховода с фиксирующим устройством.

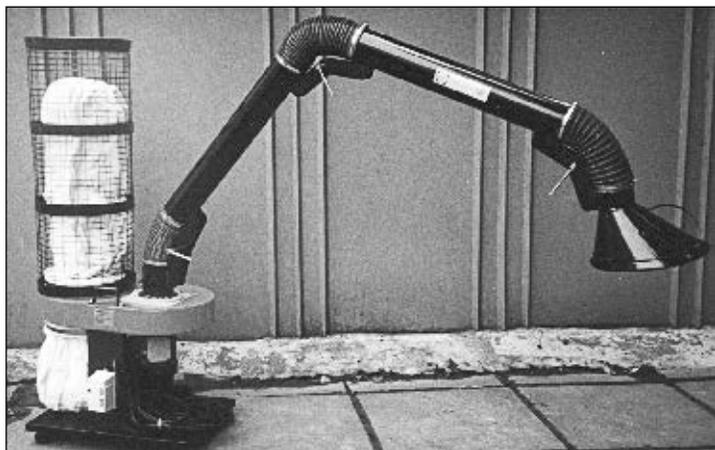
Вентиляционный блок имеет корпус специальной конструкции, электродвигатель и радиальный вентилятор.

Фильтр представляет собой цилиндрическую емкость сложной формы (рукав в рукаве) из ткани в корпусе из металлической сетки. В зависимости от назначения ФВА могут комплектовать специально подобранными фильтрующими материалами из тканей различных марок: в одних случаях только для очистки воздуха от твердой составляющей СА, в других — от твердой составляющей и газообразных компонентов СА, что зависит от применяемого способа сварки и вида сварочного материала. В качестве фильтрующего элемента для улавливания твердой составляющей СА используют комбинацию синтетических материалов различных видов, для очистки воздуха от газов — специальные сорбционно-фильтрующие ионообменные волокнистые материалы. Фильтрующий элемент крепят к вентиляционному агрегату хомутом, что позволяет быстро производить его замену.

Бункер для сбора осажденной твердой составляющей СА — это цилиндрическая емкость из тканевых фильтрующих материалов тех же марок, что и фильтр, за счет чего увеличивается общая фильтрующая поверхность и соответственно срок службы фильтрующих элементов. Собранную в бункере и на фильтрующем элементе пыль периодически можно легко утилизировать в процессе работы или при замене фильтрующего элемента, что не требует от сварщика особого труда.

Воздуховод для удаления из зоны сварки загрязненного воздуха состоит из приемной воронки, двух секций металлических труб диаметром 160 мм, соединенных

Рис. 1.  
Фильтровентиляционный агрегат «Темп-2000»



между собой на изгибе гибким гофрированным шлангом, и подвижных шарнирных устройств для фиксации воздуховода в различных пространственных положениях. В агрегатах «Темп-НТ» (рис. 2) и «Темп-НТ-М» (рис. 3) применен гибкий воздуховод, состоящий из отдельных секций, соединенных между собой металлическими хомутами, и воздухозаборной воронки с магнитным фиксатором. Такая конструкция воздуховода позволяет удалять СА из труднодоступных мест.

Корпус ФВА расположен на тележке с колесами для передвижения агрегата при изменении места работы, что необходимо при сварке крупногабаритных конструкций.

При работе агрегата на входе в воздуховод создается разрежение, и выделяющийся в процессе сварки СА улавливаются воздухоприемной воронкой, установленной на минимальном расстоянии от сварочной дуги. Загрязненный аэрозолем воздушный поток поступает в верхнюю часть агрегата на рукавный тканевый фильтр, а также в нижнюю часть ФВА (бункер), где происходит очистка воздуха и выброс его в атмосферу.

Применяемый в ФВА вентилятор с электродвигателем мощностью 1,2 кВт дает возможность удалять воздух в объеме не менее 1500 м<sup>3</sup>/ч, что позволяет обеспечить практически полное улавливание СА при расположении воздухоприемной воронки на расстоянии, не мешающем работе сварщика.

