



**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

**Издательский центр "Технология машиностроения"**

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и торговли РФ,  
Министерства образования и науки РФ,  
Российской инженерной академии,  
Российского научно-технического сварочного общества,  
Союза машиностроителей России

**Редакционная коллегия:**

Гл. редактор **В. А. Казаков**  
Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

<b>В. К. Драгунов</b>	<b>А. И. Рымкевич</b>
<b>А. С. Зубченко</b>	<b>О. Н. Севрюков</b>
<b>Е. А. Калашников</b>	<b>З. А. Сидлин</b>
<b>В. И. Кулик</b>	<b>Н. В. Смирнов</b>
<b>В. И. Лукин</b>	<b>В. А. Судник</b>
<b>В. П. Лялякин</b>	<b>В. А. Фролов</b>
<b>Г. А. Меньшиков</b>	<b>В. А. Хаванов</b>
<b>В. Н. Панин</b>	<b>Ф. А. Хромченко</b>
<b>И. Н. Пашков</b>	<b>О. А. Цукуров</b>
<b>В. В. Пешков</b>	<b>И. Н. Шиганов</b>

**Редакция:**

**С. В. Богус, Л. Т. Мартыненко,  
Т. П. Маслик**

Электронная верстка: *Т. А. Шацкая*  
Дизайн обложки: *Е. С. Благовидов*  
Редактор-переводчик *Е. О. Егорова*  
Редактор-обозреватель *Ан. А. Суслов*  
Корректор *Е. В. Комиссарова*

**Адрес для корреспонденции:**

129626, Москва, а/я 01,  
Издательский центр  
"Технология машиностроения".  
Телефон: (495) 796 2491.  
Бухгалтерия: 8 910 414 9184  
E-mail: tm@folium.ru  
(с пометкой для журнала  
"Сварочное производство")

Журнал "Сварочное производство" переводится  
на английский язык издательством  
"Taylor & Francis" (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное  
производство" возможна при обязательном пись-  
менном согласовании с редакцией журнала.

При перепечатке материалов ссылка на журнал  
"Сварочное производство" обязательна.

В случае обнаружения полиграфического брака ре-  
дакция журнала просит обращаться в типографию.  
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по  
делам печати, телерадиовещания и средств массо-  
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ  
изданий для публикации трудов соискателей ученых  
степеней.

Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<b>Хорев А. И.</b> — Высокопрочный титановый сплав ВТ23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях _____	3
<b>Хромченко Ф. А., Федосеенко А. В.</b> — Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва. Ч. 2. Результаты стендовых испытаний натуральных сварных трубных моделей с дефектами _____	9
<b>Оголихин В. М., Шемелин С. Д.</b> — Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом _____	14
<b>Сидоров В. П.</b> — Методика определения точности поддержания параметров режима при точечной контактной сварке _____	18
<b>Лысенко Л. Д., Шабалина Е. В.</b> — Пайка узла из тугоплавких материалов с рабочей температурой до 1800 °С _____	22

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<b>Волобуев Ю. С., Сурков А. В., Волобуев О. С., Кипиани П. Н., Шестов Д. В., Павлов Н. В., Савченко А. И.</b> — Разработка и опыт использования керамического флюса ФКН-7 при восстановлении деталей железнодорожного подвижного состава _____	24
<b>Калашникова И. А., Калашников А. В.</b> — Технология получения порошка на основе базальта, используемого при газотермическом напылении износостойких покрытий _____	26
<b>Языков Ю. Ф., Алексина И. В.</b> — Преимущества сварки в защитных газовых смесях _____	29
<b>Старостин Н. П., Аммосова О. А.</b> — Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Ч. 2. Исследование процесса охлаждения _____	31
<b>Чертов В. М.</b> — Термическая обработка и сварка разнородных сталей _____	34

### ОХРАНА ТРУДА

<b>Шехорин В. К.</b> — Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении _____	36
---	----

### ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

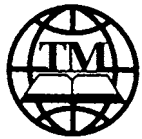
<b>Бернадский В. Н.</b> — Новые рубежи Института сварки Франции _____	40
---	----

### ИНФОРМАЦИЯ

<b>Иванов А. Н.</b> — Международный форум "Высокие технологии XXI века" _____	45
---	----

### БИБЛИОГРАФИЯ

<b>Содержание зарубежных журналов по сварке</b> _____	52
* * *	
<b>Г. В. Конюшкову</b> — 70 лет _____	53
* * *	
<b>Рефераты опубликованных статей</b> _____	54
* * *	
<b>В. П. Лялякину</b> — 70 лет _____	56



**FOUNDER:**

**Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"**

Published since January 1930

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Trade,  
RF Ministry of Education and Science,  
Russian Engineering Academy,  
Russian Scientific-Technical Welding Society,  
The Union of Machine Engineers of Russia

**Editorial board:**

**V. A. Kazakov** Editor-in-Chief  
**N. V. Posmetnaya** Deputy Editor-in-Chief

<b>V. K. Dragunov</b>	<b>A. I. Rymkevich</b>
<b>A. S. Zubchenko</b>	<b>O. N. Sevryukov</b>
<b>E. A. Kalashnikov</b>	<b>Z. A. Sidlin</b>
<b>V. I. Kulik</b>	<b>N. V. Smirnov</b>
<b>V. I. Lukin</b>	<b>V. A. Sudnik</b>
<b>V. P. Lyalyakin</b>	<b>V. A. Frolov</b>
<b>G. A. Meshnikov</b>	<b>V. A. Khavanov</b>
<b>V. N. Panin</b>	<b>F. A. Khromchenko</b>
<b>I. N. Pashkov</b>	<b>O. A. Tsukurov</b>
<b>V. V. Peshkov</b>	<b>I. N. Shiganov</b>

**Editorial staff:**

**S. V. Bogus, L. T. Martynenko,  
T. P. Maslik**

Electron galley: *T. A. Shatskaya*  
Cover design: *E. S. Blagovidov*  
Editor-translator *E. O. Egorova*  
Editor-reviewer *An. A. Suslov*  
Proof-reader *E. V. Komissarova*

*Address for correspondence:*

Publishing Centre  
"Tekhnologiya Mashinostroeniya"  
P.O.B.01, Moscow, 129626, Russia  
Tel.: (495) 796 2491  
Book-keeping 8 910 414 9184  
E-mail: tm@folium.ru  
(marked for journal  
"Svarochnoe Proizvodstvo")

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.

Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

*The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Taylor & Francis" (Great Britain).*

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.

Registration certificate ПИ N 77-7778.

Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

## CONTENTS

### SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

<b>Khorev A. I.</b> — Titanium alloy BT23 and its application in future-proof welded and brazed design _____	3
<b>Khromchenko F. A., Fedoseyenko A. V.</b> — High-temperature strength of the steam pipes welds defected in the weld metal. Part 2: Bench test results of the defected full-scale welded pipe models _____	9
<b>Ogolikhin V. M., Shemelin S. D.</b> — Production of composite materials of preset heat conductivity by explosion welding _____	14
<b>Sidorov V. P.</b> — Ensuring characteristic stability of conditions at resistance-spot welding _____	18
<b>Lysenko L. D., Shabalina Ye. V.</b> — Brazing units from heat-resistant materials at operating temperature up to 1800 °C _____	22

### PRODUCTION SECTION

<b>Volobuyev Yu. S., Surkov A. V., Volobuyev O. S., Kipiani P. N., Shestov D. V., Pavlov N. V., Savchenko A. I.</b> — Development and actual experience with ceramic flux OKH-7 at reconditioning components of the consist equipment _____	24
<b>Kalashnikova I. A., Kalashnikov A. V.</b> — Technology of the basalt-based powder used at thermal spray antiwear coating _____	26
<b>Yazykov Yu. F., Alexina I. V.</b> — Advantages of shielded gas-mix welding _____	29
<b>Starostin N. P., Ammosova O. A.</b> — Polyethylene tubes flash contact welding at low ambient temperature. Part 2: Study of the cooling process _____	31
<b>Chertov V. M.</b> — Heat treatment and welding of heterogeneous steels _____	34

### LABOUR PROTECTION

<b>Shekhorin V. K.</b> — Ecological approach to the technological process design in the engineering industry _____	36
--	----

### FOREIGN EXPERIENCE

<b>Bernadsky V. N.</b> — New advances of the Institute of welding France _____	40
--	----

### INFORMATION

<b>Ivanov A. N.</b> — International Forum "High Technology of the XXI Century" _____	45
--	----

### BIBLIOGRAPHY

<b>Contents</b> of the foreign journals in the field of welding _____	52
* * *	
<b>G. V. Konyushkov</b> is 70 years old _____	53
* * *	
<b>Abstracts</b> of the published articles _____	55
* * *	
<b>V. P. Lyalyakin</b> is 70 years old _____	56

УДК 621.791:669.721

**А. И. ХОРЕВ, д-р техн. наук**  
**ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ**

## Высокопрочный титановый сплав ВТ23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях

При разработке современных свариваемых титановых сплавов с высоким пределом прочности целесообразно применять комплексное макро- и микролегирование. При этом каждый вводимый элемент или группа элементов выполняет свои функции и одновременно дополняет или усиливает положительное действие другого комплекса элементов.

На основании анализа фазового состава, структуры и механических свойств основного материала и сварных соединений сплавов построены диаграммы состав — свойство для простых и комплексно-легированных систем, что обеспечило создание ряда сплавов [1, 2].

Проведено детальное исследование основного материала и сварных соединений более 500 титановых сплавов и получены более 100 авторских свидетельств и патентов на сплавы на основе титана, более 30 из которых являются промышленными или опытно-промышленными сплавами [1].

### **Теоретические положения комплексного легирования**

Разработаны теоретические аспекты легирования и сформулированы основные принципы комплексного легирования свариваемых титановых сплавов. Комплексное легирование сплавов обеспечивает значительное упрочнение  $\alpha$ - и  $\beta$ -твердых растворов и уменьшает разницу в их прочности, чем достигается более однородное пластическое деформирование при нагружении и более полная реализация прочности  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз.

При близкой прочности  $\alpha$ - и  $\beta$ -твердых растворов фрагменты структуры в виде острых пластин  $\alpha$ -фаз, особенно литой структуры металла шва и ЗТВ при сварке, нагретой до температуры  $\beta$ -области, перестают быть внутренними концентраторами напряжения, приводящими к снижению эксплуата-

ционных свойств, что особенно важно в том случае, когда сплав работает при наличии внешних концентраторов напряжения.

При комплексном легировании рекомендовано легирование  $\beta$ -стабилизирующими элементами противоположного действия при дендритной ликвации с целью обеспечения постоянства суммарного количества  $\beta$ -стабилизирующих элементов в разных зонах, более однородного упрочнения пересыщенного твердого раствора, большей равномерности распределения и улучшения морфологии фазовых составляющих. Это особенно важно для литой структуры металла шва, где дендритная ликвация значительна.

Одновременное легирование молибденом с коэффициентом распределения при дендритной ликвации больше единицы ( $K_{Mo} > 1$ , большая концентрация по осям дендрита); хромом или железом с коэффициентом распределения меньше единицы ( $K_{Cr} < 1$ ,  $K_{Fe} < 1$ ) и ванадием, который практически однородно распределяется ( $K_V \sim 1$ ), обеспечивает более однородное суммарное количество  $\beta$ -стабилизирующих элементов в металле шва сварного соединения, а также в металле литой структуры слитка, оказывающей наследственное влияние на однородность химического состава полуфабрикатов.

При комплексном легировании целесообразно соблюдать соотношение изоморфных и эвтектоидообразующих элементов, выраженное в эквивалентных величинах: от 2:1 до 1:1. Такое соотношение обеспечивает подавление изоморфными элементами (Mo, V) эвтектоидного распада, особенно в металле сварного соединения, обусловленного введением эвтектоидообразующих элементов (Cr, Fe) в сплав.

На основе теории комплексного легирования свариваемых титановых сплавов и присадочных материалов для сварки  $\alpha$ -, ( $\alpha + \beta$ )- и  $\beta$ -титановых

сплавов были разработаны современные высокопрочные титановые сплавы, применение которых позволило значительно снизить массу летательных аппаратов.

### Высокопрочный комплексно-легированный свариваемый титановый сплав

Сплав ВТ23 разработан на основе теории комплексного легирования свариваемых титановых сплавов. Сплав ВТ23 является ( $\alpha + \beta$ )-титановым сплавом [1]. Из него изготавливают различные полуфабрикаты: листы, ленту, фольгу, трубы (сплав ВТ23Л), поковки, штамповки, плиты, прутки, профили (сплав ВТ23К). Обширная номенклатура полуфабрикатов позволяет изготавливать из данного сплава сварные, паяные и монолитные конструкции. В этом заключается универсальность применения сплава ВТ23 (ВТ23Л, ВТ23К).

При разработке композиции легирования и химического состава сплава ВТ23 главным критерием для определения содержания легирующих элементов были свариваемость сплава и высокий уровень механических свойств сварных соединений. Установлено, что оптимальным для сварных соединений является содержание в сплаве комплекса  $\beta$ -стабилизаторов, эквивалентное содержанию молибдена (7—8 %). Этому содержанию соответствует оптимальная структура, формируемая в металле шва и ЗТВ при охлаждении после сварки. Размер формирующихся внутри  $\beta$ -зерна фрагментов структуры  $\alpha$ -фазы зависит от температуры  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения. Чем ниже температура превращения, тем меньшего размера фрагменты внутризеренной структуры. В сплавах с низкой температурой полиморфного превращения в первичной  $\beta$ -фазе формируется мелкозернистая структура, фрагменты этой структуры не обеспечивают ветвление трещины при ее развитии, уменьшаются работа разрушения и характеристики трещиностойкости ( $K_{1c}$ ). У сплава ВТ23К температура полиморфного  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения составляет 920 °С, в металле шва и ЗТВ сварного соединения размеры

фрагментов структуры оптимальные для ветвления трещин, что и подтверждается приведенными в табл. 1 чрезвычайно высокими значениями характеристик трещиностойкости  $K_{1c}$  сварного соединения при высоком уровне его прочности [3—5].

Высокие значения  $K_{1c}$  для основного материала плиты получены при многостадийной технологииковки сляба и прокатки плиты, включающей две всесторонниековки после двух нагревов в  $\beta$ -области, две стадии фазовой перекристаллизации и окончательную регламентированную деформацию в ( $\alpha + \beta$ )-области. Величина фрагментов структуры  $\alpha$ -фазы в этом случае определяется температурой полиморфного превращения, а регламентированная деформация в ( $\alpha + \beta$ )-области создает зубчатость и прерывистость границ первичной  $\beta$ -фазы. Такая структура обеспечивает высокие значения трещиностойкости.

Охлаждение плиты после деформации на рольганге (высокотемпературная термомеханическая обработка — ВТМО) ограничивает время диффузии примесей к межфазным границам, повышает их пластичность и замедляет скорость развития по ним трещин. При последующем старении достигается высокий уровень прочности и трещиностойкости (см. табл. 1).

При проведении после деформации нагрева и последующей выдержке при температуре закалки примеси диффундируют к границам и значения характеристик трещиностойкости  $K_{1c}$  закаленного и состаренного сплавов уменьшаются.

Из сплава ВТ23 изготавливают листы с гарантированным уровнем предела прочности в термически упрочненном состоянии ( $\sigma_B \geq 1324$  МПа). Механические свойства листов сплава ВТ23Л толщиной 2—3 мм в отожженном состоянии:  $\sigma_B = 1100$  МПа, пластичность  $\delta = 12$  %; в термически упрочненном состоянии после закалки в воде и старения:  $\sigma_B = 1400$  МПа,  $\delta = 8$  %.

Характеристики прочности и пластичности листов из сплава ВТ23Л после термической обработки приведены в табл. 2.

Более низкие механические свойства, особенно пониженная пластичность листов в плавке, связаны с тем, что исходный штампованный сляб имеет фактически литую структуру, которая оказывает наследственное негативное влияние на качество полученных листов и даже фольги. Сляб для прокатки листов необходимо изготавливать из слитка по технологии, включающей всестороннюю ковку после двух-трех нагревов в  $\beta$ - и ( $\alpha + \beta$ )-областях с деформацией (60—80 %) на последней стадии в ( $\alpha + \beta$ )-области, что обеспечит получение однородного химического состава и мелкозернистой структуры. Это позволит в свою очередь уменьшить количество отходов при строжке, понизить темпера-

Таблица 1

Состояние материала	Основной металл		Металл шва
	$\sigma_B$ , МПа	$K_{1c}$ , МПа · м <sup>1/2</sup>	$K_{1c}$ , МПа · м <sup>1/2</sup>
После горячей деформации + старения	1100	93—128	89—95
	1200	77,5—86,8	86,0—93,0
После закалки + старения	1300	52,7—68,2	77,5—86,8

Примечание. Во всех случаях предел прочности сварного соединения составляет  $0,9\sigma_B$ .

Таблица 2

Номер плавки	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
1	1118	13,0
	1440	9,2
2	1101	15,0
	1400	9,0
3	1132	14,0
	1395	10,7
4	1102	13,3
	1543	8,0
5	1117	13,0
	1482	8,0

Примечание. В числителе приведены данные после отжига, в знаменателе — после закалки + старения.

туру прокатки, повысить степень деформации при прокатке сплава, сократить время травления, а следовательно, и потери металла, и уменьшить наводороживание сплава. Реализация такого процесса позволит повысить стабильность и уровень механических свойств сплава ВТ23Л и обеспечить большую экономическую эффективность за счет уменьшения брака и снижения отходов производства.

Высокий уровень механических свойств свидетельствует о больших потенциальных возможностях сплава ВТ23Л.

Сварные соединения сплава ВТ23 отличаются высокими прочностью и трещиностойкостью.

Сплав ВТ23 находится в области легирования сплавов, в которых при закалке из  $\beta$ -области фиксируется  $\alpha$ "-фаза (пластичный мартенсит). Поэтому закаленные или быстро охлажденные в процессе изготовления полуфабрикаты обладают высокими механическими свойствами, что предотвращает их растрескивание и разрушение по сравнению с другими сплавами.

Металл шва и ЗТВ при сварке охлаждается с большими скоростями, при которых фиксируется пластичная  $\alpha$ "-фаза. Наличие последней позволяет гарантировать отсутствие растрескивания под действием сварочных напряжений.

### Применение универсального титанового сплава ВТ23 в конструкциях с пределом прочности до 1500 МПа

Применение сплава ВТ23 в сварных, паяных и монолитных конструкциях авиакосмической и ракетной техники обеспечило снижение массы деталей и узлов космического комплекса "Буран" + "Энергия", космического аппарата "Астрон", самолетов Бе-200, Як-54, Як-55, Су-26, Су-29, Су-31, Су-31М, Су-31СК и др. на 20—30 %. При этом цикл термической обработки сократился в 2 раза, расход электроэнергии — в 2—3 раза.

Из сплава ВТ23 (ВТ23Л, ВТ23К) изготовлены сварные шпангоуты и силовые наборы из плит, поковок, штамповок и профилей.

В конструкциях лучших спортивных самолетов типа Як-55 и Су-29 шасси изготовлены из сплава ВТ23. Пилоты России, США, Англии, Германии и других стран на самолетах этого типа завоевали более 250 золотых и серебряных медалей на чемпионатах мира и Европы.

При создании композиционных конструкций спортивных самолетов в качестве закладных элементов (элементов, которые оплетаются композиционными материалами), а также для задней опоры самолета также применен высокопрочный сплав ВТ23.

Практически для всей малой авиации, включая сверхлегкие летательные аппараты (дельтапланы), для изготовления шасси применяется высокопрочный титановый сплав ВТ23.

Имеется опыт изготовления гетерогенной брони из сплава ВТ23, обладающей прочностью 1300—1400 МПа с лицевой и 1100—1200 МПа с тыльной стороны. Броня применена при изготовлении бронезилов.

Наряду с авиакосмической и ракетной техникой сплав ВТ23 используют для изготовления спортивного инвентаря.

Из сплава ВТ23Л, термически упрочненного до  $\sigma_B = 1400 \div 1500$  МПа, изготовлены вставки, ввариваемые в литую титановую головку клюшки для гольфа. Вставка из сплава ВТ23 как упругий элемент успешно эксплуатируется в условиях больших ударных нагрузок с рекордно высокой прочностью.

Одной из областей эффективного использования сплава ВТ23 может быть автомобилестроение. Применение титана уменьшает массу деталей, повышает эксплуатационные данные, снижает расход топлива, улучшает экологическую обстановку за счет снижения объема выхлопных газов и расширения использования отходов производства за счет их переплава. Надежность деталей из титановых сплавов проверена в авиакосмической промышленности и на гоночных автомобилях.

Титановые сплавы могут быть конкурентоспособными по сравнению с другими материалами при оценке "стоимость — металлоемкость — ресурс". При оценке рентабельности особое внимание должно быть уделено проблеме окружающей среды.