Регенерация (очистка) фильтрующего элемента от осажженной на нем пыли осуществляется автоматически в момент включения и выключения электрического питания агрегата. При этом резко снижается давление в фильтре, фильтр опускается и сбрасывает осажденную пыль в бункер. Противогазовый сорбционно-фильтрующий элемент не регенерируется. Поэтому его необходимо периодически заменять вместе с противопылевым фильтрующим элементом.

Преимущество ФВА данной конструкции заключается в том, что предварительное осаждение крупных частиц СА на фильтрующих материалах грубой очистки частично исключает забивание мельчайших пор фильтра крупными частицами, резко снижающее фильтрационную способность (за счет повышения аэродинамического сопротивления). Поэтому емкость и срок службы рукавного трехслойного фильтра в зависимости от производственной нагрузки может составлять от одного до четырех месяцев.



Рис. 2.  
Фильтровентиляционный агрегат «Темп-НТ»

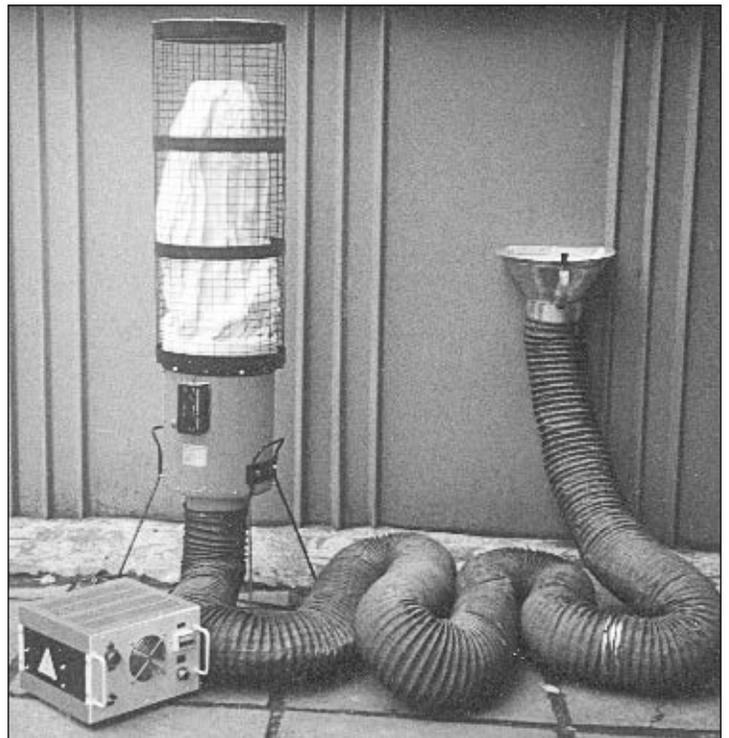


Рис. 3.  
Фильтровентиляционный агрегат «Темп-НТ-М»

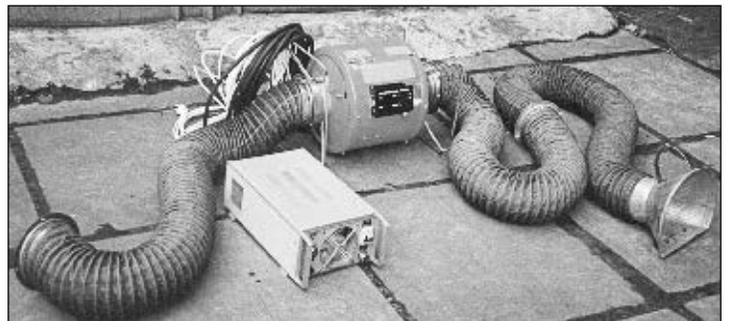


Рис. 4. Вентиляционный агрегат «Темп-НВ»

**Техническая характеристика ФВА:**

	<b>«Темп-2000» и «Темп-НТ»</b>
Производительность удаления воздуха, м <sup>3</sup> /ч. . . . .	1500–2000
Степень очистки воздуха, % . . . . .	90–99,5
Разрежение на входе в воздуховод, Па. . . . .	1500
Мощность электродвигателя, кВт. . . . .	1,2
Напряжение питания, В (трехфазное). . . . .	380
Площадь рабочей поверхности фильтрующего элемента, м <sup>2</sup> . . . . .	0,9
Габаритные размеры (без воздуховода), мм . . . . .	1000×750×500
Масса, кг, не более. . . . .	55

**«Темп-НВ» «Темп-НВ-М»**

Производительность удаления (нагнетания) воздуха, м <sup>3</sup> /ч. . . . .	1500–2000 . . . . . 3500–4000
Напряжение питания (переменный ток), В . . . . .	0,80 . . . . . 1,35
Напряжение на выходе преобразователя, В. . . . .	220–380 . . . . . 220–380
Диаметр воздуховодного шланга, мм. . . . .	24 . . . . . 24
Длина воздуховодного шланга, м . . . . .	150 . . . . . 200
Длина сетевого кабеля, м . . . . .	6–10 . . . . . 20
Длина силового кабеля, м . . . . .	15 . . . . . 15
Габаритные размеры блока питания, мм. . . . .	400×400×550; 400×400×700; 130×270×500. . . . . 200×300×500
Масса агрегата, не более, кг . . . . .	12,5. . . . . 12,5–25

В комплект поставки входят запасные фильтры, обеспечивающие работу ФВА в течение года. По отдельным заказам изготовитель может поставить сменные фильтры в необходимом количестве.

Особенностью ФВА «Темп-НТ-М» является то, что он предназначен для работы в условиях повышенной электрической опасности. Поэтому для питания специальный низковольтный вентилятор ФВА снабжен блоком-преобразователем переменного тока напряжением 220 или 380 В в постоянный напряжением 24 В.

Низковольтные вентиляционные агрегаты «Темп-НВ» (рис. 4) и «Темп-НВ-М» предназначены для удаления загрязненного воздуха при проведении сварочных, покрасочных, зачистных и других работ в недоступных для обычного вентилирования закрытых пространствах (внутри цистерн, емкостей, трюмов судов, магистральных трубопроводов и т. п.), а также для нагнетания чистого воздуха. Этот агрегат также способен работать в полевых условиях, питаясь от бортовой системы электрического питания автомобиля.

Серийное производство указанных моделей ФВА (ТУУ 05416923.054–2000) и низковольтных вентиляционных агрегатов налажено в МНТЦ «Темп» — ООО «Габитус». На основе ФВА «Темп-2000» предусмотрено также (по заявкам предприятий) изготовление и монтаж стационарных фильтровентиляционных систем на различное количество сварочных постов. ● #490



## Памяти Юрия Григорьевича Мосенкиса

В сентябре 2004 г. безвременно ушел из жизни известный специалист в области сварочного производства, главный сварщик завода «Ленинская кузница», кандидат технических наук Юрий Григорьевич Мосенкис.

Юрий Григорьевич родился 9 июля 1931 г. Свой трудовой путь после окончания Киевского политехнического института он начал на Харьковском заводе «Электротяжмаш». С 1962 г. его инженерная и научная деятельность неразрывно связана с заводом «Ленинская кузница», где в полной мере проявился его талант исследователя и руководителя. Он внес весомый вклад в разработку и внедрение в производство новых технологий и сварочных материалов, повышение эффективности автоматической сварки судокорпусных конструкций. Наряду с производственной деятельностью Юрий Григорьевич успешно занимался научной работой, результаты которой он обобщил в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Высокие деловые и человеческие качества Юрия Григорьевича снискали ему признание и уважение коллег-сварщиков. Он был инициатором создания и Президентом Ассоциации специалистов по сварке, а в 1992 г. был избран в руководящий состав Общества сварщиков Украины. Эрудиция, порядочность, чуткость и огромное личное обаяние всегда привлекали к нему людей. Его увлеченность делом, которому он посвятил всю жизнь, может служить примером преданности своей профессии для нынешнего и будущего поколений инженеров-сварщиков.