В качестве примеров применения могут быть представлены пружины из титанового сплава ВТ23 в 2,5 раза более легкие, чем стальные.

Применение высокопрочных компактных пружин из сплава ВТ23 в автомобильном транспорте позволяет уменьшить монтажное пространство и массу узлов.

Титановый сплав ВТ23 имеет ряд преимуществ перед сталями: выгодно сочетаются высокая прочность и низкий модуль упругости, низкая плотность и высокое отношение  $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ , немагнитность, высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах.

При применении титановых сплавов вместо традиционных пружинных сталей достигается значительное снижение массы пружин не только вследствие малой плотности титановых сплавов, но и за счет низкого значения модуля упругости, позволяющего пружине обеспечивать одну и ту же работу при меньшем числе витков.

Из сплава ВТ23 изготавливают проволоку для витых пружин и листы для тарельчатых пружин. Механические свойства проволоки диаметром 2,0 мм из сплава ВТ23 в термически упрочненном состоянии:  $\sigma_B = 1300 \div 1400$  МПа,  $\delta = 7 \div 9$  %.

Для обеспечения высоких силовых нагрузок при малых деформациях рекомендуется применять тарельчатые пружины, изготовленные из листов титанового сплава ВТ23, изотропных в плоскости листа. Релаксация пружин под рабочими напряжениями в течение двух лет составляет 1 %, что в 10 раз меньше, чем у сталей [6].

Переход автомобильного транспорта на экологически более чистое газовое топливо является одной из главных задач в связи с непрерывным ухудшением экологии во всем мире, особенно в городах.

Одной из важнейших областей применения сплава ВТ23 являются сварные баллоны для сжиженного газового топлива, в том числе водородного. Разработаны технологии изготовления высокопрочных и коррозионно-стойких сварных баллонов для газового топлива, масса которых на 30 % меньше по сравнению со стальными баллонами при более высоком ресурсе и надежности в эксплуатации. Применение дополнительно внешнего армирования сварных баллонов нитями стеклопластика позволит снизить их массу на 50 % и значительно повысить эксплуатационную надежность.

Использование титановых сплавов для производства деталей и узлов автомобилей является символом современности создаваемых конструкций нового поколения.

### **Сравнение ( $\alpha + \beta$ )-сплава ВТ23 с лучшими зарубежными ( $\alpha + \beta$ )-титановыми сплавами**

Разработанный в США титановый сплав Ti-6-2-2-2-2 (Ti—6Al—2Sn—2Zr—2Mo—2Cr) как наиболее перспективный применен в самолете F22 и заложен в конструкцию орбитального космического корабля Ч-33. Сплав Ti-6-2-2-2-2 применяется в США в наиболее перспективных новых конструкциях с  $\sigma_B = 1070$  МПа при  $K_{1C} = 80 \div 90$  МПа · м<sup>1/2</sup>

[7]. Из сплава Ti-6-2-2-2-2 в США изготавливают поковки, штамповки и плиты. В России для изготовления поковок, штамповок и плит рекомендуется сплав ВТ23К, который целесообразно сравнить со сплавом Ti-6-2-2-2-2. Оба сплава являются ( $\alpha + \beta$ )-сплавами, содержащими близкое количество  $\alpha$ -стабилизатора алюминия и  $\beta$ -стабилизаторы противоположного распределения при дендритной ликвации (Mo + Cr), что благоприятно для свариваемости сплава.

Преимущества сплава ВТ23К по сравнению со сплавом Ti-6-2-2-2-2 следующие.

Сплав ВТ23К комплексно легирован двумя изоморфными легирующими элементами: молибденом и ванадием (сплав США — одним молибденом) и двумя эвтектоидообразующими легирующими элементами: хромом и железом (сплав США — одним хромом).

Разработанная теория комплексного легирования титановых сплавов и полученные практические результаты свидетельствуют о достижении при комплексном легировании более высоких механических свойств [1]. Прочность сплава ВТ23К близка к прочности  $\alpha$ - и  $\beta$ -твердых растворов, что обеспечивает однородное участие фазовых составляющих в процессе нагружения и достижение более высоких механических свойств.

Сплав Ti-6-2-2-2-2 содержит наряду с алюминием олово и цирконий, которые упрочняют (перепропрочняют)  $\alpha$ -твердый раствор, что сопровождается снижением его пластичности. Прочность  $\alpha$ -твердого раствора становится более высокой, чем  $\beta$ -твердого раствора, что приводит к неоднородному участию фазовых составляющих в процессе нагружения и снижению совокупности механических свойств.

Сплав ВТ23К, содержащий  $\beta$ -стабилизаторы в количестве, эквивалентном содержанию молибдена (7—8 %), по сравнению со сплавом США, содержащим  $\beta$ -стабилизаторы в количестве, эквивалентном содержанию молибдена (5,5 %), обладает более высокой технологической пластичностью, обеспечивающей изготовление листов, ленты, фольги (модификация ВТ23Л), что делает его универсальным для изготовления конструкций.

Сплав ВТ23К по сравнению со сплавом Ti-6-2-2-2-2 отличается более высокими значениями предела прочности и трещиностойкости основного материала:  $\sigma_B = 1100$  МПа при  $K_{1C} = 93 \div 128$  МПа · м<sup>1/2</sup>.

Следует отметить, что у сплава ВТ23К сочетание предела прочности сварного соединения ( $\sigma_{B_{св.с}} = 0,9\sigma_B$ ) с трещиностойкостью металла шва ( $K_{1C} = 89 \div 95$  МПа · м<sup>1/2</sup>) очень высокое, значительно более высокое, чем у других отечественных и зарубежных сплавов.

Трещиностойкость металла шва резко снижается при газонасыщении кислородом и азотом литой структуры в процессе сварки, поэтому проводится тщательная защита металла шва предварительно очищенным от примесей кислорода аргонном. В связи с чем специальное легирование кислородом сплава BT23 недопустимо, так как будет снижать  $K_{1c}$  основного материала и особенно сварных соединений.

В Японии разработан новый титановый сплав SP-700, предназначенный для изготовления листов и рассматриваемый как наиболее перспективный для изготовления современных конструкций [8].

В табл. 3 приведен сравнительный химический состав сплавов BT23Л и SP-700.

Сплав BT23Л содержит изоморфные (Mo + V) и эвтектоидообразующие (Cr + Fe) $\beta$ -стабилизаторы (1 % Mo эквивалентен (в %) 1,5 V — 0,6Cr — 0,4Fe): (1,5—2,5) % Mo + (4,0—5,0) % V (эквивалентно 2,7—3,3 % Mo) + (0,8—1,4) % Cr (эквивалентно 1,3—2,3 % Mo) + (0,4—1,0) % Fe (эквивалентно 1,0—2,5 % Mo) =  $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$  (6,5—10,6) % Mo.

Соотношение изоморфных ( $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$ (Mo + V) = 4,2÷5,8 % Mo) и эвтектоидообразующих (Cr + Fe = 2,3÷4,5 % Mo) элементов, выраженное в молибденовых эквивалентах в сплаве BT23Л  $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$ (Mo + V)/ $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$ (Cr + Fe) = 1,3÷1,8.

Сплав легирован модифицирующим элементом — цирконием.

Сплав SP-700 содержит изоморфные  $\beta$ -стабилизаторы (Mo + V) и эвтектоидообразующий (Fe): (1,8—2,2) % Mo + (2,5—3,5) % V (эквивалентно 1,7—2,3 % Mo) + (1,7—2,3) % Fe (эквивалентно 4,25—5,75 % Mo) =  $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$  (7,75—10,25) % Mo.

Соотношение изоморфных ( $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$ (Mo + V) = 3,5÷4,5 % Mo) и эвтектоидообразующего элемента (Fe = 4,25÷5,75 % Mo), выраженное в молибденовых эквивалентах, в сплаве SP-700  $\Sigma_{\text{ЭКВ}}$ (Mo + V)/Fe = 0,78÷0,82.

Сплав содержит в качестве примеси модифицирующую добавку иттрия (не более 0,005 %).

Сравнение сплавов BT23 и SP-700 показало следующее.

Сплавы BT23Л и SP-700 — это ( $\alpha$  +  $\beta$ )-сплавы "мартенситного типа" близкого фазового состава с высоким содержанием  $\beta$ -фазы. Они обладают по сравнению со сплавом Ti—6Al—4V (BT6) более высокой прочностью, трещиностойкостью, сверхпла-

стической формуемостью, деформируемостью в холодном и горячем состояниях.

Комплексное легирование двумя эвтектоидообразующими элементами — хромом и железом — сплава BT23Л предпочтительнее, чем одним эвтектоидообразующим — железом — сплава SP-700 для достижения высоких характеристик прочности и пластичности основного материала и особенно сварных соединений.

Легирование одним эвтектоидообразующим элементом — железом — в большом количестве в сплаве SP-700 1,7—2,3 % Fe (эквивалентно 4,25—5,75 % Mo) приводит к большой дендритной ликвации по этому элементу в металле слитка и металле сварного шва, что в свою очередь приводит к большой структурной неоднородности и неоднородности механических свойств.

В сплаве BT23Л содержание железа меньше (0,4—1,0 % Fe, эквивалентно 1,0—2,5 % Mo) в 2,3—4,3 раза и дополнительно содержится хром (0,8—1,4 %, эквивалентно 1,3—2,3 % Mo), который менее склонен, чем железо, к дендритной ликвации.

Суммарное содержание эвтектоидообразующих легирующих элементов в сплаве BT23 (эквивалентно 2,3—4,5 % Mo) значительно меньше, чем в сплаве SP-700 (эквивалентно 4,25—5,75 % Mo), что способствует улучшению механических свойств, особенно сварных соединений сплава BT23Л.

Соотношение между изоморфными и эвтектоидообразующими легирующими элементами, выраженное в эквивалентных молибдену величинах, сплава BT23Л равно 1,3—1,8, а сплава SP-700 — 0,82—0,78, т. е. значительно меньше, что может привести к образованию интерметаллидов в сплаве SP-700 и резкому снижению пластичности и свариваемости. Содержание изоморфных  $\beta$ -стабилизаторов элементов в сплаве SP-700 недостаточно для подавления эвтектоидных процессов образования интерметаллидов титана с железом.

Модифицирование структуры титановых сплавов предпочтительнее цирконием, чем иттрием, который указан как примесь, так как цирконий более однородно распределяется в слитке и металле шва и обеспечивает более однородное модифицирование структуры и раскисление приграничных объемов.

Таким образом, сплав BT23Л имеет преимущество перед сплавом SP-700, что подтверждается

Таблица 3

Сплав	Содержание элементов, %					
	Al	Mo	V	Cr	Fe	Zr
BT23M (Л)	4,0—5,5	1,5—2,5	4,0—5,0	0,8—1,4	0,4—1,0	0,001—0,030
SP-700	4,0—5,0	1,8—2,2	2,5—3,5	—	1,7—2,3	—

более высоким комплексом механических свойств листов в отожженном и термически упрочненном состояниях.

В отечественных и зарубежных сварных конструкциях емкостей, гидроаккумуляторов и других агрегатах в настоящее время применяется свариваемый ( $\alpha + \beta$ )-титановый сплав Ti-6-4 (США), характеризующийся значительно более низкими (на 25—30 %) прочностью и трещиностойкостью, чем сплав ВТ23.

### Сравнение ( $\alpha + \beta$ )-сплава ВТ23 с лучшими зарубежными и отечественными $\beta$ -сплавами

В стадии исследований и применения в ряде конструкций авиационной техники за рубежом находится сплав Ti—10V—2Fe—3Al (США). Это  $\beta$ -сплав, стоимость которого на 30—35 % выше стоимости сплава ВТ23 из-за присутствия в нем дорогостоящего ванадия (10 %). Содержание в сплаве 2 % железа приводит к неоднородному распределению его в литой структуре металла шва: 1,4—1,6 % в осях дендритов и 2,4—2,6 % в межосных объемах. Значительно большая химическая неоднородность легирующих элементов, особенно железа, наблюдается в слитках. Это приводит в свою очередь к различной температуре полиморфного превращения разных зон, неоднородному их упрочнению и большой неоднородности механических свойств. Термическая обработка сплава Ti—10V—2Fe—3Al длительная и сложная и требует в 2—3 раза большей трудоемкости и энергоемкости. Сплав ВТ23 имеет преимущество перед сплавом Ti—10V—2Fe—3Al по комплексу механических свойств и их стабильности.

Приведем сравнение ( $\alpha + \beta$ )-сплава ВТ23 с лучшими комплексно-легированными  $\beta$ -сплавами ВТ19, ВТ19-1, ВТ49 и VST-5-5-3 (фактически сплав ВТ19, разработанный на 30 лет ранее сплава VST-5-5-3 [1]) системы Ti—Al—Mo—V—Cr—Zr.

Эти сплавы, разработанные на основе теории комплексного легирования, содержат  $\beta$ -стабилизаторы, содержание которых эквивалентно содержанию Mo (13,8—17,0 %) и Zr (1 %). Комплексно-легированные  $\beta$ -сплавы ВТ19, ВТ49 и Ti-5-5-5-3 (Россия) по однородности распределения легирующих элементов и стабильности механических свойств превосходят  $\beta$ -сплав Ti—10V—2Fe—3Al (10-2-3, США), но уступают ( $\alpha + \beta$ )-сплав ВТ23 по механическим, технологическим и экономическим характеристикам.

Комплексно-легированный ( $\alpha + \beta$ )-сплав ВТ23 по сравнению даже с лучшими комплексно-легируемыми  $\beta$ -сплавами ВТ19, ВТ49 и VST-5-5-5-3 обладает более высокими характеристиками прочности, удельной прочности и трещиностойкости

основного материала и особенно сварных соединений, содержит меньшее количество дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов, дешевле на 30 %, имеет меньшую плотность, лучше обрабатывается давлением и резанием, менее энергоемок при производстве полуфабрикатов и изделий, более универсален для применения в монолитных, сварных и паяных конструкциях. Из сплава ВТ23 можно выполнить все конструкции самолета: ототовых панелей (из фольги) и обшивки (из листов) до монолитных и сварных шпангоутов, балок центроплана и шасси (из плит и штамповок). Область применения титановых  $\beta$ -сплавов достаточно узкая (раскатные емкости, пружины) и поэтому они не могут быть универсальными. Возможно применение сплава ВТ23 для изготовления деталей и узлов, работающих в более широком диапазоне температур (от  $-196$  до  $400$  °С), чем  $\beta$ -сплавы (от  $-70$  до  $200$ — $300$  °С).

### ВЫВОДЫ

1. Разработана теория комплексного легирования титановых сплавов и на ее основе — высокопрочный титановый сплав ВТ23 универсального применения.

2. Результаты сравнения химических составов сплавов ВТ23 (Россия), сплавов Ti—6Al—2Sn—2Zr—2Mo—2Cr, Ti—10V—2Fe—3Al (США) и SP-700 (Ti—4,5Al—2Mo—3V—2Fe) (Япония) показали преимущество сплава ВТ23, обеспечившего более высокий уровень механических свойств сварных соединений.

3. Сплав ВТ23 по механическим, технологическим и экономическим характеристикам превосходит лучшие комплексно-легированные  $\beta$ -сплавы ВТ9, ВТ49 и VST-5-5-5-3 и в еще большей степени  $\beta$ -сплав 10-2-3 $\alpha$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорев А. И. Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1979. 228 с.
2. Хорев А. И., Хорев М. А. Современные титановые сплавы в авиакосмической технике // Авиакосмическая техника и технология. 1997. № 1. С. 15—22.
3. Хорев М. А. Структурно-фазовые состояния и надежность сварных соединений титановых сплавов. М.: НПО ВИАМ, 1991. 107 с.
4. Хорев М. А. Упрочнение сварных соединений титановых сплавов, полученных электронно-лучевой сваркой // Митом. 1985. № 1. С. 52—54.
5. Хорев М. А. Дендритная ликвация в металле шва сварных соединений титановых сплавов // Сварочное производство. 1989. № 5. С. 37—39.
6. Белогур В. П., Трещевский А. Н., Конев С. Ю. Пружины из титановых сплавов // Титан. 2004. № 1. С. 62—54.
7. Boyer R. R., Williams J. C., Paton N. E. Evolving Aerospace Applications for Ti Alloys // Titanium. 1999. Vol. 11. P. 1007.
8. Chiaki Cuchi, Kuninori Minakawa. Development of  $\alpha + \beta$  Titanium Alloy SP-700 // Technical Review. 1998. N 65.



Ф. А. ХРОМЧЕНКО, д-р техн. наук, А. В. ФЕДОСЕЕНКО, канд. техн. наук  
ОАО "ВТИ"

## Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва.

### Ч. 2. Результаты стендовых испытаний натуральных сварных трубных моделей с дефектами<sup>1</sup>

В данной работе исследовали жаропрочность сварных соединений с дефектами и закономерности развития трещин в условиях ползучести при стендовых испытаниях сварных трубных моделей размером  $\varnothing 219 \times 28$  мм из стали 12Х1МФ в зависимости от размеров и формы исходных технологических дефектов с оценкой допустимого размера (глубины) трещины в металле шва 09Х1МФ.

Сварные трубные модели длиной 630 мм включали по восемь контрольных продольных швов (рис. 1), выполненных ручной дуговой сваркой многослойным способом с подогревом электродами Э-09Х1МФ. После сварки проводили термическую обработку по режиму высокого отпуска согласно РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с). Химический состав основного и наплавленного металлов соответствовал нормативным требованиям к стали 12Х1МФ и электродам Э-09Х1МФ.

Исходные технологические дефекты длиной  $L_0 = 30 \div 100$  мм, диаметром  $d_0$ , равным 5 и 10 мм, и в виде сдвоенных углублений  $d_0 = (4 + 4)$  мм наносили путем сверления контрольных продольных швов при изготовлении центральной части модели (см. рис. 1, 2). Сферу диаметром  $d_0 \leq 10$  мм рассматривали в качестве дефекта типа газовых пор и шлаковых включений округлой формы, а сдвоенный дефект диаметром  $d_0 = (4 + 4)$  мм принимали за эллипсоид с отношением осей 10:4, имитирующий вытянутое шлаковое включение согласно работе [1].

При разработке методики испытаний принимали следующие положения.

Форма протяженных исходных дефектов соответствует производственным технологическим, при этом размеры исходных дефектов завышены с целью получения достоверных результатов исследований при относительно небольшом времени стендовых испытаний.

<sup>1</sup> Ч. 1. — см. "Сварочное производство". 2008. № 8. С. 8—11.

Исходные технологические дефекты характеризуются различной "остротой", выраженной отношением размера малой оси дефекта к радиусу кривизны в вершине  $a/\rho$ , что в условиях растягивающих напряжений способствует появлению концентрации напряжений [1]. Коэффициент концен-

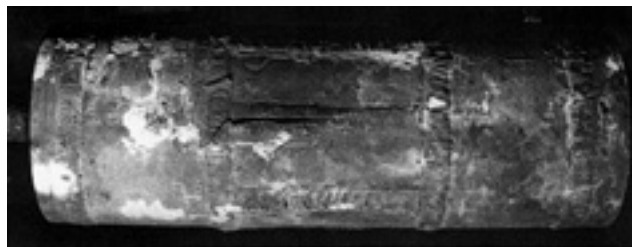
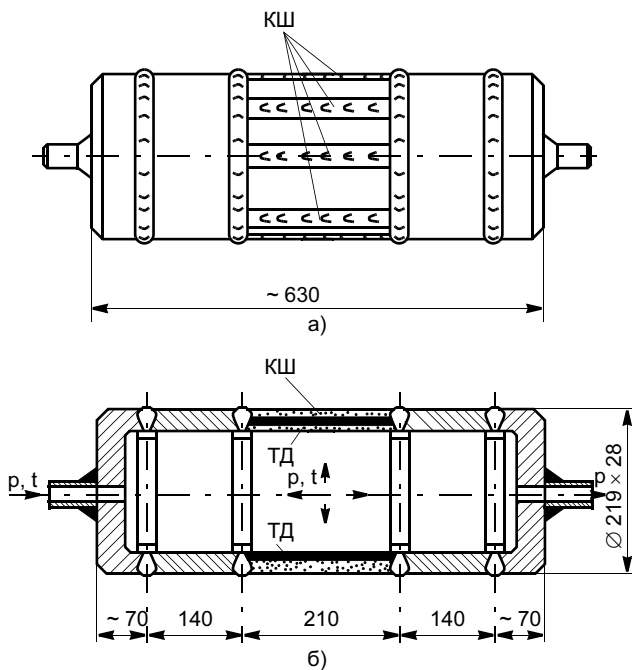


Рис. 1. Сварная трубная модель с исходными технологическими дефектами (ТД) в контрольных швах (КШ) (а), для стендового испытания под внутренним давлением  $p$  при высокой температуре  $t$  в условиях ползучести (б) и после испытания со сквозной трещиной в одном из контрольных швов (в)

Таблица 1

Номер шва	Размер исходного дефекта			$\varphi_d$	$\sigma_{\max}$ , МПа	$h_{\text{тр}}$ , мм
	$d_0$ , мм	$L_0$ , мм	$F_d$ , мм <sup>2</sup>			
1	0	0	0	1,0	111,1	0
2	5	60	300	0,926	120,0	0
3	5	100	500	0,877	126,7	0
4	10	80	800	0,803	138,4	≈14
5	10	100	1000	0,754	147,4	28
6	4 + 4	30	300	0,926	120,0	≈12
7	4 + 4	60	600	0,852	130,4	≈14
8	4 + 4	85	850	0,791	140,5	28

Примечания: 1. Максимальная глубина трещин  $h_{\text{тр}}$ , выявленных по результатам металлографических исследований макрошлифов поперечного сечения, включает размер  $d_0$  исходного технологического дефекта и глубину развившейся от него трещины. 2. Приведенная максимальная глубина трещины  $h_{\text{тр}} = 28$  мм свидетельствует о разуплотнении контрольного шва сквозной трещиной.