Светлая память о Юрии Григорьевиче Мосенкисе навсегда сохранится в наших сердцах.

Совет Общества сварщиков Украины, редакционная коллегия,  
редакционный совет и редакция журнала «Сварщик»



# Учебное пособие «Перенос металла и саморегулирование электрической дуги при сварке в защитных газах»

В. Е. Пономарев, ИЭС им. Е. О. Патона, А. М. Сливинский, НТУУ «КПИ»

При сварке в защитных газах (MIG/MAG) происходят сложные динамические явления:

- формирование капель металла на торце электродной проволоки и их переход в сварочную ванну;
- установление новых значений напряжения дуги и силы тока сварки после изменения напряжения холостого хода источника питания или скорости подачи электродной проволоки;
- восстановление первоначальной длины дуги после ее удлинения или сокращения (принцип саморегулирования длины дуги).

При описании таких динамических процессов часто не удается передать все их особенности, поэтому наилучшим методом для регистрации, изучения и демонстрации типов переноса электродного металла является видеосъемка области дуги.

Многие динамические явления, происходящие при дуговой сварке, можно проиллюстрировать с помощью компьютерной анимации. С учетом этого подготовлено современное учебное пособие «Перенос металла и саморегулирование электрической дуги при сварке в защитных газах» для инженеров-сварщиков и практиков-сварщиков в соответствии с требованиями Международного института сварки. Данное учебное пособие выпущено в электронном виде на компакт-диске. Кроме того, для удобства пользования эти материалы представлены и в виде брошюры, в которой приведены все слайды из презентационной

версии с пояснениями. В качестве примера ниже приведен фрагмент, в котором дается обзор типов переноса электродного металла.

**Слайд 2.** Одной из основных особенностей процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом является перенос электродного металла через дугу в сварочную ванну. Перенос металла осуществляется посредством капель расплавленного электродного металла, формирующихся на торце электродной проволоки. Их размер и частота перехода в сварочную ванну зависят от материала и диаметра электродной проволоки, типа защитного газа, полярности и значения силы тока сварки, напряжения дуги, давления окружающей среды и других факторов.

Перенос металла происходит, в основном, в двух формах. При первой форме капля касается поверхности сварочной ванны еще до отделения от торца электрода, образуя короткое замыкание, отчего такой процесс получил название *переноса с короткими замыканиями* (см. раздел E1813–01). При второй форме капля отделяется от торца электрода без касания поверхности сварочной ванны (благодаря поддержанию длинной дуги) — *перенос свободно летящими каплями*. Вторая форма переноса металла подразделяется, согласно классификации Международного института сварки, еще на пять отдельных типов в зависимости от особенностей формирования и отделения капель электродного металла от торца электрода: *крупнокапельный* (см. E1814–01), *мелкокапельный*





(см. E1815-01), *струйный* (см. E1815-01), *струйно-вращательный* и *крупнокапельный с отклоненной каплей*.

**Слайд 3.** Форма переноса электродного металла зависит, в основном, от параметров режима сварки (напряжения дуги и силы тока). На характер переноса металла оказывают влияние также и другие факторы, главным из которых является состав газовой защиты. Более подробная информация о представленных типах переноса металла изложена в разделах E1813-01 «Перенос металла при сварке с короткими замыканиями», E1814-01 «Крупнокапельный перенос металла», E1815-01 «Мелкокапельный и струйный перенос металла», E1818-01 «Перенос металла при импульсно-дуговой сварке».

Если типы переноса электродного металла, их преимущества и недостатки продемонстрированы с помощью видеоклипов, то особенности внешних вольт-амперных характеристик источников питания и принцип их построения показаны с помощью компьютерной анимации.

В материалах также рассмотрены некоторые причины разбрызгивания металла (показано на приведенных слайдах).

При сварке длинной дугой в среде  $\text{CO}_2$  наблюдается выбрасывание металла из сварочной ванны, вызываемое выделением из нее газов, образующихся в результате металлургических реакций.