Таблица 2

Номер шва	$\Delta a$ , мм	$a + \Delta a$ , мм	$\sigma_{\max}$ , МПа	$K_I$ , МПа · м <sup>1/2</sup>	$v_{\Delta a} 10^{-11}$ , мм/ч	$\tau_{\Delta a}$ , тыс. ч	$\Sigma \tau$ , тыс. ч					
1	0	0	111,1	—	—	—	—					
2	1 ( $d_0 = 5$ мм)	5	120,0	16,75	4,4	$\tau_{3,T} > 150,0$ 226,3	>150,0 >376,3					
3		6	122,0									
4	$d_0 = 10$ мм	5	126,7	17,90	5,7	>150,0 175,00	>150,0 >325,0					
		6	126,7									
5	$d_0 = 10$ мм	10	138,4	—	—	$\tau_{3,T} \approx 65,0$	65,0					
		2	12					145,4	28,22	32,3	61,90	126,9
		2	14					153,5	32,18	54,1	94,60	221,5
		2	12					157,8	30,63	44,8	44,64	94,6
		2	14					169,6	35,56	79,9	25,18	119,8
6	$d_0 = (4 + 4)$ мм	10	147,4	—	—	$\tau_{3,T} \approx 50,0$	50,0					
		2	12					157,8	30,63	44,8	44,64	94,6
		2	14					169,6	35,56	79,9	25,18	119,8
		2	16					183,3	41,10	138,6	14,40	134,2
		2	18					199,5	47,43	241,4	8,30	142,0
		2	20					219,1	54,91	424,2	4,70	146,7
		2	22					242,6	63,76	753,1	2,70	149,4
2	24	271,6	74,56	1376,2	1,50	150,9						
2	26	308,6	88,18	2684,0	0,80	151,7						
2	28	358,4	106,27	5384,0	0,50	152,2						
7	$d_0 = (4 + 4)$ мм	10	120,0	—	—	$\tau_{3,T} \approx 20,0$	20,0					
		1	11					120,9	21,26	11,1	73,5	93,5
		1	12					122,0	22,47	13,6	59,9	153,4
8	$d_0 = (4 + 4)$ мм	10	130,4	—	—	$\tau_{3,T} \approx 15,0$	15,0					
		2	12					135,0	26,21	24,7	81,7	96,7
		2	14					140,1	29,37	38,3	52,2	148,9
		2	16					145,4	32,60	57,0	35,0	183,9
8	$d_0 = (4 + 4)$ мм	10	140,5	—	—	$\tau_{3,T} \approx 10,0$	10,0					
		2	12					148,3	28,79	35,0	57,14	67,1
		2	14					157,1	32,94	59,3	33,75	100,1
		2	16					167,1	37,45	96,9	20,64	121,6
		2	18					178,3	42,39	156,4	12,79	134,3
		2	20					191,2	47,92	250,8	7,98	142,3
		2	22					206,1	54,17	402,1	4,97	147,3
		2	24					223,1	61,25	645,2	3,1	150,4
		2	26					243,1	69,46	1049,8	1,90	152,3
		2	28					268,4	79,58	1768,0	1,13	153,4

Примечание. Размеры исходных технологических дефектов для швов № 1—8 и максимальные размеры (глубина) трещин  $h_{\text{тр}}$  приведены в табл. 1.

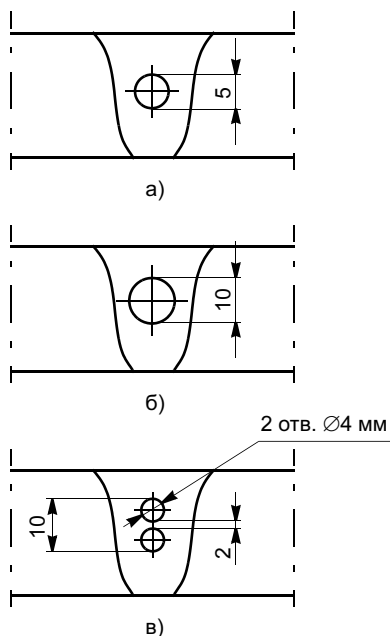


Рис. 2. Типичные исходные технологические дефекты в контрольных швах (в поперечном сечении) сварных трубных моделей: а, б — округлой формы диаметром  $d_0$ , равным 5 и 10 мм соответственно; в — эллипсоидной формы  $d_0 = (4 + 4)$  мм

трации напряжений в упругой области металла имеет следующие значения:

$\alpha_\sigma = 2,4$  для дефектов диаметром 5 и 10 мм ( $a/\rho = 1$ );

$\alpha_\sigma = 3,4$  для  $d_0 = (4 + 4)$  мм ( $a/\rho = 2,5$ ).

Для условий ползучести при температуре 545 °С коэффициент концентрации напряжений  $K_\sigma = \alpha_\sigma^{2/(m+1)}$  ( $m$  — показатель ползучести стали) и составляет соответственно для приведенных выше дефектов 1,37 и 1,55.

Площадь исходного технологического дефекта, определяемая произведением длины дефекта и его большей оси  $F_d = L_0 d_0$ , влияет на величину нетто-сечения контрольных сварных швов и, соответственно, уровень растягивающих напряжений. Коэффициент ослабления сварного шва  $\varphi_d = 1 - F_d/F$ . Уровень максимальных растягивающих напряжений

$$\sigma_{\max} = \sigma_p / \varphi_d = \rho(D_H - S) / 2\varphi_d \varphi_\omega S,$$

где  $\sigma_p$  — приведенные (окружные) напряжения от внутреннего

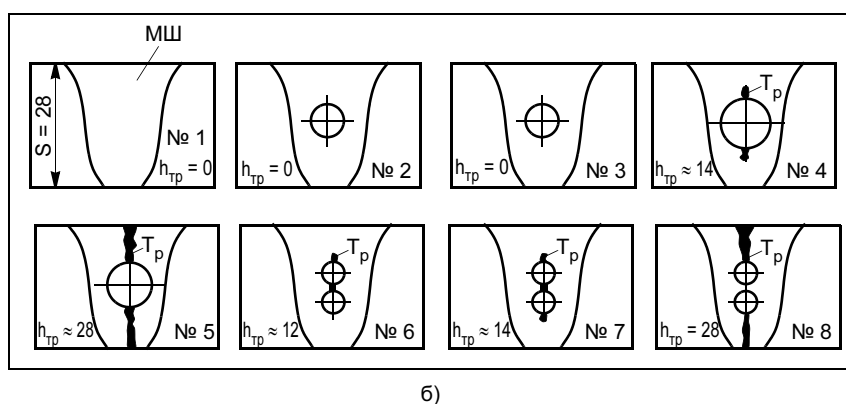
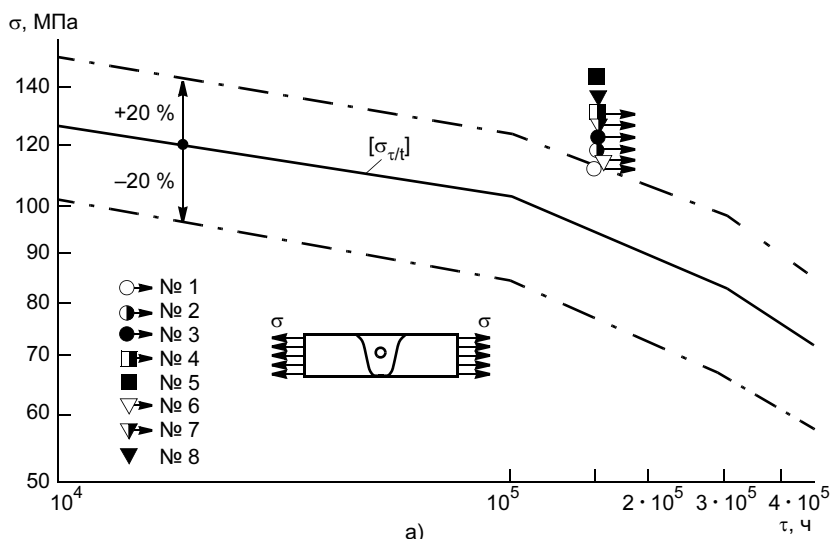


Рис. 3. Жаропрочность сварных соединений с исходными технологическими дефектами (варианты швов № 1—8, табл. 1 и 2) по результатам стендовых испытаний: а — длительная прочность сварных соединений с дефектами (экспериментальные точки № 5 и 8 — разрушение контрольных швов, в остальных точках сквозные трещины отсутствуют;  $[\sigma_{\tau/t}]$  — номинальная длительная прочность стали с допуском отклонений  $\pm 20\%$  согласно РД 10-249 — 98); б — размеры (глубина) трещин  $h_{tr}$  для вариантов контрольных швов № 1—8

давления;  $p$  — внутреннее давление пара;  $D_H$ ,  $S$  — наружный диаметр и толщина стенки сварной трубной модели соответственно;  $\varphi_{\omega}$  — коэффициент прочности сварного соединения, равный 0,7 (РД 10-249 — 98).

Расчетные значения параметров и критериев для принятых размеров исходных технологических дефектов приведены в табл. 1.

Стендовые испытания сварных трубных моделей проводили под внутренним давлением пара до разрушения (разуплотнения сквозной трещиной) одного из восьми контрольных продольных

швов каждой модели. Эксперименты проводили при высоких параметрах пара (по температурным условиям примерно на 7 % выше рабочей температуры 545 °С) с целью сокращения времени стендовых экспериментов с последующим пересчетом длительности испытаний на рабочую температуру эксплуатации паропроводов.

Стендовые испытания моделей проводили под внутренним давлением  $p = 22,4 \div 24,0$  МПа и температуре пара  $t = 600 \div 616$  °С в течение фактической длительности  $\tau_{\phi} = 4198$  ч до разуплотнения отдельных контрольных швов

(до сквозной трещины). Эквивалентные параметры испытаний  $p_{\text{экв}} = 22,81$  МПа,  $t_{\text{экв}} = 603,62$  °С рассчитывали по методике согласно СО 153-34.17-464 — 2003. Расчетная длительность испытания, установленная для рабочей температуры 545 °С с помощью параметра  $p_{\text{дп}} = T(\lg \tau - 2 \lg T + 24,88)10^{-3}$ , составила  $\tau^{545} = 152,67$  тыс. ч.

Согласно результатам стендовых испытаний трубных моделей, сварные соединения характеризуются высокими жаропрочными свойствами, их длительная прочность соответствует высоким нормативным требованиям основного металла при температуре 545 °С (рис. 3, а). Одновременно по результатам металлографических исследований установлено, что высота трещин зависит от размера исходных дефектов и колеблется в диапазоне 0—28 мм (см. табл. 1, рис. 3, б).

В связи с этим исследовали развитие трещин для условий ползучести с использованием критериев механики разрушения. Ниже приведен алгоритм определения живучести контрольных продольных швов с исходными технологическими дефектами с учетом принятых допущений.

- Определение критической глубины трещины  $a_c$  при условии  $K_I = [K_{Ic}] = K_{Ic}/2$  и оценка хрупкой прочности сварных швов при  $K_I < [K_{Ic}]$  ( $K_I$  — расчетный коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины (дефекта),  $[K_{Ic}]$  — допускаемый критический коэффициент интенсивности напряжений (вязкость разрушения) металла шва, МПа  $\cdot$  м<sup>1/2</sup>).
- Определение сопротивляемости металла шва зарождению трещины от исходного технологического дефекта по критерию

$$K_{Ic\text{th}}/K_I \geq 1,$$

где  $K_{Ic\text{th}}$  — пороговое значение вязкости разрушения металла

шва 09X1МФ в условиях ползучести при температуре 545 °С, равный 12—15 МПа · м<sup>1/2</sup> [2].

• Определение кинетики развития трещины при ползучести графоаналитическим способом с целью упрощения расчетных операций. Исходный технологический дефект условно принимали за трещину аналогичного размера, что позволяет оценивать расчетные значения  $K_I$  для исходных технологических дефектов. Последующее увеличение значений  $K_I$  обусловлено дискретным ростом трещины во времени  $\tau_{\Delta a}$  с накоплением суммарной длительности развития трещины  $\Sigma\tau$ . Этапное время прироста трещины оценивали по формуле

$$da/d\tau = CK_I^n = 8,5 \cdot 10^{-11} (K_I)^{3,85}.$$

Искомое время

$$\tau_{\Delta a} = \Delta a / V_{\Delta a},$$

где  $\Delta a$  — прирост трещины, мм;  $V_{\Delta a}$  — скорость роста трещины, мм/ч.

• Определение допускаемого размера (глубины) трещины на заданный период наработки  $\tau_H$  по минимальному значению:

$$[a] = \min\{[a]'; [a]''\},$$

где  $[a]'$ ,  $[a]''$  — минимальные размеры трещины, установленные с запасом  $n_a = 3$  на глубину трещины и  $n_\tau = 10$  на долговечность соответственно.

Из анализа полученных результатов (табл. 2, рис. 4, 5) можно сделать следующие выводы.

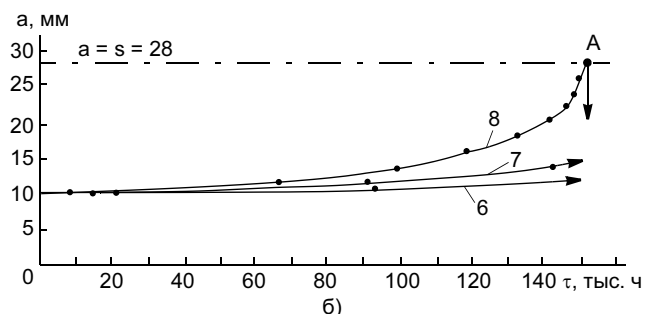
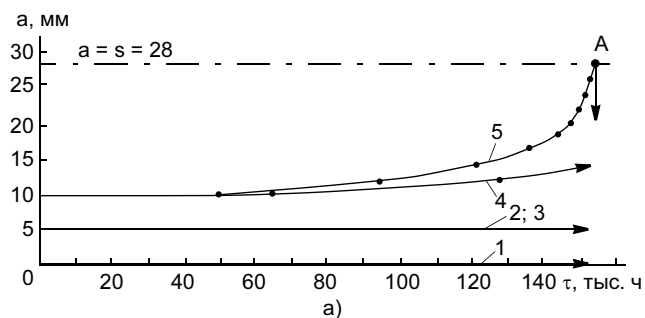


Рис. 4. Длительная статическая трещиностойкость сварных соединений с исходными технологическими дефектами 1—8 в условиях стендовых испытаний сварных трубных моделей на расчетной базе  $\tau = 152,67$  тыс. ч при эквивалентной температуре 545 °С ( $S$  — толщина стенки модели,  $A$  — точка разуплотнения сварного шва сквозной трещиной)

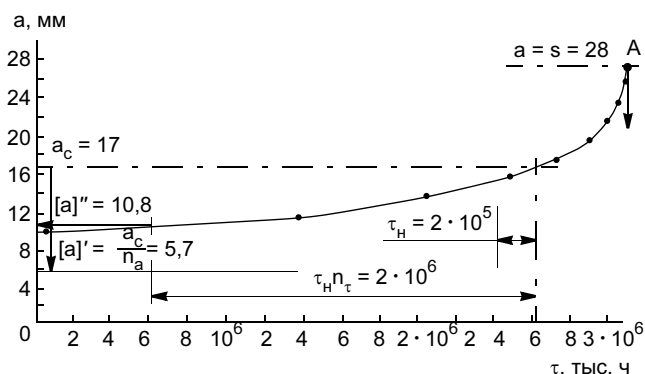


Рис. 5. Диаграмма живучести сварного соединения с исходным технологическим дефектом № 8 паропровода размером  $\varnothing 219 \times 28$  мм (сталь 12X1МФ) на стадии развития дефекта до критического размера (глубины) трещины  $a_c$  в условиях ползучести при  $t = 545$  °С и  $\sigma = 80$  МПа (оценка  $[a]'$  и  $[a]''$  для базовой наработки  $\tau_H = 2 \cdot 10^5$  ч с коэффициентами запаса  $n_a = 3$  и  $n_\tau = 10$ )

• Длительность зарождения трещины зависит от размера и формы исходного дефекта и соответственно от величины начального коэффициента  $K_I$  в зоне концентрации напряжений. Для всех вариантов размеров дефектов принимали  $K_I/K_{Icth} > 1$  для инициирования трещины. Длительность зарождения трещины  $\tau_{з.т} = \tau_{и.м} - \tau_{р.т}$  ( $\tau_{и.м}$  — длительность испытания моделей при 545 °С (до разуплотнения отдельных швов), равная 152,67 тыс. ч;  $\tau_{р.т}$  — расчетное суммарное время на развитие трещины);  $\tau_{з.т} = 10 \div 65$  тыс. ч.

• Длительность развития трещины также зависит от размеров и формы дефекта. С увеличением площади технологического дефекта и изменением его формы сокращается время развития трещин до сквозного разрушения сварного шва. Пониженной длительной статической трещиностойкостью характеризуются сварные соединения с исходными технологическими дефектами округлой формы  $d_0 = 10$  мм протяженностью  $L_0 = 100$  мм и эллипсoidalной формы  $d_0 = (4 + 4)$  мм длиной  $L_0 = 85$  мм.

• Критические дефекты площадью  $F_d = 850 \div 1000$  мм<sup>2</sup> вызывают развитие трещин до сквозного разрушения сварных швов на базе стендовых испытаний  $\tau = 152,67$  тыс. ч для расчетной эквивалентной температуры 545 °С. Дефекты округлой формы ( $F_d = 300 \div 500$  мм<sup>2</sup>) не развиваются, при  $F_d = 600 \div 800$  мм<sup>2</sup> развитие трещин незначительное ( $\Delta a \approx 4,0$  мм) для указанной базы испытаний.

• Полученные результаты стендовых испытаний позволяют оценивать допустимый размер трещин  $[a]$  для сварных соединений паропроводов, эксплуатируемых в условиях ползучести. В принятом консервативном алгоритме расчета предусмотрено несколько барьеров защиты, предупреждающих

внезапное разрушение (разуплотнение) сварного соединения: оценка критического размера (глубины) трещины  $a_c$  по допустимой вязкости разрушения из условия  $K_I = [K_{Ic}] = K_{Ic}/n_k$  ( $n_k$  — запас для нормальных условий эксплуатации, равный 2) и допускаемого минимального размера трещины с коэффициентами запаса  $n_a = 3$  и  $n_t = 10$  по глубине трещины и долговечности.

Ниже приведен пример оценки  $[a]$  в сварном соединении паропровода.

**Пример.** Определить допускаемый минимальный размер (глубину) трещины  $[a]$  в металле шва 09X1МФ с исходным технологическим дефектом № 8 (см. табл. 2) для стыкового сварного соединения паропровода ( $D_n = 219$  мм,  $S = 28$  мм) из стали 12X1МФ на заданный срок наработки  $\tau_n = 2 \cdot 10^5$  ч при температуре  $545$  °С и напряжении  $\sigma = 80$  МПа.

Исходные данные. Параметры стендовых испытаний сварной трубной модели:  $\tau_1 = 152,67$  тыс. ч при  $t_1 = 545$  °С,  $\sigma_1 = 140,5$  МПа; условия эксплуатации сварного соединения паропровода:  $t_2 = 545$  °С,  $\sigma_2 = 80$  МПа для  $\tau_n = 2 \cdot 10^5$  ч.