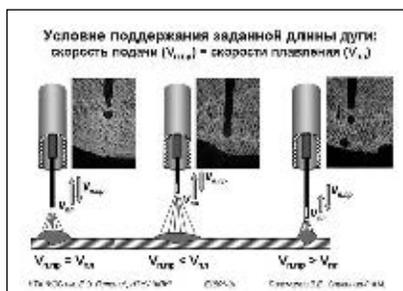
В пособии также подробно описано, что происходит в дуге при установлении новых значений напряжения дуги и силы тока сварки после изменения напряжения холо-

стого хода источника питания или скорости подачи электродной проволоки, а также при восстановлении первоначальной длины дуги после ее удлинения или сокращения.

**Перечень тематических разделов:**

1. Видеосъемка области дуги с синхронной регистрацией параметров процесса сварки MIG/MAG.
2. Свойства электрической сварочной дуги.
3. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания для электродуговой сварки.
4. Регулирование напряжения дуги и силы тока сварки.
5. Принципы саморегулирования дуги.
6. Влияние полярности тока на процесс сварки.
7. Иллюстрация основных типов переноса металла при сварке MIG/MAG.
8. Силы, действующие на каплю.
9. Перенос металла при сварке с короткими замыканиями.
10. Крупнокапельный перенос металла.
11. Мелкокапельный и струйный перенос металла.
12. Типы смешанного переноса металла. Сварка короткой дугой.
13. Типы смешанного переноса металла. Сварка длинной дугой.
14. Перенос металла при импульсно-дуговой сварке.
15. Способы управления переносом металла при сварке с короткими замыканиями.
16. Оптимизация переноса металла при сварке в среде  $\text{CO}_2$ .
17. Причины разбрызгивания металла.

● #491







# Тарифы на рекламу

## На внутренних страницах

Площадь	Размер, мм (гор.-верт.)	Цена			
		Гривни*		Евро**	
		Ч/б	Цветн.	Ч/б	Цветн.
1 полоса	180×254	1580	2380	315	480
1/2 полосы	180×125	880	1320	180	270
1/4 полосы	88×125	530	800	110	160
1/8 полосы	88×60	330	500	75	100

## На страницах обложки

Страницы	Размер, мм	Цена	
		Гривни*	Евро**
Последняя	205×285	4244	665
Другие	205×285	3168	498

## Строчные позиции

в «Торговом ряду» (цены в грн. с НДС и ННР)

Кол-во позиций	Цена (грн.)		
	обычные позиции	выделенные рамкой	прайс- блок
• От 1 до 5	60	80	100
• От 6 до 10	100	130	160
• За каждые последующие 5	40	50	60

**Логотип в прайс-блоке — 50 грн.**

**Изготовление оригинал-макета —**

10% стоимости рекламной площади

**Статья на правах рекламы —**

50% стоимости рекламной площади

**Прогрессивная система скидок**

Количество подач	2	3	4	5	6 и более
• Скидка	5%	10%	15%	20%	25%

## Требования к оригинал-макетам

**Для макетов «под обрез»:**

формат журнала после обрезки 205×285 мм; до обрезки 215×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 12 мм.

**Черно-белые:** TIF grayscale не менее 300 dpi для фото-изображений, EPS Illustrator for PC от 5 версии, include placed images (EPS-файлы placed images отдельно, текст в кривых), или CorelDraw 9 – 10, текст в кривых.

**Цветные:** TIF CMYK 300 dpi или EPS Illustrator for PC от 5 версии, include placed images (EPS-файлы placed images отдельно — EPS CMYK 300 dpi или bitmap 600 dpi, текст в кривых), или CorelDraw 9 – 10, текст в кривых.