На первом этапе определяют полное время  $\tau_2$  развития дефекта до сквозной трещины при эксплуатации паропровода. Перерасчет времени при  $\sigma_2 = 80$  МПа проводят по формуле согласно СО 153-34.17.470 — 2003:

$$\lg \tau = -22,40 + 2 \lg T - (2400 \lg \sigma - 20297 + 82,2\sigma) T^{-1}.$$

Искомая величина  $\tau_2 = 3231,5$  тыс. ч.

На втором этапе строят кривую длительной статической трещиностойкости для установленного времени  $\tau_2$ . Одновременно оценивают критический размер (глубину) трещины  $a_c = 17$  мм по условию  $K_I = [K_{Ic}]$ . После этого на номограмме проводят горизонтальную линию, соответствующую размеру  $a_c$  (см. рис. 5).

На третьем этапе расчетно-графическим путем определяют допускаемый минимальный размер (глубину) дефекта  $[a]$  для заданной долговечности на стадии развития трещины до критического размера  $a_c$ . На номограмме приведена схема расчета для базовой наработки  $\tau_n = 2 \cdot 10^5$  ч. Для двух вариантов расчета по различным коэффициентам запаса — по глубине трещины  $n_a = 3$  и долговечности  $n_t = 10$  получены следующие значения допускаемой глубины трещины:

$$[a]' \approx 5,7 \text{ мм } (n_a = 3) \text{ и } [a]'' \approx 10,8 \text{ мм } (n_t = 10).$$

Исходя из условия консервативности минимальная глубина трещины

$$[a] = \min\{[a]'; [a]''\} = 5,7 \text{ мм}.$$

Таким образом, установлена допускаемая минимальная глубина трещины  $[a]' = 5,7$  мм для базовой наработки  $\tau_n = 2 \cdot 10^5$  ч при  $t = 545$  °С и  $\sigma_2 = 80$  МПа сварного соединения паропровода размером  $\varnothing 219 \times 28$  мм (сталь 12X1МФ), эксплуатируемого в условиях ползучести.

Размер (глубина) исходного технологического дефекта превышает допустимую глубину трещины, т. е.  $d_0 = 10$  мм  $> [a] = 5,7$  мм. В этом случае сварное соединение подлежит ремонту с удалением технологического дефекта из металла шва.

## ВЫВОДЫ

1. Установлены закономерности развития трещин в условиях ползучести при стендовых испытаниях сварных трубных моделей размером  $\varnothing 219 \times 28$  мм (сталь 12X1МФ) с исходными технологическими дефектами в металле швов 09X1МФ.

2. В условиях стендовых испытаний с расчетной длительностью  $\tau = 152,67$  тыс. ч при температуре  $545$  °С исходные технологические дефекты округлой формы ( $F_d = 300 \div 500$  мм<sup>2</sup>) не развиваются, при  $F_d = 600 \div 800$  мм<sup>2</sup> развитие трещин ползучести незначительное.

3. Допустимый размер (глубина) трещины в сварном соединении паропровода размером  $\varnothing 219 \times 28$  мм (сталь 12X1МФ) при базовой наработке  $2 \cdot 10^5$  ч в условиях ползучести, температуре  $545$  °С и напряжении  $80$  МПа на основе результатов стендовых испытаний сварных трубных моделей составляет  $5,7$  мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карзов Г. П., Леонов В. П., Тимофеев Б. Т. Сварные сосуды высокого давления. Прочность и долговечность. Л.: Машиностроение, 1982. 267 с.
2. Панин А. А. Сопротивляемость хрупким локальным разрушениям жаропрочных сталей и сварных соединений элементов энергооборудования при длительном высокотемпературном нагружении: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. С.-Петербург: ОАО "НПО ЦКТИ", 2007. 49 с.

**В. М. ОГОЛИХИН, канд. техн. наук, С. Д. ШЕМЕЛИН, инж.**  
**Конструкторско-технологический филиал Института гидродинамики**  
**им. М. А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск)**

## Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом

### ВВЕДЕНИЕ

Современные технические решения в определенной степени базируются на новых, в том числе композиционных, материалах с широким спектром требуемых физико-механических свойств. В ряде конструкций оптимальные эксплуатационные свойства можно получить лишь при условии применения составных или комбинированных узлов из разнородных материалов, соединенных между собой в композиционный материал. Из таких композиционных материалов выполняют не всю конструкцию, а лишь те элементы, которые работают в условиях воздействия локально высоких нагрузок, повышенных температур или специальных сред [1].

Достаточно перспективным с точки зрения управления теплофизическими характеристиками является биметалл сталь—медь. Композиционный материал на основе меди и стали благодаря уникальным условиям, возникающим на границе соединения при сварке металлов взрывом, обладает электро- и теплопроводностью меди и в то же время имеет прочностные характеристики, близкие к характеристикам стали. Сочетание данных свойств и определило перспективность использования такого материала при изготовлении основных деталей и узлов электротермического оборудования [2, 3], работающих при высоких температурах и обеспечивающих интенсивный и равномерный отвод теплоты.

Для ряда конструкций из композиционного материала, состоящего из слоев стали и меди, оптимальное сочетание свойств по теплопроводности и прочности достигается за счет изменения толщины внутренних и наружных слоев меди и стали при постоянной конструктивно заданной толщине композита.

В данной работе на примере биметалла (сталь—медь) и триметалла (сталь—медь—сталь) рассмотрена возможность разработки и получения сваркой взрывом материалов с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

### Сварка взрывом

Сварка меди со сталью достаточно подробно исследована как на лабораторных образцах [4, 5], так и при изготовлении крупногабаритных биметаллических изделий [6, 7]. При взрывном плакировании меди

сталью прочностные свойства по границе соединения определяются параметрами сварки взрывом.

Для изготовления биметалла и триметалла использовали сталь 12Х18Н9Т (ГОСТ 350—77) и медь М1 (ГОСТ 859—2001).

Медные заготовки размером  $600 \times 600 \times (15-12)$  мм с двух сторон последовательно плакировали стальными заготовками размером  $600 \times 600 \times (1-2)$  мм. В качестве зарядов взрывчатого вещества использовали смесь аммонита № 6ЖВ с аммиачной селитрой со скоростью детонации  $D = 2400-2800$  м/с, обеспечивающей оптимальные условия соударения. Для исключения влияния напряжений на зону соединения после первого взрывного плакирования перед вторым плакированием биметаллическую заготовку подвергали термической обработке при  $700$  °С. Предварительно были изготовлены две биметаллические заготовки с толщиной слоя стальной плакировки  $1-2$  мм и три триметаллические заготовки: две — с двусторонним плакированием меди сталью толщиной  $1$  мм и одна — с толщиной плакировки  $2$  мм. Общая толщина каждой заготовки составляла  $16$  мм. Четыре заготовки использовали для оценки прочностных свойств, а одну — для отработки последующей технологии изготовления сваркой взрывом заготовки изделия размером  $1500 \times 1500$  мм.

При получении положительных результатов планировали изготовить штамповкой из триметаллической заготовки композиционную тарель со специальной криволинейной поверхностью. Триметалл был выбран с целью выявления возможности изготовления оптимальной композиционной тарели для установки термоударной обработки сыпучих материалов<sup>1</sup>, работающей при  $200-800$  °С в технологическом процессе, разработанном в Институте катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

### Теплопроводность композиционного материала

Одной из важнейших характеристик, определяющей параметры работы приведенной установки<sup>1</sup>, является теплопроводность материала тарели,

<sup>1</sup> Патент 2186616 (РФ).

Материал	Параметр	Вариант триметалла сталь—медь—сталь								
		0—16—0	1—14—1	2—12—2	3—10—3	4—8—4	5—6—5	6—4—6	7—2—7	8—0—8
Тепловое сопротивление исходных материалов										
Сталь	Толщина, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	0	39,37	78,74	118,11	157,48	196,85	236,22	275,59	314,96
Медь	Толщина, мм	16	14	12	10	8	6	4	2	0
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	40,46	34,68	28,9	23,12	17,34	11,56	5,78	0
Тепловое сопротивление готового образца триметалла										
Триметалл	Толщина, мм	16								
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	119,2	192,16	265,12	338,08	411,04	484,0	556,96	629,92

влияющей на физические процессы термоударной обработки сыпучих материалов.

Известно, что тепловое сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения и материала, из которого проводник изготовлен. Формула для расчета теплового сопротивления имеет вид [8]

$$R_T = \rho_T \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где  $\rho_T$  — удельное тепловое сопротивление материала;  $l$  — длина проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения проводника.

Полное тепловое сопротивление по толщине композита состоит из включенных последовательно сопротивлений каждого слоя материала, входящего в состав композита. Тепловое сопротивление триметалла [9]

$$R_T = \frac{1}{S} (l_{CT} \rho_{T,CT} + l_M \rho_{T,M} + l_{CT} \rho_{T,CT}). \quad (2)$$

Удельное тепловое сопротивление  $\rho_T$  исходных материалов [10, 11] для меди М1 составляет  $2,89 \cdot 10^{-3}$  м · К/Вт, для стали 12Х18Н9Т —  $39,37 \cdot 10^{-3}$  м · К/Вт.

Для упрощения расчетов площадь сечения заготовки принимали равной  $1 \text{ м}^2$ .

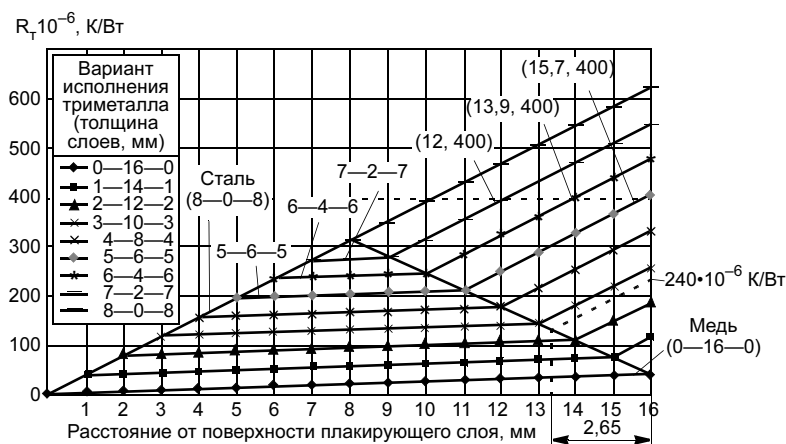


Рис. 1. Номограмма теплового сопротивления триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т

Тепловое сопротивление рассчитывали по толщине триметалла. Расчетные значения теплового сопротивления исходных материалов и готового образца триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т различных вариантов исполнения приведены в табл. 1, а также на рис. 1 в виде номограммы.

Для расчетов могут быть использованы различные варианты номограмм, приведенные ниже. Используя номограммы — распределение теплового сопротивления по толщине образца триметалла симметричного типа, можно за счет изменения толщины одного из лакирующих слоев получить вариант композита с заданными значениями теплового сопротивления  $R_T$  для несимметричной лакировки. Например, для расчета толщины слоев триметалла с  $R_T = 400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт в номограмме рис. 1 проведем из точки "400" оси ординат горизонтальную линию до пересечения с зависимостями (7—2—7, 6—4—6, 5—6—5). Абсциссы точек этих пересечений 12, 13,9, 15,7, соответственно, укажут общую толщину нового композита, а учитывая, что два слоя в исходных образцах триметалла оставались неизменными, получим следующие (несимметричные) варианты исполнения триметалла сталь—медь—сталь (мм): 7—2—3 (зависимость 7—2—7), 6—4—3,9 (зависимость 6—4—6), 5—6—4,7 (зависимость 5—6—5), имеющие тепловое сопротивление  $400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт.

Здесь же показано, что при общей толщине композита 16 мм тепловое сопротивление  $240 \cdot 10^{-6}$  К/Вт можно получить при толщине лакирующего слоя (с каждой стороны) 2,65 мм и толщине медного листа между ними 10,7 мм (симметричный вариант), при этом общая толщина лакирующих слоев составляет 5,3 мм (2,65 + 2,65). Для рассматриваемого композита (16 мм) данное значение теплового сопротивления ( $240 \cdot 10^{-6}$  К/Вт) можно получить также при других толщинах лакирующих слоев (несимметричный вариант) при условии сохранения их суммарной толщины 5,3 мм. Например, сталь — 2 мм, медь — 10,7 мм, сталь — 3,3 мм.

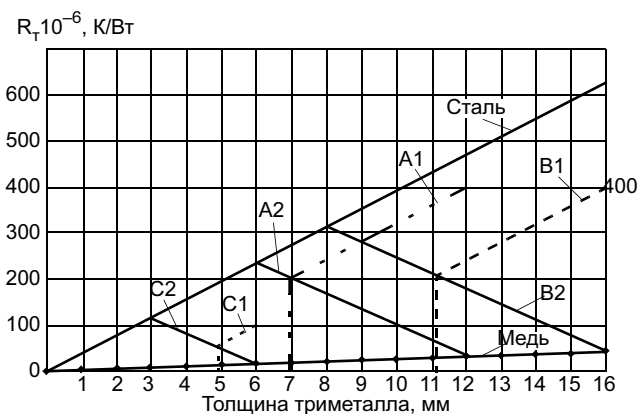


Рис. 2. Номограмма теплового сопротивления для симметричного варианта триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т



Рис. 3. Номограмма теплового сопротивления биметалла сталь 12Х18Н9Т—медь

В общем случае приведенная номограмма для симметричного варианта триметалла может содержать только семейство образующих точек перегиба зависимостей теплового сопротивления (далее образующие) от толщины плакирующего слоя, причем различной толщине композита соответствует отдельная образующая. На рис. 2 такими образующими являются прямые B2, A2, C2 для триметалла сталь—медь—сталь толщиной 16, 12 и 6 мм соответственно.

Число этих образующих и диапазон толщин триметалла на номограмме зависят от конкретной задачи и при необходимости могут быть изменены, а также дополнены отдельными зависимостями.

На рис. 2 приведены примеры определения (с помощью образующих) конкретных вариантов симметричного исполнения триметалла сталь—медь—сталь с заданным тепловым сопротивлением  $400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт и общей толщиной 16 и 12 мм, а также для толщины 6 мм и  $R_T = 100 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. В результате получены композиты с соотношением толщин 4,8—6,4—4,8 мм (для 16 мм), 5—2—5 мм (для 12 мм), 1,1—3,8—1,1 мм (для 6 мм).

Аналогичные расчеты теплового сопротивления проведены для биметалла сталь—медь (табл. 2) и представлены в виде номограммы на рис. 3, по которой можно определить соотношения между толщинами слоев исходных металлов, общей толщиной композита и тепловым сопротивлением. Здесь представлены распределения теплового сопротивления по толщине образцов композита сталь—медь со стороны плакирующего (стального) слоя для различных вариантов его исполнения, а также приведен пример определения толщин стали и меди в биметалле толщиной 16 мм для  $R_T = 240 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. Они составляют 5,3 мм для стали и 10,7 мм для меди.

За базу построения номограммы для биметалла сталь—медь может быть принята также внешняя поверхность медной пластины (здесь не рассматривается).

Как и для триметалла рассматриваемая номограмма может содержать только зависимости теплового сопротивления от толщины слоя отдельно для меди и стали, а также вертикальные линии, соединяющие обе эти зависимости, для заданных значений биметалла (рис. 4). В данном случае они расположены с интервалом 1 мм в диапазоне от 1 до 15 мм.

Таблица 2

Материал	Параметр	Вариант биметалла сталь—медь																
		0—16	1—15	2—14	3—13	4—12	5—11	6—10	7—9	8—8	9—7	10—6	11—5	12—4	13—3	14—2	15—1	16—0
Тепловое сопротивление исходных материалов																		
Сталь	Толщина, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	0	39,37	78,74	118,11	157,48	196,85	236,22	275,59	314,96	354,33	393,7	433,07	472,44	511,81	551,18	590,55	629,92
Медь	Толщина, мм	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	43,35	40,46	37,57	34,68	31,79	28,9	26,01	23,12	20,23	17,34	14,45	11,56	8,67	5,78	2,89	0
Тепловое сопротивление готового образца биметалла																		
Биметалл	Толщина, мм	16																
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	82,72	119,2	155,68	192,16	228,64	265,12	301,6	338,08	374,56	411,04	447,52	484,0	520,48	556,96	593,44	629,92



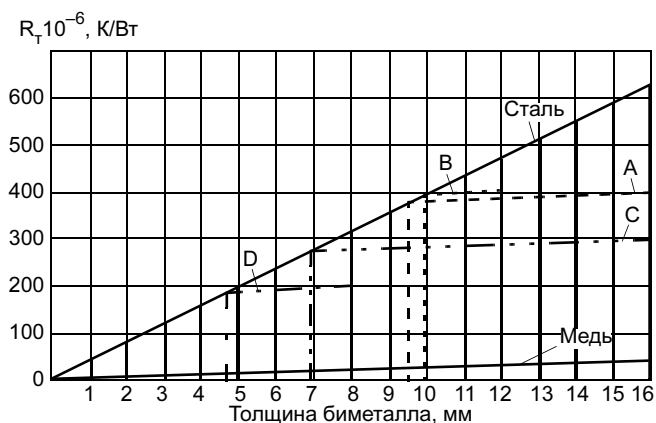


Рис. 4. Номограмма теплового сопротивления биметалла сталь 12Х18Н9Т—медь

На номограмме рис. 4 приведены примеры определения толщины листов стали и меди в биметалле толщиной 16 мм для  $R_T$  равного  $400 \cdot 10^{-6}$  (линия А) и  $300 \cdot 10^{-6}$  К/Вт (линия С), в биметалле толщиной 12 мм для  $R_T = 400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт (линия В), а также в биметалле толщиной 8 мм для  $R_T = 200 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. Получены соответственно варианты исполнения биметалла сталь—медь: 9,7—6,3, 10—2, 7—8, 4,8—3,2 мм.

Таким образом, задавая величину теплового сопротивления, по номограммам просто вычислить толщину плакирующих слоев в биметалле и триметалле и изготовить его сваркой взрывом и наоборот, имея биметалл или триметалл, можно просто определить его теплопроводность.

### Оценка прочностных свойств

Из опытно-лабораторных образцов биметалла и триметалла изготавливали образцы для испытаний на отрыв, растяжение и изгиб, для каждого вида испытаний — от 20 до 40 образцов.

Испытания на отрыв плакирующих слоев стали от меди проводили по методике, приведенной в работе [4]. Разрушение образцов при испытании на отрыв происходило, как правило, по меди при среднем усилии 254 МПа. Полученные значения соответствуют прочностным характеристикам меди как наименее прочного металла, входящего в биметалл и триметалл.

Испытания на растяжение проводили на прямоугольных образцах длиной 90 мм по ГОСТ 1497—84, изготовленных из заготовок, вырезанных вдоль слоев триметалла. Толщина плакирующих слоев стали с обеих сторон составляла 1 мм.

Характер разрушения образцов при растяжении свидетельствует о совместной деформации металлов, входящих в триметалл, среднее значение предела прочности составило 305,5 МПа.

Испытания на изгиб проводили по ГОСТ 14019—2003. Образцы изготавливали аналогично об-

разцам для испытаний на растяжение, но с поперечным сечением  $15 \times 16$  мм, длиной 200 мм.

При испытаниях частичный разрыв наружного (стального) плакирующего слоя начинался при угле изгиба  $60^\circ$  при сохранении целостности внутреннего медного слоя. Полное разрушение наружного плакирующего слоя наблюдалось при угле изгиба  $65\text{—}70^\circ$ . Как правило, при штамповке на прессах криволинейной поверхности типа рассматриваемой тарели максимальный угол изгиба не превышал  $45\text{—}50^\circ$ .

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что исследуемые композиционные материалы не только обладают необходимыми теплофизическими свойствами, но удовлетворяют условиям последующего механического передела. Теплопроводность полученного триметалла при заданной общей толщине по сравнению со сталью 12Х18Н9Т, традиционно используемой для аналогичных конструкций, в 5,3 раза выше, а прочностные свойства остаются высокими, о чем свидетельствует тот факт, что при различных видах испытаний разрушение происходит, как правило, не по зоне соединения. Установлена возможность получения сваркой взрывом листовых многослойных материалов с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

По аналогичному принципу возможно построение номограмм и получение сваркой взрывом композиционных материалов на основе других металлов с заданными физико-механическими свойствами и теплопроводностью. Однако для композитов, полученных сваркой взрывом на основе металлов с существенно различающимися физико-механическими свойствами, следует учитывать дополнительное влияние состояния зон соединения на теплопроводность и электропроводность композита в целом.

### ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод расчета с помощью номограмм теплового сопротивления композиционных многослойных листовых материалов позволяет на стадии проектирования конструкций рационально выбирать материалы с требуемыми свойствами за счет соотношения толщин исходных материалов в композите.

2. Данный метод позволяет получать сваркой взрывом листовые многослойные материалы с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е., Рябов В. Р., Рабкин Д. М. Задачи сварки разнородных материалов // Сб. докл. VII Всесоюз. совещания по сварке разнородных, композиционных и многослойных материалов. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 3—10.
2. Оголихин В. М., Симонов В. А. Сварка взрывом биметалла сталь—медь // Использование энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами. 1985. С. 224—230.

3. *Оголихин В. М., Симонов В. А.* Использование сварки взрывом при изготовлении электротермического оборудования // Применение энергии взрыва в сварочной технике. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 20—28.

4. *Дерибас А. А.* Физика упрочнения и сварки взрывом. 2-е изд. перераб. и доп. Новосибирск: Наука, 1980. 219 с.

5. *Захаренко И. Д.* Сварка металлов взрывом. Минск: Наука і техника, 1990. 205 с.

6. *Сварка взрывом* / Ю. А. Конон, Л. Б. Первухин и др. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.

7. *Кудинов В. М., Кортаев А. Я.* Сварка взрывом в металлургии. М.: Металлургия, 1978. 168 с.

8. *Кухлинг Х.* Справочник по физике: Пер. с нем. М.: Мир, 1983. 520 с.

9. *Юдаев Б. И.* Теплопередача: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1973. 360 с.

10. *Охотин А. С.* Теплопроводность твердых тел: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.

11. *Таблицы физических величин: Справочник* / Под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.

УДК 621.791(075.32)

**В. П. СИДОРОВ, д-р техн. наук**  
**Тольяттинский государственный университет**

## Методика определения точности поддержания параметров режима при точечной контактной сварке

Определение требований к точности поддержания режимов сварки относится к недостаточно изученным вопросам сварочных технологий. Приводимые в научно-технической литературе параметры режимов сварки часто являются ориентировочными и имеют значительный разброс. Это объясняется необходимостью учета конкретных условий сварки, которые могут в совокупности значительно влиять на параметры режима.

Исходными требованиями для определения точности поддержания параметров режимов при сварке являются требования к качеству сварного соединения и его допустимым отклонениям [1]. При точечной контактной сварке (ТКС) одним из важнейших требований к качеству сварной точки является соблюдение определенной величины диаметра ее литого ядра в плоскости соединения между листами. Этот параметр регламентирует ГОСТ 15878—79 независимо от вида свариваемых материалов (табл. 1). Причем в стандарте нормируется минимально допустимый диаметр ядра для определенного диапазона свариваемых толщин.

В стандарте 1979 г. в отличие от стандарта 1970 г. вместо понятия номинального диаметра литого ядра сварной точки введено понятие минимального диаметра. По величине эти диаметры фактически равны. Введены две группы соединений: А и Б. Важным отличием групп являются различные требования к минимальному диаметру. Для соединений группы А требуемый минимальный диаметр выше. Согласно ГОСТ 15878—79, "группа

соединения должна быть установлена при проектировании в зависимости от требований к сварной конструкции и особенностей технологического процесса сварки".

В ГОСТ 15878—79 отменены положительные допуски на диаметр ядра. В этом случае при расчете прочности используется минимальный диаметр ядра. Однако ориентация на минимальный диаметр ядра может привести к неэффективному использованию

Таблица 1

Средняя толщина соединения $S$ , мм	Минимальный диаметр сварной точки, мм	Площадь сварной точки минимального диаметра $F_{\min}$ , мм <sup>2</sup>	Площадь цилиндра $F_c$ , мм <sup>2</sup>	$D = 4S$ , мм <sup>2</sup>	$F_{\min}/F_c$
0,3	2,5	4,9	2,36	1,2	2,07
0,4—0,6	3,0	7,09	4,71	2,0	1,50
0,7—0,8	3,5	9,62	8,24	3,0	1,17
0,8—1,0	4,0	12,56	11,3	3,6	1,11
1,0—1,3	5,0	19,63	18,05	4,6	1,09
1,3—1,6	6,0	28,26	27,3	5,8	1,04
1,6—1,8	6,5	33,17	34,7	6,8	0,96
1,8—2,2	7,0	38,5	44,0	8,0	0,88
2,2—2,7	8,0	50,2	61,5	9,8	0,82
2,7—3,2	9,0	63,6	83,4	11,8	0,76
3,2—3,7	10,5	86,5	113,7	13,8	0,76
3,7—4,2	12,0	113,0	148,8	15,8	0,76
4,2—4,7	13,0	132,7	181,6	17,8	0,73
4,7—5,2	14,0	153,9	217,6	19,8	0,71
5,2—5,7	15,0	176,7	256,7	21,8	0,69
5,7—6,0	16,0	201,0	293,9	23,4	0,68

энергии при сварке. В связи с изложенным возникают следующие вопросы:

— насколько целесообразно использование большого диаметра литого ядра сварной точки и возможно ли, уменьшив число сварных точек в конструкции, обеспечить экономический эффект;

— какой диаметр ядра назначать при выборе режимов сварки, чтобы при возможных в конкретных условиях возмущениях гарантировать соблюдение требований ГОСТа по минимальному диаметру.

При ответе на первый вопрос можно исходить из принципа равенства площадей сечения самого ядра и боковой поверхности цилиндра с высотой, равной толщине листа, и диаметром, равным диаметру ядра. В этом случае диаметр ядра должен равняться четырем толщинам свариваемых листов.

Из табл. 1 следует, что соотношение  $D = 4S$  выполняется только для толщин 1,3—1,6 мм. До этих толщин площадь ядра больше площади боковой поверхности цилиндра, а после — наоборот, меньше. Поэтому можно утверждать, что верхним пределом диаметра ядра для толщин свыше 1,8 мм может служить величина диаметра, равного  $4S$ .

В работе [2] указано, что точечные и шовные машины для сварки легированных сталей и сплавов должны обеспечивать точность поддержания значений тока и времени сварки не менее  $\pm 5\%$ . В работе [3] приведены такие же требования к точности для большинства режимов ТКС. Однако обоснования таких требований в этих работах не приводятся.

В работе [4] предлагается при выборе параметров режима сварки применять завышенный (номинальный) диаметр ядра точки, ис-

пользуя следующую зависимость для толщин свыше 0,5 мм:

$$D_H = (2 \div 2,5)s + 3 \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $s$  — наименьшая толщина детали в свариваемом пакете.

Полученные с применением формулы (1) значения диаметра и площади ядра приведены в табл. 2. При расчете применяли максимальный коэффициент, равный 2,5.

Из табл. 2 следует, что для малых толщин деталей, сварка которых занимает наибольший объем по площадям свариваемых поверхностей, рекомендуемые номинальные диаметры дают значительно большие относительные отклонения для площадей ядра сварной точки, чем при сварке больших толщин. Это объясняется тем, что наряду с регулируемыми возмущениями в процессе сварки (ток, время сварки) происходит большое число нерегулируемых возмущений, в частности, качество подготовки свариваемых поверхностей, влияющее на величину контактных сопротивлений. При сварке деталей небольшой толщины контактные сопротивления выше, чем при

сварке деталей большой толщины. Поэтому относительные отклонения площадей ядра сварной точки номинального и минимального диаметров для свариваемых деталей малых толщин намного больше, чем для больших толщин.

В связи с этим выбор точности поддержания режимов сварки необходимо производить с учетом действия нерегулируемых возмущений. Зная вклад регулируемых параметров режима, можно выделить и общий вклад нерегулируемых и использовать впоследствии при определении режимов сварки.

Рассмотрим возможные методики выбора допустимых отклонений параметров режима, когда одновременно может происходить возмущение по нескольким параметрам. Для ТКС необходимо определить допуски на ток, время сварки и усилие сжатия. Для упрощения анализа и возможности его графической интерпретации примем, что усилие сжатия не изменяется и необходимо определить допуски на ток и время сварки.

Согласно классическим представлениям, задача об определении допустимых отклонений в случае действия двух и более параметров режима имеет бесчисленное число решений, обусловленное возможностью набора их различных сочетаний, дающих в результате допустимое отклонение параметра качества. Однако на практике такой подход неприменим. Более того, сочетание величин двух факторов имеет вероятностный характер, что необходимо учитывать при поиске решения. В теории измерений для подобной задачи определения погрешности косвенного измерения по результатам прямых измерений принят подход принципа равного влияния [5]. Он заключается в том, что влияние относительной погрешности каждого из измеряемых прямым измерени-

Таблица 2

Средняя толщина соединения, мм	Рекомендуемый номинальный диаметр $D_H$ , мм	Сечение ядра точки при $D_H$ , мм <sup>2</sup>	Отклонение рекомендуемого сечения от минимального, %
0,3	—	—	—
0,4—0,6	4,25	14,2	100
0,7—0,8	4,89	18,8	95
0,8—1,0	5,25	21,6	72
1,0—1,3	5,9	27,3	39
1,3—1,6	6,62	34,4	22
1,6—1,8	7,25	41,3	24
1,8—2,2	8,0	50,2	30
2,2—2,7	9,13	65,4	30
2,7—3,2	10,38	84,6	33
3,2—3,7	11,63	106,1	22,5
3,7—4,2	12,9	130,6	15,6
4,2—4,7	14,13	156,7	18,1
4,7—5,2	15,38	185,7	20,6
5,2—5,7	16,63	217,1	22,9
5,7—6,0	17,63	244	21,4

ем параметров принимается одинаковым. Поэтому допустимая относительная погрешность измерения каждого из параметров косвенного измерения равна частному от деления допустимой погрешности измерения на число слагаемых измерения, например при расчете объема по результатам измерения линейных размеров. Принцип равного влияния применим только при линейных зависимостях измеряемой величины от влияющих параметров.

В теории систем автоматического регулирования процесса сварки в работе [6] относительное отклонение регулируемого параметра принято равным сумме относительных отклонений возмущений режима, умноженных на так называемый коэффициент качества регулирования. За последний принято отношение относительных отклонений регулируемого параметра и одного из возмущений при отсутствии других возмущений. Применяемый в этом случае принцип можно назвать принципом равного вклада. Допустимая относительная погрешность измерения каждого из влияющих параметров

$$\Psi_n = \Delta/k_p N, \quad (2)$$

где  $\Delta$  — допустимое относительное отклонение регулируемой величины (в данном случае площадь сечения ядра точки);  $k_p$  — коэффициент качества регулирования;  $N$  — число регулируемых величин (ток и время сварки,  $N = 2$ ).

Определим, насколько известные принципы соответствуют рассматриваемому случаю допустимых возмущений при КТС.

Можно предложить ряд обоснованных инженерных методик для определения допустимых отклонений параметров режима:

— определить равное относительное отклонение для двух параметров режима, обеспечивающее требуемую точность параметра качества;

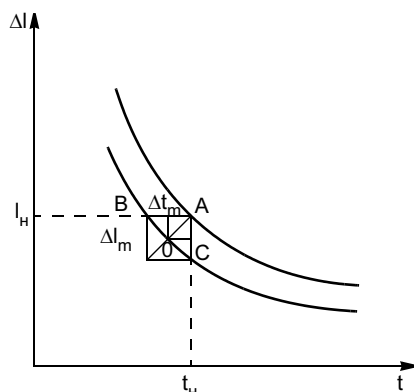


Схема определения допустимых отклонений режимов сварки с помощью изолиний

— определить допустимое относительное отклонение второго режима, если задано относительное отклонение первого режима;

— задать условный максимально приближенный режим и определить относительные отклонения режимов.

Первая методика фактически является частным случаем второй.

Рассмотрим последнюю методику. Примем, что нерегулируемые возмущения отсутствуют. Определим зависимости диаметра ядра от тока сварки при различных значениях времени сварки. На рисунке приведены две зависимости (изолинии) для заданных значений диаметра ядра. Одна изолиния построена для минимального диаметра, регламентируемого ГОСТом, другая — для искомого номинального диаметра, обеспечивающего установленный ГОСТом минимальный диаметр ядра сварной точки. Выберем на изолинии номинального диаметра точку A, характеризующую номинальный режим сварки. Построим треугольник ABC, катеты которого характеризуют максимально допустимые отклонения каждого режима при условии отсутствия другого возмущения. При нелинейном характере изолиний гипотенуза треугольника может оказаться внутри или снаружи треугольника с криволинейной гипотенузой. До-

пустимая область режимов сварки лежит на отрезке кривой BC. В зависимости от требований к соотношению относительных или абсолютных значений возмущений определим на участке BC точку, соответствующую любому из приведенных выше подходов.

Аналогично можно определить допуски при трех и более параметрах режима. При трех параметрах необходимо строить трехгранную пирамиду между изоповерхностями в трехмерном пространстве.

Рассмотрим пример определения по различным методикам допустимых отклонений на режимы сварки с помощью номограммы для отыскания параметров режимов, приведенной в работе [7]. Для проведения анализа при сварке на жестких режимах были определены режимы и выполнены расчеты, приведенные в табл. 3.

Расчет проводили с применением аппроксимирующей формулы

$$F_p = 25,4 + 0,76I^2t \quad (3)$$

с погрешностью 10 %.

Данные расчетов для изоляции тока и времени сварки для диаметра ядра 7,5, 8,5 и 9,5 мм приведены в табл. 4.

Исходя из данных табл. 4 за номинальный режим принят режим:  $I = 19$  кА,  $t = 0,114$  с при диаметре литого ядра 8,5 мм. Допустимое нижнее относительное отклонение от требуемого значения площади литого ядра сварной

Таблица 3

$D_{я}$ , мм	$I$ , кА	$t$ , с	$F_{я}$ по номограмме, мм <sup>2</sup>	Расчетная площадь $F_p$ , мм <sup>2</sup>
6	12	0,07	30,6	32,7
8	16	0,10	50,2	50,0
10	20	0,15	78,5	71,0

Примечание. Толщина свариваемых элементов 2 мм.

Таблица 4

Ток, кА	Время сварки $t$ , с, для диаметра ядра, мм		
	7,5	8,5	9,5
12	0,170	0,286	0,415
16	0,096	0,160	0,234
19	0,064	0,114	0,157
20	0,061	0,103	0,150
24	0,0425	0,072	0,104

точки  $\Delta = 22,1$  %. Для этого режима по формуле (3) рассчитывали допустимые абсолютные и относительные отклонения режима от номинальных значений. Данные расчетов приведены в табл. 5.

Для данных табл. 5 коэффициент качества регулирования по току  $k_p = 0,97$ , а по времени сварки  $k_p = 0,55$ . С применением этих коэффициентов были рассчитаны данные по требуемой точности времени сварки при заданных отклонениях тока. Расхождение между точным аналитическим решением, приведенным в табл. 5, и рекомендуемым (с использованием формулы — принцип равного вклада) составляет около 20 %. Различие обусловлено нелинейным характером зависимости сечения точки от тока сварки. Причем применение метода принципа равного вклада обеспечивает более высокие требования к точности поддержания времени сварки.

При применении принципа равного влияния относительных отклонений каждое из отклонений

не должно превышать 11,05 %. Результаты расчетов с использованием различных принципов определения допустимых отклонений приведены в табл. 6.

Из анализа результатов табл. 6 следует, что принцип равного влияния дает существенное завышение требований точности по времени сварки, принцип равных отклонений — завышенные требования по времени сварки и заниженные по току сварки. Но этот принцип может быть использован только при наличии функции отклонений площади ядра от параметров режима. Наиболее адекватные результаты можно получить с помощью принципа пропорциональных отклонений, когда соотношение искомых допустимых отклонений задается равным соотношению коэффициентов качества регулирования.

Следует отметить, что применение каждого из приведенных принципов возможно в зависимости от ситуации, для которой необходимо определить требуемую точность.

Аналогичные расчеты были выполнены по номограмме средних режимов сварки.

Аппроксимирующая формула для диапазона диаметров 6—10 мм

$$F_p = 6,3 + 1,2I^2t \quad (4)$$

описывает площадь со средней алгебраической погрешностью 6,3 %.

Таблица 5

Ток, кА	$\Delta I$ , кА	$\Delta I/I$ , %	$t$ , с	$\Delta t$ , с	$\Delta t/t$ , %
19	0	0	0,067	0,046	40,3
18,5	0,5	2,6	0,0715	0,042	37,2
18	1	5,3	0,0756	0,038	33,6
17	2	10,5	0,084	0,030	26,3
16,5	2,5	13,15	0,089	0,025	21,9
16,3	2,7	14,2	0,092	0,022	19,1
16,2	2,8	14,7	0,097	0,017	15,1
16	3	15,8	0,099	0,014	12,9
15,5	3,5	18,4	0,102	0,012	10,5
15	4	21,05	0,108	0,006	5,3
14,66	4,34	22,8	0,114	0	0

Обозначение.  $I_H$ ,  $t_H$  — значения тока и времени при сварке на номинальном режиме.

Таблица 6

Методика определения отклонений режимов	Результат, %, для параметра	
	Ток	Время сварки
Принцип равного вклада (по коэффициентам регулирования)	11,4	20,1
Принцип равного влияния	11,05	11,05
Принцип равных отклонений	14,9	14,9
Принцип пропорциональных отклонений	12,8	22,2

Допустимое отклонение площади между диаметром 7,5 и 8,5 мм составляет также 22 %. Базовый режим:  $I = 13$  кА,  $t = 0,25$  с.

Полученное для диаметра 7,5 и 8,5 мм на основе принципа пропорциональных отклонений допустимое отклонение по времени — 25,3 %, по току — 13,6 %. Требования по относительным отклонениям для средних режимов сварки оказались ниже, чем для жестких.

При наличии нерегулируемых возмущений предлагается рассматривать их в качестве некоего единого обобщенного возмущения. Тогда общее число учитываемых возмущений составит  $N + 1$ .

*Пример расчета.* Требуется определить допустимые отклонения для тока и времени сварки при наличии нерегулируемых возмущений. Толщина стального листа 2 мм. Минимальный диаметр ядра по ГОСТ 15870—79  $D_{\min} = 7$  мм. Площадь ядра при минимальном диаметре  $F_{\min} = 38,5$  мм<sup>2</sup>. Номинальный диаметр ядра по формуле (1)  $D_H = 8,0$  мм. Площадь ядра при номинальном диаметре  $F_H = 50,2$  мм<sup>2</sup>.

*Решение*

С помощью табл. 2 определим, что допустимое относительное отклонение по площади ядра сварной точки  $\Delta = -30$  %. По принципу равного вклада на каждое возмущение приходится по 10 %. С учетом влияния нерегули-

руемых возмущений получим номинальную площадь сечения ядра  $45,2 \text{ мм}^2$ .

С помощью номограммы или экспериментально определим аналитическую зависимость площади ядра сварной точки от тока и времени сварки.

Назначаем режим сварки, обеспечивающий формирование скорректированной номинальной площади ядра при условии отсутствия нерегулируемых возмущений. При  $I = 16 \text{ кА}$  получим  $t = 0,1 \text{ с}$ .

С помощью формулы (3) по скорректированному значению площади ядра рассчитаем допустимые относительные отклонения тока и времени сварки при отсутствии второго возмущения. Отклонение по току  $\Delta I/I = -0,29$ , по времени сварки  $\Delta t/t = -0,5$ .

Определим коэффициенты регулирования по току и времени сварки  $k_{pI} = 0,3/0,29 = 1,03$ ;  $k_{pt} = 0,3/0,5 = 0,6$ .

Определим равный вклад любого параметра, включая нерегулируемые параметры, по формуле (2):

$$\Psi_I = -10,3 \%; \quad \Psi_t = -16,7 \%.$$

Проверим решение с помощью формулы (2). Допустимые

значения тока  $I = 14,35 \text{ кА}$  и времени сварки  $t = 0,083 \text{ с}$ . Рассчитаем площадь ядра точки по формуле (3):  $F_p = 42,5 \text{ мм}^2 > F_{\min} = 38,5 \text{ мм}^2$ . Разница  $4 \text{ мм}^2$  соответствует вкладу нерегулируемых возмущений, равному  $10 \%$ .

Таким образом, при наличии общего вклада нерегулируемых возмущений, равного  $10 \%$ , применение принципа равного вклада дает существенно отличающиеся требования к точности поддержания тока и времени сварки в отличие от рекомендуемых в работах [2, 3]. В связи с этим требуется обоснование точности поддержания режимов в конкретных условиях сварки.

## ВЫВОДЫ

1. Регламентируемая ГОСТ 15870—79 минимально допустимая площадь литого ядра сварной точки недостаточна и необходима разработка рекомендаций по определению номинальных режимов сварки и точности их поддержания.

2. При определении допустимых отклонений по принципу равного вклада могут быть получены завышенные требования по точности поддержания режимов

сварки. Допустимые отклонения режимов целесообразно определять по изолиниям (изоповерхностям) этих режимов в области треугольника максимальных отклонений, отыскивая оптимальное соотношение абсолютных или относительных их величин.