**Сопроводительные материалы:** распечатка файла обязательна, для цветных макетов — цветная, с названием файла и точными размерами макета. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

**Носители:** дискеты 3.5" — 2 копии файла или архива, или ZIP, или CD-ROM.

# Сервисная карточка читателя

Без заполненного  
формуляра  
недействительна

## Для получения дополнительной информации

о продукции/услугах, упомянутых в этом номере журнала:

- обведите в Сервисной карточке индекс, соответствующий интересующей Вас продукции/услуге (отмечен на страницах журнала после символа «#»);
- заполните Формуляр читателя;
- укажите свой почтовый адрес;
- отправьте Сервисную карточку с Формуляром по адресу: **03150 Киев-150, а/я 52 «Сварщик».**

416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427  
428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439  
440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451  
452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463  
464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475  
476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487  
488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499  
500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511

Ф. И. О. \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_

Предприятие \_\_\_\_\_

Подробный почтовый адрес: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2004 г.

\_\_\_\_\_ *подпись*

## Формуляр читателя

Ф. И. О. \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_

Предприятие \_\_\_\_\_

Виды деятельности предприятия \_\_\_\_\_

Выпускаемая продукция/оказываемые услуги \_\_\_\_\_

Руководитель предприятия (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

Отдел маркетинга/рекламы (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

Отдел сбыта/снабжения (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

# ТАЛОН-ЗАКАЗ

на специализированную литературу  
издательства «Экотехнология»

Название книги ..... Цена (грн.)

**О. Г. Левченко, В. А. Метлицкий.**  
**Современные средства защиты сварщиков.**  
2001. — 84 с. .... 12

**Г. И. Лащенко.**  
**Плазменная резка металлов и сплавов.**  
2003. — 64 с. .... 12

**Г. И. Лащенко.**  
**Вибрационная обработка сварных конструкций.**  
2001. — 56 с. .... 12

**Г. И. Лащенко.**  
**Плазменное упрочнение и напыление.**  
2003. — 64 с. .... 12

**И. А. Рябцев, В. Н. Кондратьев.**  
**Механизированная электродуговая наплавка  
деталей металлургического оборудования.**  
1999. — 64 с. .... 12

**П. М. Корольков.**  
**Термическая обработка сварных соединений.**  
Издание 2-е, переработанное и дополненное.  
2003. — 124 с. .... 20

**В. М. Бернадський, О. С. Осика,  
Л. О. Симоненко, Л. С. Філоненко.**  
**Російсько-український словник зварювальної  
термінології. Українсько-російський словник  
зварювальної термінології.**  
2001. — 224 с. .... 30

**В. Г. Фартушный, Г. И. Лащенко, Ю. А. Никитюк.**  
**Оборудование для сварки, наплавки,  
плазменного упрочнения и напыления.**  
Каталог-справочник.  
2002. — 60 с. .... 35

**В. М. Бернадський, О. К. Маковецька,  
Л. С. Філоненко, Б. В. Юрлов.**  
**Вчені і фахівці України в галузі зварювання  
і споріднених технологій. Довідник.**  
2002. — 144 с. .... 18

**А. Е. Анохов, П. М. Корольков.**  
**Сварка и термическая обработка корпусного  
энергетического оборудования при ремонте.**  
2003. — 88 с. .... 20

**В. И. Лакомский, М. А. Фридман.**  
**Плазменно-дуговая сварка углеродных  
материалов с металлами.**  
2004. — 196 с. .... 24

**И. А. Рябцев.**  
**Наплавка деталей машин и механизмов.**  
2004. — 160 с. .... 20

Заказ на книги высылайте по адресу редакции  
журнала «Сварщик»: 03150 Киев, ул. Горького, 62  
или по факсу: (044) 227-6502.

Цены на книги указаны без учета НДС и стоимости доставки.

## Открыта подписка-2004 на журнал «Сварщик»

в почтовых отделениях Украины и России,  
подписной индекс 22405. Подписку на журнал  
можно оформить у региональных представителей:

Город	Название подписного агентства	Телефон
Винница	ЗАО «Блиц-Информ»	(0432) 27-66-58
	«Баланс-Клуб»	(056) 370-44-23
Днепропетровск	ЗАО «Блиц-Информ»	(056) 370-10-50
	ИД «Дудник»	(0562) 34-13-52
Донецк	ООО «Меркурий»	(056) 778-52-86
	ЗАО «Блиц-Информ»	(062) 381-19-32
Житомир	НПФ «Криотехника»	(0622) 55-76-81
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0412) 36-04-00
Запорожье	ЧП «VIP доставка»	(0612) 13-49-50
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0612) 63-91-82
	ЧП ККК «Пресс Сервис»	(0612) 62-52-43
Ивано-Франковск	ООО «Светла»	(0612) 64-22-29
	ЗАО «Блиц-Информ»	(03422) 52-28-70
	ООО «Бизнес Пресса»	(044) 248-74-60
Киев	ЗАО «Блиц-Информ»	(044) 205-51-10
	ООО «Периодика»	(044) 449-05-50
	СПД «Понедельченко В. И.»	(044) 450-26-81
	ООО «Пресс-Центр»	(044) 252-94-77
Кировоград	АОЗТ «САММИТ»	(044) 537-97-44
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0522) 22-70-94
Кременчуг	ЧП «Булгакова И. В.»	(0522) 22-70-94
	ЗАО «Блиц-Информ»	(05366) 79-90-19
Кривой Рог	ООО «САММИТ-Кременчуг»	0536(6) 3-21-88
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0564) 66-24-36
Луганск	ООО «Первая КСП»	(0564) 92-16-32
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0642) 53-81-07
Луцк	ЧП «Фирма Вика»	(0642) 51-93-13
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0332) 72-05-48
Львов	ЗАО «Блиц-Информ»	(0322) 39-28-69
	ЧП «Львовский курьер» КС	(0322) 23-04-10
	«Львівські оголошення»	(0322) 97-15-15
	ООО «САММИТ-Львов 247»	(0322) 74-32-23
Мариуполь	«Фактор»	(0322) 41-83-91
	ООО «Бизнес партнер»	(0629) 37-60-79,
Нежин	ЗАО «Блиц-Информ»	(0629) 33-54-98
	ЧП «Прес-Курьер»	(04631) 5-37-66
Николаев	ЗАО «Блиц-Информ»	(0512) 47-10-82
	ООО «Ноу Хау»	(0512) 47-20-03
	ООО «САММИТ-Николаев»	(0512) 23-40-86
Одесса	ЧП «ТЕПС & Со»	(0512) 47-47-35
	МЧП «Благословенный город»	(0482) 25-07-07
	ЗАО «Блиц-Информ»	(048) 711-70-79
	ЧП «Агентство «Наш Бизнес»	(0482) 35-74-57
Прилуки	СПД «Пугачева И. Ю.»	(0482) 37-17-80
	ЧП «Прес-Курьер» (филиал)	(04637) 3-04-62
Полтава	ЧП «АНП агентство подписки»	(0532) 50-93-10
	ЗАО «Блиц-Информ»	(05322) 7-31-41
Ровно	ЧП «Блаватская М. В.»	(0362) 62-33-17
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0362) 62-56-26
Севастополь	ЗАО «Блиц-Информ»	(0692) 55-44-51
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0652) 24-93-00
Симферополь	ДП «САММИТ-Крым»	(0652) 44-36-95
	ООО «Флора»	(0652) 27-00-92
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0542) 27-52-09
Сумы	ООО «Диада»	(0542) 37-03-55
	«Элада-С»	(0542) 25-12-49
Тернополь	«Айсберг»	(0352) 43-10-11
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0352) 43-08-10
Ужгород	ЗАО «Блиц-Информ»	(03122) 2-38-16
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0572) 17-13-27
Харьков	АОЗТ «САММИТ-Харьков»	(0572) 14-22-61
	ДП «Фактор-Пресса»	(0572) 26-43-33
	«Форт» Издательство	(0572) 14-09-08
Херсон	ДПЗАО «Блиц-Информ»	(0552) 26-36-49
Хмельницкий	ЗАО «Блиц-Информ»	(0382) 79-24-23
	ВКП «Фактор-Запад»	(0382) 70-20-93
Черкасы	ЗАО «Блиц-Информ»	(0472) 47-05-51
Черновцы	ЗАО «Блиц-Информ»	(03722) 2-00-72
Чернигов	ЗАО «Блиц-Информ»	(04622) 4-41-61