3. Вклад нерегулируемых возмущений процесса сварки можно учесть, если известны обобщенные требования к точности поддержания параметра качества, путем введения слагаемого обобщенного возмущения в выражение для определения влияния всех возмущений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цепенев Р. А. Автоматизация сварочных процессов: Учеб. пособие. Тольятти: УКЦ "Конкурс", 1990. 106 с.
2. Чулошников П. Л. Точечная и роликотварная электросварка легированных сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1968. 200 с.
3. Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: ИЦ "Академия", 2006. 432 с.
4. Гельман А. С. Технология и оборудование контактной электросварки. М.: Машгиз, 1960. 368 с.
5. Алукер Ш. М. Электрические измерения. М.: Колос, 1972. 352 с.
6. Сварка в машиностроении. В 4 т. Т. 4 / Под ред. Ю. Н. Зорина. М.: Машиностроение, 1979. 512 с.
7. Кабанов Н. С. Сварка на контактных машинах. М.: Высшая школа, 1973. 255 с.

УДК 621.791.3

**Л. Д. ЛЫСЕНКО, канд. техн. наук, Е. В. ШАБАЛИНА, инж.  
ФГУП НПП "Торий" (Москва)**

## Пайка узла из тугоплавких материалов с рабочей температурой до $1800^\circ\text{C}$

Уникальные свойства молибдена, вольфрама и их сплавов обуславливают применение данных материалов в условиях эксплуатации при высоких температурах, однако при реализации этих свойств в конструкциях возникает проблема получения удовлетворительных прочностных характеристик и точности пространственного положения при соеди-

нении узлов из них. Поэтому в каждом конкретном случае исходя из технических условий эксплуатации ведут поиск аналогов или разрабатывают технологии нового варианта соединений.

На рис. 1 приведен узел с контактной шайбой и токоподводящим проводником, выполненным из фольги сплава ВР-20.

По условиям эксплуатации узел должен работать при температуре до 1800 °С в вакууме, сохраняя прочность и стабильность формы конструкции.

На начальном этапе разработки технологии пайки такого узла установили, что при традиционных способах пайки с использованием высокотемпературного припоя на основе молибден-рутениевого сплава ПмоРу 57-43 с температурой плавления 1950 °С эвтектика травмирует фольгу, контакт получается частичным. Соединение, полученное нагружением места спая, также формируется неудовлетворительным.

Известно, что никель и его сплавы активно взаимодействуют с тугоплавкими металлами. Для соединения молибдена со стержнями из сплава ВР-20 в конструкциях тепловых развязок используют медно-никелевый припой ПрММ 25Кр1,5 с температурой плавления 1150 °С. Рабочий диапазон температур этого припоя находится в пределах до 1000 °С, соединение получается качественным, но остается проблема получения высокотемпературной устойчивости соединения.

Для решения задачи в контактной шайбе выполняли паз для закладки токоподводящего проводника. В месте соединения проводник покрывали слоем гальванического никеля. В процессе сборки узла выявилась неравномерность покрытия. По краям зоны изоляции толщина покрытия превышала требуемое значение, что технологически трудно устраняется.

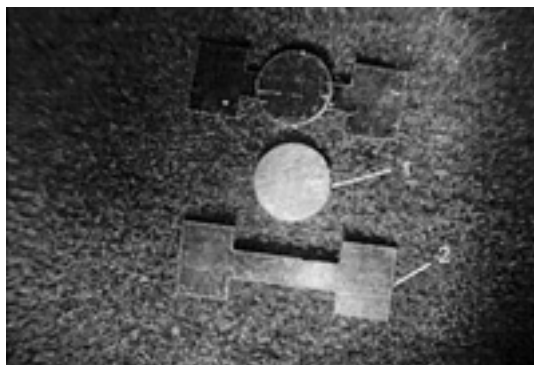


Рис. 1. Паяный узел (сверху) с контактной шайбой из молибдена (1) и токоподводящим проводником (2)

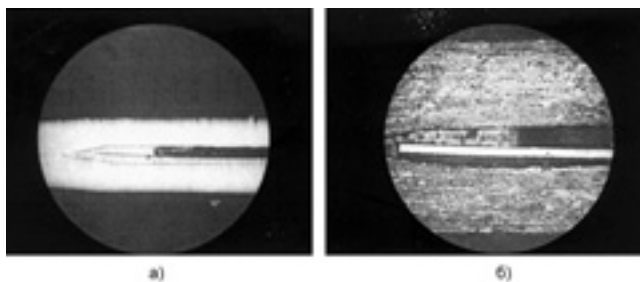


Рис. 2. Структура (×120) паяного соединения с покрытием гальваническим никелем: а — избыток никеля в соединении; б — открытый зазор в контактной шайбе

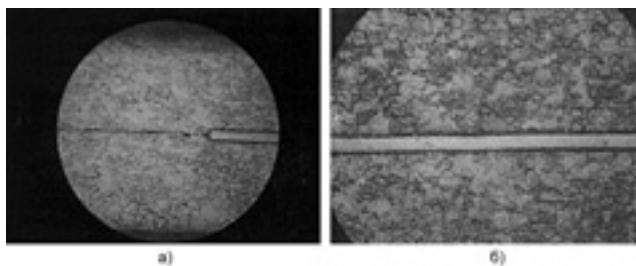


Рис. 3. Структура (×120) паяного соединения с напыленным слоем никеля: а — зазор в контактной шайбе закрыт; б — зона диффузии никеля ограничена

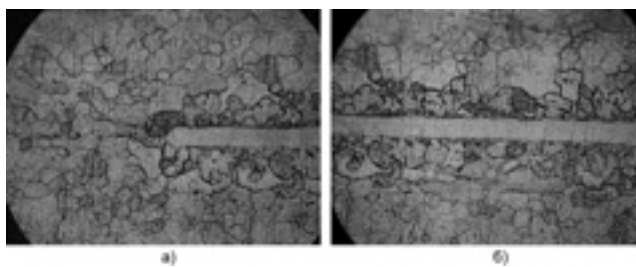


Рис. 4. Микрошлиф (×120) паяного соединения с напыленным слоем никеля: а — после нагрева до 1800 °С; б — твердое соединение никеля с молибденом

Нагрев узла проводили с нагружением места спая в водородной печи до температуры, близкой температуре эвтектики системы никель — молибден с последующей выдержкой при данной температуре. Микрошлиф такого соединения приведен на рис. 2.

В соединении отчетливо наблюдается избыток никеля, зазор между контактной шайбой остается открытым. В процессе испытаний при нагреве до температуры эвтектики никель вступает во взаимодействие с проводником, происходит его эрозия и разрыв.

Для получения гарантированного по параметрам слоя никелевого покрытия применяли электронно-лучевое напыление через маску. Сборку и пайку узла проводили по аналогии с рассмотренным выше. На рис. 3 приведен микрошлиф соединения после пайки. Видно, что зазор в контактной шайбе заполнен, зона диффузии никеля ограничена. Микрошлиф узла после испытаний при рабочей температуре 1800 °С приведен на рис. 4. Произошла межкристаллитная диффузия никеля. В соединении молибденовой контактной шайбы с токоподводящим проводником зазоры не обнаружены, никель образовал с молибденом твердый раствор.

Таким образом, с применением пайки через никелевое покрытие, нанесенное электронно-лучевым способом, получено соединение тугоплавких металлов, свойства которого равнозначны свойствам металлов конструкции при температуре эксплуатации до 1800 °С.

---

---

# ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.791.753.5.048

**Ю. С. ВОЛОБУЕВ**, канд. техн. наук, **А. В. СУРКОВ**, канд. техн. наук,  
**О. С. ВОЛОБУЕВ**, инж.  
(ЦНИИТМАШ),  
**П. Н. КИПИАНИ**, канд. техн. наук  
(Кутаисский политехнический университет),  
**Д. В. ШЕСТОВ**, инж., **Н. В. ПАВЛОВ**, канд. техн. наук,  
**А. И. САВЧЕНКО**, канд. техн. наук  
(ВНИИЖТ)

## Разработка и опыт использования керамического флюса ФКН-7 при восстановлении деталей железнодорожного подвижного состава

Износ подвижного состава грузового вагонного парка требует проведения ремонта деталей вагонов с применением сварочно-наплавочных технологий в большом объеме. При этом решается задача не только восстановления геометрии изношенных поверхностей, но и повышения их износостойкости и долговечности. Это достигается применением низколегированных наплавочных материалов, обеспечивающих получение наплавленного металла требуемой структуры и твердости [1, 2].

Наиболее производительным способом, обеспечивающим получение высококачественного наплавленного металла, является автоматическая наплавка под флюсом. Однако применяемые до настоящего времени плавные флюсы (в основном АН-348А, ОСЦ-45 и АНЦ-1) являются окислительными с основностью соответственно 0,8, 0,8 и 0,77.

Обладая высокой химической активностью, плавные флюсы интенсивно окисляют легирующие элементы сварочной проволоки, снижая металлургические и механические характеристики наплавленного металла. Кроме того, наиболее значимые в СНГ производственные мощности по изготовлению плавных флюсов находятся в Украине, а на территории России такие флюсы производятся в весьма ограниченных количествах.

Необходимо также подчеркнуть, что производство керамических флюсов является экологически чистым, энергетические затраты в 3—4 раза ниже по сравнению с производством плавных флюсов. Применение керамических флюсов с легирующими добавками обеспечивает получение наплавленного металла со специальными свойствами.

В промышленности развитых стран применяют более технологичные керамические (агломерированные) флюсы, в России производство таких флюсов находится в зачаточном состоянии.

Цель данной работы — разработка и внедрение, в первую очередь на железнодорожном транспорте, нового керамического флюса.

Состав нового флюса подбирали таким образом, чтобы максимально сохранить легирующие элементы широко применяемых на ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта сварочных проволок Св-08ХГ2СМФ и Св-10ХГ2СМФ.

При разработке нового керамического флюса исследовали сварочно-технологические свойства его опытных партий, полученных на базе следующих шлаковых систем:  $\text{CaO—CaFe}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ;  $\text{MgO—CaF}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ;  $\text{CaO—MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—ZrO}_2\text{—SiO}_2$ .

В результате проведенных исследований установили, что наилучшими сварочно-технологическими свойствами обладают керамические флюсы на базе шлаковой системы  $\text{MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$  при введении в их состав в определенном соотношении 20—30 %  $\text{CaF}_2$  и  $\text{CaO}$ . На металлургические свойства флюса (снижение окисления легирующих элементов в сварочной ванне) положительно влияет частичная замена  $\text{SiO}_2$  на  $\text{ZrO}_2$ , обладающий более низкой химической активностью по отношению к наплавленному металлу.

В связи с необходимостью наплавки большого количества деталей железнодорожной техники типа тел вращения (валов, осей, шпинтонов, колес и др.) разрабатывали флюс, образующий так называемый



короткий шлак, что предотвращает его стекание с наплавляемой поверхности и в то же время обеспечивает хорошее формирование наплавляемого валика. Данные свойства флюса получили путем введения в его состав достаточно большого количества MgO при определенном соотношении CaF<sub>2</sub> и CaO. Следует отметить, что новый керамический флюс вследствие специальной технологии его изготовления обладает более низкой насыпной плотностью по сравнению с плавными флюсами (0,8—1,1 кг/дм<sup>3</sup>), что обеспечивает плавное сплавление наплавляемого валика с основным металлом, уменьшение глубины проплавления и расхода керамического флюса на единицу наплавленного металла.

Для наплавки натуральных деталей железнодорожного подвижного состава изготовили опытно-промышленную партию флюса ФКН-7 (флюс керамический наплавочный седьмой модификации). Основность полученного флюса рассчитывали по уточненной формуле МИСа, приведенной в работе [3]:

$$B = [0,18CaO + 0,015MgO + 0,014(K_2O + Na_2O) + 0,006CaF_2 + 0,007(MnO + FeO)]/[0,017SiO_2 + 0,005(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)],$$

где CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> и т. д. — массовая доля соответствующего химического соединения, %.

Установили, что основность разработанного флюса  $B = 1,26$ , что значительно превосходит основность плавных флюсов (~0,8).

Испытания флюса ФКН-7 выполняли при наплавке гребней вагонных колесных пар проволокой Св-08ХГ2СМФ диаметром 3,0 мм при токе 350 А обратной полярности, напряжении 35 В, скорости сварки 24 м/ч, вылете электрода 35 мм.

Испытания показали, что флюс обеспечивает высокий уровень сварочно-технологических характеристик, хорошее формирование наплавленных валиков, самопроизвольную отделимость шлаковой корки, горячие трещины в наплавленном металле отсутствуют (рис. 1).

Из анализа приведенных в таблице составов проволоки Св-08ХГ2СМФ и металла, наплавленного на гребень вагонного колеса из колесной стали марки 2, следует, что разработанный флюс обладает низкой химической активностью по отношению к наплавленному металлу и обеспечивает стабильный переход легирующих элементов из проволоки в наплавляемый металл, повышая в результате



Рис. 1. Шлаковая корка при наплавке деталей вагонов под флюсом ФКН-7

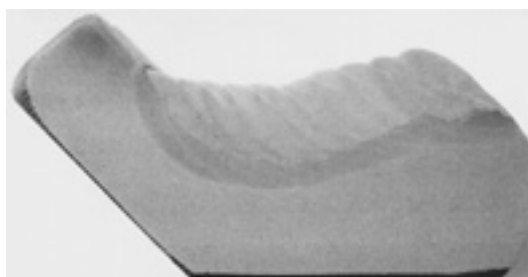


Рис. 2. Макроструктура металла гребня вагонного колеса, наплавленного проволокой Св-08ХГ2СМФ под флюсом ФКН-7

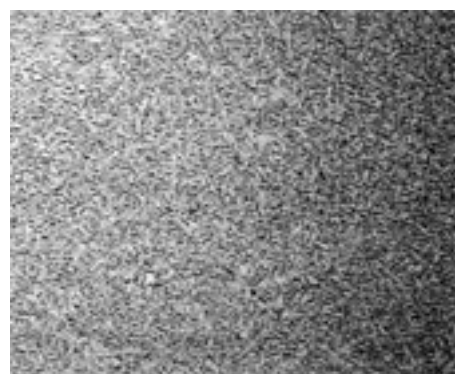


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла восстановленного гребня вагонного колеса

эксплуатационные характеристики восстановленных деталей.

Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-08ХГ2СМФ на колесную сталь в пять слоев, определяли по ГОСТ 6996 — 66. Установили, что временное сопротивление металла составляет 730—800 МПа, предел текучести — 620—680 МПа, относительное удлинение — 18 %, относительное сужение — 60 %, ударная вязкость  $KCU_{+20} = 72$  Дж/см<sup>2</sup>.

Металл, наплавленный проволокой Св-08ХГ2СМФ под флюсом ФКН-7, плотный, трещины, поры и шлаковые включения не обнаружены (рис. 2). Структура более дисперсна, чем структура металла при использовании флюса АН-348А (рис. 3).

Анализируемый металл	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P
Проволока Св-08ХГ2СМФ	0,08	0,70	1,80	0,71	0,45	0,11	0,007	0,0004
Наплавленный металл	0,027	0,62	0,73	0,68	0,41	0,12	0,022	0,010

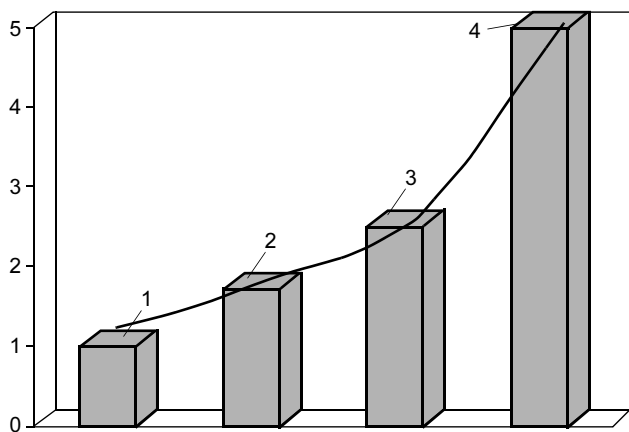


Рис. 4. Износостойкость гребней вагонных колес, не наплавленных (1) и наплавленных сварочными проволоками Sv-08Г2С (2), Sv-08ХМ (3) и Sv-08ХГ2СМФ (4) под флюсом ФКН-7

На основе результатов проведенных исследований определен оптимальный состав<sup>1</sup> флюса ФКН-7 и разработаны ТУ 1800-4-001-568-74395-02 "Флюс керамический ФКН-7". Флюс предназначен для одно- и многослойной наплавки деталей подвижного состава сварочной проволокой Sv-08ХГ2СМФ и другими низколегированными проволоками сложной композиции.

Дальнейшие испытания флюса ФКН-7 проводили в промышленных условиях грузовых вагонных депо Московской, Куйбышевской и Красноярской

<sup>1</sup> Патент 2240907 (РФ).

железных дорог при автоматической наплавке гребней вагонных колес, наддресорных балок и пятников грузовых вагонов. Были получены положительные отзывы о новом флюсе: дуга горит устойчиво, отделяемость шлаковой корки хорошая, формирование наплавленного слоя металла удовлетворительное, поры, шлаковые включения, горячие и холодные трещины отсутствуют, значительно повышается износостойкость наплавленных деталей (рис. 4). Особо следует отметить существенное (на 30—40 %) снижение расхода флюса ФКН-7 по сравнению с флюсом АН-348А.

## ВЫВОД

Разработанный на базе шлаковой системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  керамический флюс ФКН-7 с основностью 1,25 обеспечивает высококачественную износостойкую наплавку деталей грузовых вагонов комплексно-легированными сварочными проволоками и рекомендуется для внедрения на ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восстановление и упрочнение колес железнодорожного подвижного состава износостойкой наплавкой / П. Н. Кипиани, Н. В. Павлов, А. И. Савченко, В. Н. Лозинский // Проблемы сварки, металлургии и родственных технологий. Тбилиси, 1997. С. 84, 90.
2. Трибологические свойства пар трения деталей железнодорожного подвижного состава, восстановленных износостойкой наплавкой / Н. В. Павлов, В. К. Струнец, Д. Н. Абраменко и др. // Современное оборудование, технологии и материалы для сварочного производства. Томск, 2004. С. 67—75.
3. Потапов Н. Н. Основы выбора флюса при сварке сталей. М.: Машиностроение, 1969. 168 с.

УДК 621.791.927.55

**И. А. КАЛАШНИКОВА, инж., А. В. КАЛАШНИКОВ, канд. техн. наук**  
Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка

## Технология получения порошка на основе базальта, используемого при газотермическом напылении износостойких покрытий

Из современных методов повышения стойкости против изнашивания наиболее применяемым является нанесение упрочненного слоя на поверхность детали. Исследования в этой области выполнены И. И. Тылкиным, В. С. Поповым, Е. В. Антошиным, Ю. С. Борисовым, А. А. Борисовой, В. И. Юшковым, С. Л. Фисиманом и другими учеными.

Значительная часть технологических задач по повышению стойкости против изнашивания решается путем использования газотермических методов на-

несения покрытий. Благодаря этому методу можно напылять различные материалы в несколько слоев, получая при этом покрытие со специальными свойствами [1—4]. Газотермическое напыление применяют для нанесения тугоплавких и высокотвердых покрытий из оксидов, металлов, интерметаллидов, силицидов, карбидов, боридов и др.

В зависимости от эксплуатационных свойств и практического назначения покрытия делят на следующие основные группы [5—8]: износостойкие, термо-

стойкие, стойкие против атмосферной коррозии и воздействия редких сред, со специальными электрофизическими и оптическими свойствами, служащие для образования саморегулирующих зазоров, а также для восстановления размеров изношенных деталей.

В некоторых случаях покрытие одновременно может удовлетворять ряду требований.

В данной работе разработано покрытие для защиты от абразивного изнашивания.

При работе пары трения в условиях интенсивного абразивного изнашивания рекомендуется использовать для нанесения покрытий вольфрамкобальтовые твердые сплавы [4]. При абразивном изнашивании в условиях невысоких температур (до 500 °С), когда абразивные частицы проникают в зазор между парами трения, наибольшее применение получили покрытия на основе никелевых самофлюсующихся сплавов как в чистом виде, так и с примесями порошков упрочняющих материалов (карбидов, боридов) [5].

Особое место в технологии газотермического нанесения покрытий занимают композитные материалы для упрочнения поверхности. Они состоят из пластичной — железной или никелевой матрицы, упрочненной боридами железа, титана, никеля или карбидами этих элементов.

Стоимость материалов довольно высока, поэтому в данной работе рассматривается применение естественных износостойких минералов в качестве основы для газотермических покрытий, в частности базальта.

Базальты относятся к наиболее распространенным горным породам магматического происхождения. Минеральный состав базальтов аналогичен материалу габбро. Они отличаются высокой

вязкостью и достаточно большой механической прочностью и состоят преимущественно из пироксена и плагиоклаза [7].

Для получения порошков использовали базальтовые отливки следующего минерального состава: до 90 % моноклинного пироксена, до 15 % магнетита, 2 % хромита, до 15 % стекла и оливин в незначительном количестве.

Магнетит в процессе кристаллизации выделяется первым. Он присутствует в виде мелких кубических кристаллов, тонкой магнетитовой пыли или дендритных форм, которые иногда образуют сплошную сетку. При медленном охлаждении расплава они выделяются в интервале ликвидуса — до 620—650 °С [8].

Оливины являются нежелательной фазой. Они обычно кристаллизуются из расплавов, в состав которых входят железо и при повышенном содержании оксиды магния, особенно в зонах отливок, которые охлаждаются медленно. Плагиоклазы, состоящие из лабрадора или андезина, могут выделяться при медленном охлаждении базальтового расплава в виде бесцветных призматических кристаллов или сферолитовых агрегатов.

Главной минеральной фазой базальтового литья является моноклинный пироксен диопсид-геденбергитового ряда. Он выделяется при медленном охлаждении расплавов в интервале температур от 1200—1150 до 800 °С (наибольшее количество выделяется при 1150 °С). Преобладающие формы выделений — сферолиты. Различают радиально-лучистые, звездчатые, радиально-волокнистые и перистые сферолиты. Преобладают звездчатые сферолиты, которые имеют округлую или неправильную полигональную форму. В центре их располагаются кри-

Таблица 1

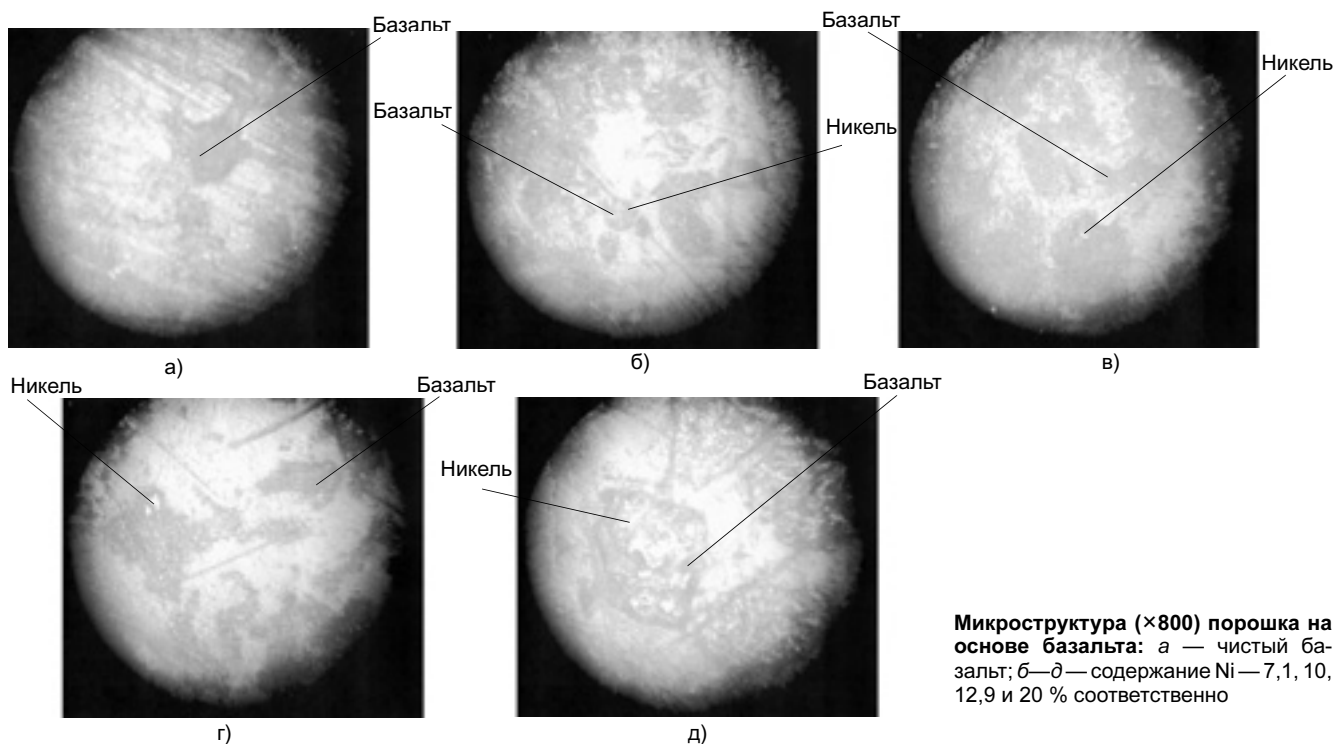
Тип минералообразования	Содержание пироксена, %	Состав пироксена (Ca, Mg, Fe, Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>6</sub>	CaFe <sub>3</sub> + 2Si <sub>6</sub>	CaTiAlSi <sub>6</sub>	NaAlSi <sub>6</sub>
1	49,3	76,1	—	18,9	6,0	—
2	81,4	48,4	30,2	—	3,6	17,8
3	90,7	43,3	27,1	10,3	3,3	16,0

Таблица 2

Уровень варьирования	Код	Фактор	
		Содержание никеля x <sub>1</sub> , %	Содержание крахмала x <sub>2</sub> , %
Основной	0	10,0	20,0
Верхний	+1	20,0	30,0
Нижний	-1	0	10,0

Таблица 3

Номер эксперимента	x <sub>0</sub>	Матрица x-плана		Содержание выхода качественного порошка, %			Среднее значение выхода, %
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	
1	+1	-1	-1	33,89	32,91	28,99	31,93
2	+1	+1	-1	43,20	43,35	42,33	42,96
3	+1	-1	+1	56,70	53,60	55,90	55,40
4	+1	+1	+1	43,65	44,82	43,82	44,10
5	+1	-1	0	61,50	65,50	64,40	63,80
6	+1	+1	0	52,12	53,63	52,95	52,90
7	+1	0	-1	39,62	40,25	37,82	39,23
8	+1	0	+1	62,98	59,26	61,96	61,40
9	+1	0	0	49,05	49,24	52,91	50,40



**Микроструктура ( $\times 800$ ) порошка на основе базальта:** а — чистый базальт; б—д — содержание Ni — 7, 10, 12,9 и 20 % соответственно

сталлы буровато-красного хромита или непрозрачного магнетита. Сферолиты соединяются между собой тонкими оболочками стекла, тонкозернистыми агрегатами магнетита, хромита. Оптимальный размер сферолитов 60—90 мкм. Структура базальтового каменного литья практически полнокристаллическая, по форме кристаллических агрегатов преобладает сферолитовая, но при определенных условиях может образоваться дендритная, пальцеобразная, иногда иглообразная, а также венечно-сферолитовая или дендритно-сферолитовая. Текстура чаще всего однородная, массивная.

Различия в каменном литье из базальта для трех типов минералообразования иллюстрирует табл. 1 [8, 9].

Для получения порошка использовали базальтовые плиты объемной плотностью 2,9—3,1 г/см<sup>3</sup>, прочностью на сжатие 200 МПа, твердостью по Моосу 7—8, потери при трении на круге ЛКИ не выше 0,027 г/см<sup>2</sup> (Донецкий ОАО "Литейный завод "Магма").

Базальтовые плиты измельчали до порошкообразного состояния. При этом порошок с крупностью фракции 150—250 мкм использовали как чистый материал для напыления, а фракции крупностью 5—10 мкм перемешивали с порошком никеля и пластификатором.

Никель добавляли для образования вяжущей матрицы (так как свойства газотермических покрытий на основе базальтов только изучаются).

Концентрацию никеля принимали в процентах от массы порошка в соответствии с планом экспе-

римента и требованиями технологии газотермического напыления.

Грануляцию (фракции 150—250 мкм) смеси никеля с базальтом проводили на основе рекомендаций Института материаловедения НАН Украины, в качестве пластификатора использовали 20 %-ный раствор картофельного крахмала [10].

Технология получения порошка отличается относительной простотой. Полученную смесь замешивали в бегунах и просушивали на воздухе до влажности 30—40 %. Просушенную на воздухе смесь протирали на виброситах с размерами ячеек 1,6, 1,0, 0,63 и 0,4 мм керамическими цилиндрами, которые свободно катались в смеси. После протирания порошок высушивали в сушильном шкафу в течение 8 ч при 70—80 °С, а затем рассеивали на контрольных ситах.

Важным фактором при получении порошка является процент выхода качественного порошка за данной фракции.

С целью достижения максимального эффекта получения качественного порошка проводили оптимизацию эксперимента методом планирования [11]. Для планирования эксперимента использовали двухфакторный центральный ортогональный план вида

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2. \quad (1)$$

Число экспериментов при планировании составляет  $N = 2^2 + 2 \cdot 2 + 1 = 9$ , а с учетом повторяемости ( $\gamma = 3$ ) возрастает до 27. Значения факторов и уровни их варьирования приведены в табл. 2.

Результаты исследований соответственно плану экспериментов приведены в табл. 3.

После обработки результатов эксперимента на ПЭВМ получили модель процесса:

$$y = 50,36 + 4,7x_1 + 11,08x_2 - 1,43x_1^2. \quad (2)$$

После перехода от кодированных значений факторов к реальным получили уравнение вида

$$F = -2,08 + 9,67C_2 - 0,36C_2^2. \quad (3)$$

Эта зависимость проанализирована на максимальную величину выхода качественного порошка.

Микроструктура порошка с различным содержанием никеля приведена на рисунке.

Выход качественного порошка (фракции 150—250 мкм) после пересева на стандартных ситах составляет 63,97 % массы полученного порошка при содержании крахмала 23 %.

Порошок имеет довольно длительный срок хранения. При контрольном пересеве после семилетнего срока хранения порошка карбида бора, полученного по подобной технологии, отходы составили меньше 1 % [12].

## ВЫВОДЫ

1. Для грануляции порошков, используемых при газотермическом напылении, целесообразно использовать в качестве пластификатора картофельный крахмал, так как в этом случае можно применять относительно простое оборудование.

2. Оптимальное содержание крахмала составляет 20—26 %.

3. Срок хранения такого порошка довольно продолжительный — более 8 лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Износостойкость* различных наплавочных сплавов, эксплуатируемых в условиях абразивного изнашивания в воде / Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели, Л. Н. Калинин и др. // Сварочное производство. 1990. № 4. С. 19—21.
2. *Долговечность* шарошечных долот / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э. С. Гинзбург и др. М.: Машиностроение, 1992. 22 с.
3. *Икрамов У. А.* Расчетные методы оценки абразивного износа. М.: Машиностроение, 1987. 287 с.
4. *Кудинов В. В., Иванов В. М.* Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. 192 с.
5. *Газотермические* покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов и др. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
6. *Газотермическое* напыление покрытий. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. 175 с.
7. *Миловский А. В.* Минералогия и петрография: Учебник. 5 изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 432 с.
8. *Рашин Г. А.* Возможности управляемого минералообразования в петрургии // Проблемы каменного литья. Киев: Изд-во АН УССР, 1968. Вып. 2. С. 12—16.
9. *Затвердевание* и кристаллизация каменного литья / Б. Х. Хан, И. И. Быков, В. П. Кораблин, С. В. Ладохин. Киев: Наукова думка, 1969.
10. *Получение* и свойства сфероидизированных порошков тугоплавких соединений для плазменного напыления / В. С. Слепцов, И. М. Финкельштейн, Е. А. Король, В. Г. Миконенко и др. // Порошковая металлургия. 1975. № 3. С. 1—5.
11. *Планирование* эксперимента в исследовании технологических процессов / Под ред. Э. К. Лецкого. М.: Мир, 1977. 167 с.
12. *Калашников А. В.* Карбид бора — износостойкое покрытие в растворонасосах // Новые технологии и системы обработки в машиностроении. Донецк: Донецчина, 1994. С. 54—55.

УДК 621.791.754

**Ю. Ф. ЯЗЫКОВ, инж., И. В. АЛЕКСИНА**  
ОАО "Завод "Уралтехгаз" (Екатеринбург)

## Преимущества сварки в защитных газовых смесях

Завод "Уралтехгаз" является серийным производителем сварочных газовых смесей (до шести компонентов), поставляемых в баллонах вместимостью 5, 10 и 40 л, а также в моноблоках-связках из 12 баллонов, объединенных общим коллектором. Последние применяют для увеличения объема газа на рабочем месте, например при автоматической сварке, при которой расход газа достаточно большой.

Анализ объемов потребления газовых смесей, производимых заводом и применяемых для сва-

рочных работ, позволил выявить следующую тенденцию — потребление газовых смесей увеличивается на 10—20 % в год, что связано, во-первых, с ростом промышленного производства, а во-вторых, с постепенным переходом от использования чистых газов (аргона, углекислоты) к газовым смесям, что особенно характерно для предприятий машиностроительного комплекса (см. рисунок).

Газовые смеси получают парциальным методом. Для обеспечения стабильности качества смесей на заводе реконструировали наполнительное

Состав смеси	Способ сварки, область применения	Примечание
98 % Ar + 2 % CO <sub>2</sub>	Механизированная (MIG-MAG) коррозионно-стойких сталей Сваркопайка (MIG-MAG brazing) на полуавтомате оцинкованных деталей, коррозионно-стойкой стали и соединений медь—железо Механизированная конструкционных сталей	Сварочная проволока аналогична по составу материалу свариваемых деталей Сварочная проволока БРА-8 или ОК Autrod 19.30  Толщина деталей менее 1 мм
92 % Ar + 8 % CO <sub>2</sub>	Механизированная конструкционных сталей Скоростная всех видов (TIME, RAPID...) Импульсная	Современный аналог тройной смеси Ar + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . Минимум брызг в режиме мелкокапельного переноса. Легкий выход на режим струйного переноса
78 % Ar + 12 % CO <sub>2</sub>	Механизированная (MIG-MAG) и наплавка конструкционных сталей Импульсная	Возможна работа как в режиме мелкокапельного переноса, так и струйного
80 % Ar + 20 % CO <sub>2</sub>	Механизированная (MIG-MAG) и наплавка конструкционных сталей Механизированная коррозионно-стойких сталей порошковой проволокой	Наиболее универсальная и популярная смесь. Возможность выполнения вертикальных и потолочных швов
75 % Ar + 25 % CO <sub>2</sub>	Механизированная (MIG-MAG) и наплавка конструкционных сталей Сварка магистральных трубопроводов на автоматических сварочных комплексах фирмы CRC	Обеспечивает максимальное проплавление при сохранении минимума брызг Возможность работы во всех пространственных положениях
90 % N <sub>2</sub> + 10 % H <sub>2</sub>	Защита корня шва при аргонодуговой сварке (TIG) аустенитных и дуплексных сталей	Устранение оксидов на обратной поверхности шва и восстановление структуры металла
95 % Ar + 5 % H <sub>2</sub>	Аргонодуговая (TIG) коррозионно-стойких сталей	Увеличение глубины провара и скорости сварки Устранение оксидов на поверхности шва
70 % Ar + 30 % He	Механизированная (MIG) коррозионно-стойких и конструкционных сталей Механизированная (MIG) алюминиевых сплавов Аргонодуговая (TIG) коррозионно-стойких сталей	Увеличение глубины проплавления и скорости сварки. Коэффициент наплавки до 10 кг/ч Уменьшение пористости и увеличение прочности сварного шва Увеличение скорости сварки

отделение и приобрели современное итальянское оборудование, которое позволяет дозировать компоненты смеси автоматически.

При производстве смесей используют жидкости и газы высшего сорта. Баллоны перед заполнением

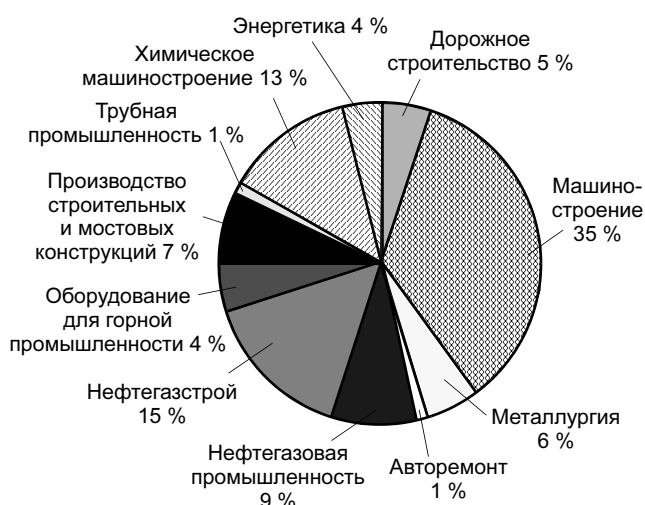


Диаграмма потребления сварочных газовых смесей в различных отраслях промышленности в 2007 г.

вакуумируют, что гарантирует качество всей одновременно заполняемой партии баллонов. Последние заполняют при остаточном давлении (не менее 50 кПа). При отсутствии остаточного давления баллоны передают в специализированный цех по ремонту баллонов, оснащенный новейшим шведским оборудованием, где осуществляют их внутренний осмотр и при необходимости промывку и сушку.

Контроль качества и безопасности заполненных баллонов осуществляют специалисты Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) согласно установленным ГОСТам. Каждая партия подтверждается сертификатом соответствия. Приемку газовых смесей производят путем отбора проб из баллонов согласно ТУ.

Качество сварочных смесей, производимых заводом, подтверждается свидетельством НАКСа, разрешающим их применение при производстве конструкций, подведомственных Ростехнадзору.

Специалисты завода проводят консультации или практические работы на предприятиях.

В таблице приведены рекомендации по применению смесей для различных видов сварки.

**Н. П. СТАРОСТИН, д-р техн. наук, О. А. АММОСОВА, аспирант  
Институт проблем нефти и газа СО РАН**

## Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды.

### Ч. 2. Исследование процесса охлаждения<sup>1</sup>

В данной работе теоретически обоснована возможность регулирования скорости охлаждения сварного соединения путем управления процессом конвективного теплообмена с помощью теплоизоляционной камеры. Повышение температуры воздуха в камере вследствие теплоотдачи с поверхности трубы и грата приведет к снижению скорости охлаждения стенки. Температура воздуха в теплоизоляционной камере, зависящая от ее размеров, будет служить управляющим параметром интенсивности конвективного теплообмена. Таким образом, скорость охлаждения при низких температурах окружающего воздуха (ОВ) можно регулировать, изменяя размеры камеры и используя теплоту, накопленную свариваемым материалом при оплавлении. При этом температура внутри трубы вследствие низкой теплоемкости воздуха и теплоотдачи примерно одинакового количества теплоты с внутренней поверхности сварного соединения не будет значительно отличаться при разных температурах ОВ, что может быть установлено расчетным путем.

Цель данной работы — на основе теоретического исследования динамики температурного поля в полиэтиленовой трубе установить возможность обеспечения допустимой скорости охлаждения сварного соединения при температурах атмосферного воздуха ниже нормативных при использовании теплоизоляционной камеры.

Рассмотрим процесс сварки труб из полиэтилена ПЭ 80 ГАЗ SDR11 63 × 5,8 (ГОСТ Р 50838 — 95) при температуре ОВ –40 °С. В начальный момент времени температура труб равна температуре ОВ. Предположим, что оплавление осуществлено согласно рекомендациям работы [1] с продолжительностью контакта нагревательного инструмента 96 с, обеспечив тем самым идентичность границ проплавления при низкой температуре ОВ и нормальных условиях. Остальные технологические параметры сварки выбраны соответственно данным СП 42-103 — 2003.

Уравнение нестационарного температурного поля в сварном соединении при оплавлении можно

получить при решении методом конечных разностей двумерной задачи Стефана в цилиндрических координатах. Постановка задачи и метод решения приведены в работе [1]. Пренебрегая продолжительностью технологической паузы и временем, затрачиваемым на течение расплава при осадке, считаем, что длина трубы стала меньше на величину осадки. Для упрощения расчетов примем допущение, что поперечное сечение образующегося грата имеет прямоугольную форму. Для величины осадки 2,6 мм поперечное сечение представляет квадрат со сторонами 3 мм. Начало координат по длине трубы  $z$  смещено на величину осадки и находится на месте стыка труб.

Для расчета применяли те же обозначения и исходные данные, что и в работе [1]:  $d_1 = 0,063$  м;  $d_2 = 0,0572$  м;  $l = 0,1$  м;  $\lambda_1 = 0,46$  Вт/(м · К);  $\lambda_2 = 0,24$  Вт/(м · К);  $\lambda_3 = 0,0338$  Вт/(м · К);  $\rho_1 = 950$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_2 = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_3 = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_1 = 2000$  Дж/(кг · К);  $c_2 = 2400$  Дж/(кг · К);  $c_3 = 1007$  Дж/(кг · К);  $L = 157$  кДж/кг;  $\Delta = 10$  °С, где индекс  $i = 1$  принят для твердой фазы материала трубы;  $i = 2$  — для жидкой,  $i = 3$  — для воздуха. Отличалась лишь температура фазового перехода  $T_\Phi = 111$  °С, соответствующая температуре кристаллизации полиэтилена [2].

В начале процесса охлаждения распределение температуры в грате предполагали равномерным. Значение температуры в грате определяется из условия теплового баланса — равенства количества теплоты в области, уходящей в грат, и в образовавшемся грате. Таким образом, распределение температуры в трубе с гратом в начале процесса охлаждения получили в результате определения температурного поля в конце оплавления. Несмотря на то, что в расчетах пренебрегали продолжительностью технологической паузы, предполагали, что при отделении нагревательного инструмента от свариваемых труб и смыкании оплавленных деталей температура воздуха внутри трубы равна температуре окружающего воздуха и повышается за счет теплоотдачи от нагретой части трубы на стадии охлаждения. Динамику температурного поля на стенке и внутри трубы при охлаждении определяли при решении задачи Стефана. При этом на

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-96000-р\_восток\_a и Фонда содействия отечественной науке.

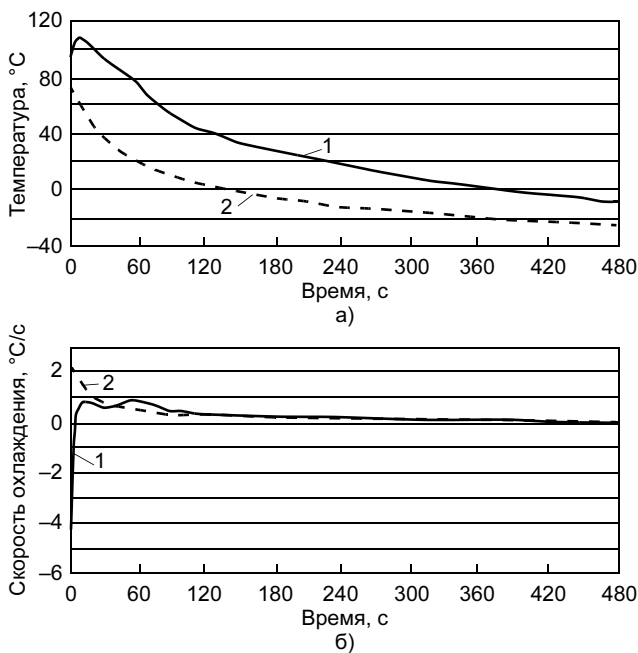


Рис. 1. Зависимость температуры (а) и скорости охлаждения (б) от времени в точке ( $r = 0,0315$ ;  $z = 0,001$ ) при охлаждении с учетом грата (1) и без него (2) (температура ОВ  $-40^{\circ}\text{C}$ )

свободной поверхности грата принимали условия конвективного теплообмена с ОВ, на торце трубы — условие симметрии.

Для анализа влияния грата на изменение температуры сварного соединения моделировали также охлаждение трубы без грата, но с учетом величины осадки. На рис. 1 приведены характерные кривые изменения температуры по времени в одной точке, иллюстрирующие существенное влияние грата на динамику температурного поля стенки трубы. В начальный момент времени появление грата приводит к повышению температуры, затем следует ее снижение. Скорость охлаждения имеет два пика (см. рис. 1, б), соответствующие временному запаздыванию теплового воздействия грата на внешней и внутренней поверхностях трубы. Примерно через 45 с скорость охлаждения в рассматриваемой точке, полученная по модели с учетом грата, превышает скорость охлаждения по модели без учета грата. В дальнейшем кривые асимптотически сходятся, т. е. тепловое влияние грата со временем ослабевает. Однако оно значимо в период времени охлаждения, регламентируемого нормативными документами. Таким образом, необходимо при выборе режимов сварки учитывать в математической модели тепловое воздействие грата на динамику температурного поля.

Исследуем динамику температурного поля в сварном соединении труб в период охлаждения, предположив, что при температуре ОВ в допустимом для сварки диапазоне ( $-15$ — $-45^{\circ}\text{C}$ ) на внешних поверхностях трубы с гратом происходит кон-

вективный теплообмен, а при температурах ОВ ниже допустимых эти поверхности идеально теплоизолированы. На рис. 2 приведены полученные расчетным путем зависимости температуры воздуха внутри трубы от времени при различных температурах окружающей среды. Такие зависимости сохраняются и в точках на расстоянии до 2 см от стыка. Расчеты показывают, что при охлаждении сварного соединения в условиях низких температур ОВ температура внутри трубы в течение первых секунд достигает максимума, затем постепенно снижается и за время охлаждения сохраняет положительное значение. Это свидетельствует о том, что при низких температурах ОВ конвективный теплообмен внутренней поверхности трубы в окрестности стыка будет происходить с воздухом с допустимой для сварки температурой.

Идеальная теплоизоляция внешней поверхности трубы при сварке при температуре ОВ ниже нормативной снижает скорость охлаждения сварного соединения (рис. 3) в период времени от 30 до 90 с с момента прижима труб. При этом температура меняется в диапазоне от 100 до  $80^{\circ}\text{C}$ , в котором интенсивно происходит фазовый переход в полиэтилене, вследствие чего может сформироваться крупнокристаллическая структура, увеличивающая склонность полиэтилена к хрупкому разрушению [3]. Однако при отсутствии теплоизоляции внешней поверхности при низких температурах ОВ скорость

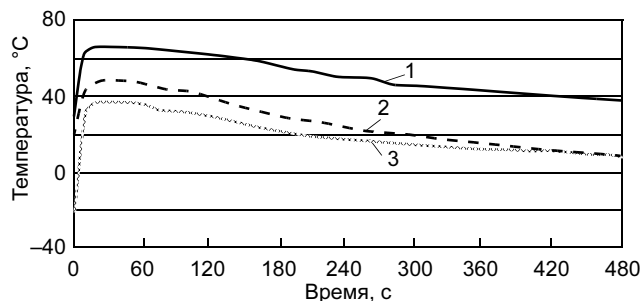


Рис. 2. Зависимость температуры внутри трубы от времени в точке ( $r = 0,0038$ ;  $z = 0,001$ ) при различной температуре ОВ: 1—3 — 20, -15 и  $-40^{\circ}\text{C}$  соответственно

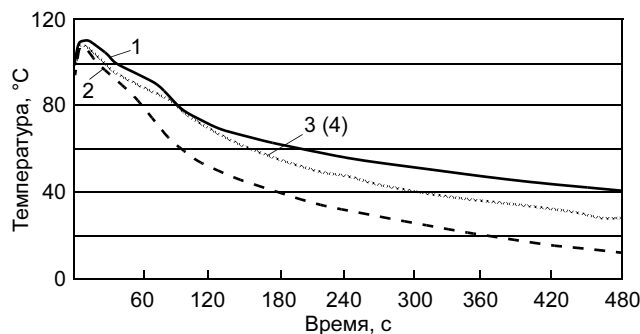


Рис. 3. Зависимость температуры от времени в точке ( $r = 0,0315$ ;  $z = 0,001$ ) с идеальной изоляцией на всей длине трубы и на участке трубы: 1 — температура ОВ  $20^{\circ}\text{C}$ ; 2 —  $-15^{\circ}\text{C}$ ; 3, 4 —  $-40^{\circ}\text{C}$



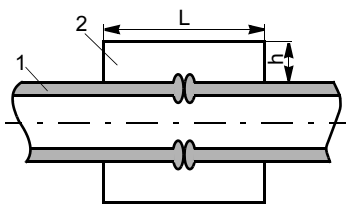


Рис. 4. Схема теплоизоляционной камеры: 1 — труба; 2 — теплоизоляционная камера

охлаждения увеличивается, и процесс кристаллизации может прекратиться на промежуточной стадии, тогда как при формировании структуры в условиях медленного охлаждения разрушившиеся центры кристаллизации успевают восстанавливаться [4]. Поэтому существует промежуточное условие, при котором охлаждение сварного соединения будет протекать, как при допустимых температурах ОБ. Такое условие может быть создано частичной теплоизоляцией внешних поверхностей труб.

Расчеты показывают, что характер зависимости температуры от времени в трубе практически не изменяется, если условию идеальной теплоизоляции будет отвечать только более нагретая часть трубы, а в остальной части задать условие конвективного теплообмена. Например, если идеально теплоизолирована часть трубы на длине 2 см от сварного шва, то полученные при этом кривые изменения температуры по времени совпадают с соответствующими кривыми при теплоизоляции всей внешней поверхности трубы (см. рис. 3). Следовательно, регулировать скорость охлаждения в области структурных изменений можно за счет теплоизоляции участка труб вблизи сварного шва. С этой целью предлагается использовать цилиндрическую теплоизоляционную камеру, схема которой приведена на рис. 4. Размеры камеры определяли путем теоретического моделирования процесса остывания сварного соединения с теплоизоляционной камерой из условия обеспечения допустимой скорости охлаждения. Камера может быть изготовлена, например, из пенопласта с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,015 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . В этом случае необходимо в тепловых расчетах учитывать толщину стенки камеры. В случае изготовления камеры из тонкой пленки с очень низкой теплопроводностью ( $\lambda = 0,0001 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) толщиной стенки камеры можно пренебречь. В данной работе толщину стенки камеры не учитывали.

Теоретическое моделирование процесса остывания свариваемых труб при наличии теплоизоляционной камеры проводили решением задачи Стефана. При этом приняли допущение о достаточно быстром (в пределах расчетного шага по времени) установлении однородной температуры воздуха внутри камеры. Пусть температура воздуха в камере в текущий момент времени известна. На следующем временном шаге температура воздуха в камере  $T_{\text{кам}}(t)$  определяли на основе теплового баланса

с учетом конвективной теплопередачи с поверхности трубы и грата в камеру, наполненную воздухом с температурой  $T_{\text{кам}}^{\text{в}}(t)$

$$Q = \alpha \int_{\Gamma} (T_{\Gamma} - T_{\text{кам}}^{\text{в}}(t)) \tau d\Gamma, \quad (1)$$

где  $Q$  — количество теплоты;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности трубы и грата;  $\Gamma$  — внешняя поверхность трубы и грата, ограниченная камерой.

За счет теплоты  $Q$  повышается температура в камере, которую определяли из соотношения

$$Q = c_3 \rho_3 V_{\text{кам}} (T_{\text{кам}} - T_{\text{кам}}^{\text{в}}), \quad (2)$$

где  $V_{\text{кам}}$  — объем камеры.

Рассчитанная средняя температура в камере зависит от ее геометрических размеров. Увеличение длины камеры при фиксированной высоте способствует снижению температуры, что соответствует физическому представлению. При этом увеличивается не только объем камеры, но и поверхность трубы с более низкой температурой, что приводит к снижению температуры в теплоизоляционной камере. Однако увеличение высоты (радиуса) камеры при фиксированной длине также способствует снижению температуры воздуха внутри камеры, но не столь значительно. Поэтому, принимая во внимание возможность изготовления и практическое использование теплоизоляционной камеры, один из геометрических размеров, например высоту, можно зафиксировать и, варьируя длину камеры, определить размер камеры, обеспечивающий допустимую скорость охлаждения сварного соединения. При высоте камеры 0,02 м полудлина камеры ( $L/2 = 0,02 \text{ м}$ ) обеспечивает допустимую скорость охлаждения в интервале низких температур ОБ ( $-45$ — $-15$  °С).

Установлено, что охлаждение ОШЗ соединения в теплоизоляционной камере, например при температуре ОБ  $-40$  °С, протекает так же, как и при естественном охлаждении при нулевой температуре ОБ. Применение ферроизоляционной камеры устраняет замедление скорости остывания сварного соединения в области структурных изменений, характерное для идеальной теплоизоляции внешней поверхности трубы, и в окрестности сварного шва формируется такая же структура материала, как и при сварке при допустимых температурах ОБ.

Однако при температурах ОБ  $-50$  °С и ниже применение такой теплоизоляционной камеры не позволяет получить необходимую скорость охлаждения. Поэтому предлагается уменьшить длину камеры. Расчетным путем определена полудлина камеры  $L/2 = 1,5 \text{ см}$ , при которой достигается необходимая скорость охлаждения.

Применение камеры с данными размерами для охлаждения сварного соединения в интервале тем-

ператур  $OB -45$  —  $-15$  °C приводит к чрезмерному снижению скорости охлаждения в период времени от 30 до 90 с с момента прижатия труб, как в случае идеальной теплоизоляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старостин Н. П., Аммосова О. А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса // Сварочное производство. 2007. № 4. С. 17—20.

2. Исследование кристалличности и термостабильности в трубах, полученных из различных видов полиэтилена / М. И. Горюловский, Е. В. Калугина, А. Н. Иванов, Ф. К. Сатдинова // Пластические массы. Структура и свойства. 2005. № 4. С. 9—12.

3. Каргин В. Ю., Кайгородов Е. К. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С. 13—14.

4. Влияние температуры расплава на свойства полиэтилена в крупногабаритных изделиях / И. М. Крюкова, И. И. Сквирская, В. Я. Ушаков, Б. В. Шамаков // Пластические массы. 1998. № 6. С. 38—39.

УДК 621.791.02

**В. М. ЧЕРТОВ, инж.**  
**Филиал ДониФЦ**

## Термическая обработка и сварка разнородных сталей

Для установки светильников на мачтах вдоль горной лыжной трассы Олимпийского комплекса в Красной Поляне (Сочи) требуется сконструировать и изготовить держатели, по которым проходят провода. Условия эксплуатации средние (атмосфера чистая, предприятия вблизи и вредные выбросы отсутствуют, погодные условия — характерные для данной местности, однако возможен перепад температуры по временам года от 30 до  $-20$  °C). Светильники имеют абажуры диаметром 500 мм, воспринимающие порывы ветра до 30 м/с. Держатели, испытывающие значительные изгибающие усилия, должны быть изготовлены из стали средней прочности и быть достаточно коррозионно-стойкими.

Держатель имеет форму вилки, состоящей из трубы и ухвата U-образной формы. Общая длина держателя 800 мм, трубы — 600 мм. Толщина трубы 4 мм, диаметр 30 мм, толщина и ширина ухвата — 4 и 50 мм соответственно. Предел текучести обеих частей не менее 700 МПа. Соединение частей осуществляется сваркой.

Предварительно предлагалось изготовить первый вариант держателя (обе части) из стали 30ХГСА путем отрезки трубы, заготовки и гибки ухвата с последующим сверлением отверстия под трубу и разделкой под сварку. Сварку выполняли с присадочной проволокой Св-18ХМА на стенде при закреплении деталей в закалочном фиксирующем приспособлении. Закалку проводили после нагрева до 860 °C в масло. Затем промывали от масла и проводили отпуск при 550 °C. После извлечения деталей из приспособления, очистки и окраски поверхности проводили испытания на продольный изгиб.

Результаты испытания держателя на продольный изгиб удовлетворительные. Однако внутренняя поверхность трубы очистке не поддается, по-

сле закалки трех держателей деформация фиксирующего приспособления настолько велика, что оно стало непригодным.

Второй вариант изготовления держателя предусматривал закалку и отпуск его частей отдельно, очистку деталей производили снаружи, а внутренней поверхности трубы — путем удаления заложеного припуска. Детали соединяли сваркой с применением присадочной аустенитной проволоки 10Х16Н25АГ6. Затем держатели испытывали на изгиб и окрашивали снаружи. Недостатками данного варианта являются низкая прочность при изгибе (деформация низкопрочного сварного соединения) и полная незащищенность внутренней поверхности трубы от коррозии. При нанесении электрохимического цинкового покрытия на внутреннюю поверхность трубы из-за низкой рассеивающей способности даже наиболее технологичного стандартного цианидного электролита цинкования большая часть внутренней поверхности трубы оказывается непокрытой. Применение же специального электрода для обеспечения полного по всей длине покрытия внутренней поверхности трубы существенно усложняет процесс без достаточной гарантии качества.

Третий вариант предусматривал применение коррозионно-стойкой стали 20Х13 для трубы<sup>1</sup> и стали 30ХГСА для ухвата (сталь 12Х18Н10Т не подходит из-за ее низкой прочности). Закалку трубы проводили от 1000 °C на воздухе, отпуск — при 550 °C, закалку ухвата — от 860 °C в масло, отпуск — при 550 °C. Очистку деталей выполняли аналогично второму варианту. Проволоку для сварки подобра-

<sup>1</sup> Коррозионно-стойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справочник / А. П. Шляпнев, Т. В. Свистунова, О. Б. Лапшина и др. М.: "Интернет Инжиниринг", 2000. С. 12—17.

ли экспериментально. Металл шва при остывании должен подкаливаться за счет отвода теплоты внутрь изделия и иметь повышенную прочность, сохраняя при этом достаточную пластичность и вязкость. Таким требованиям удовлетворяет проволока Св-08ХЗГ2СМ (ГОСТ 2246), структура которой после плавления (заковки) представляет бейнит. После сварки в приспособлении проводили отпуск при 480—500 °С всей сборки вместе с приспособлением. Изделия испытывали на изгиб и окрашивали по всей наружной поверхности.

На основании анализа результатов изготовления опытной партии держателей для серийного изготовления был выбран третий вариант: испытания на изгиб не выявили слабых участков изделия, раздельная термическая обработка деталей держателя из разных сталей, не вызывая затруднений, позволила отказаться от закалки всего изделия и изготовления громоздкого и тяжелого фиксирующего приспособления. При этом обеспечивалась требуемая коррозионная стойкость изделия, но во избежание попадания влаги в трубу выходные отверстия необходимо закрывать (с учетом проводов) полиэтиленовыми пробками.

При проведении экспериментов прочностные характеристики образцов-свидетелей, в том числе при испытании специальных трубчатых образцов на сплющивание, определяли для каждого вариан-

та изготовления в соответствии с требованиями ГОСТ 6996 и проводили их сравнение. Механические характеристики для первого и третьего вариантов изготовления образцов идентичны. Установили, что применять вместо стали 20Х13 сталь 12Х17, близкую по коррозионным свойствам, нельзя, так как она не упрочняется при закалке. Вместо проволоки Св-08ХЗГ2СМ можно использовать проволоку Св-08ХГСМФА, но ни в коем случае проволоку Св-08Г2С или Св-08ХГ2С. Вполне пригодны электроды типа УОНИ 13/55, укомплектованные сварочной проволокой требуемой марки.

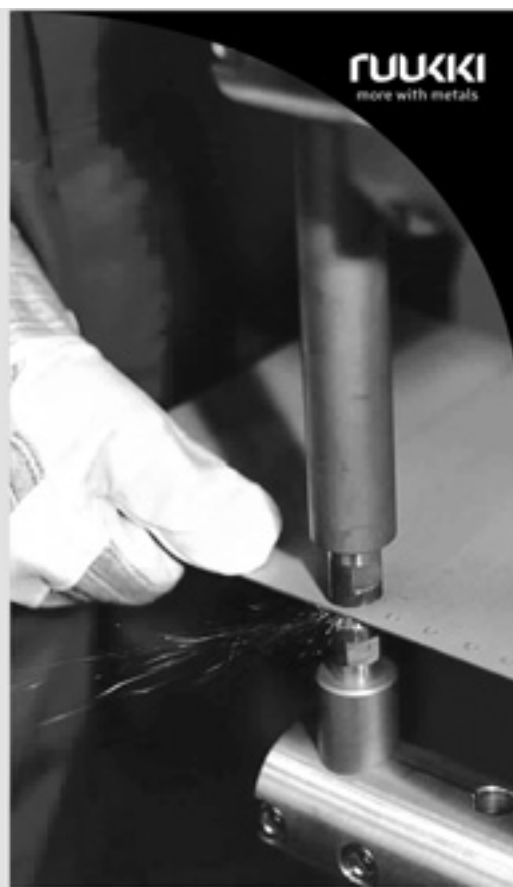
Таким образом, разработаны и применены на практике серийные способы термической обработки и сварки высокопрочных разнородных сталей. При этом одну часть изделия выполняют из технологичной недефицитной хромистой коррозионно-стойкой стали мартенситного класса (после термической обработки получают структуру отпущенного мартенсита), другую — из технологичной недефицитной стали перлитного класса (после термической обработки — структура сорбита). Сварку проводят с применением легированной проволоки, металл сварного шва после сварки и отпуска имеет структуру отпущенного бейнита. При данном способе изготовления обеспечиваются требования по прочности и коррозионной стойкости изделия.

### **Цинкожелезное покрытие - лучшее решение для контактной сварки оцинкованной стали**

Цинкожелезный сплав (Galvannealed) содержит 10 % железа и 90 % цинка:

- свариваемость лучше, чем у оцинкованной стали
- высокая скорость сварки
- менее затратная эксплуатация сварного оборудования
- легкость окрашивания
- высокая коррозионная стойкость

**Москва, тел.: (495) 933 11 00**  
**С.-Петербург, тел.: (812) 346 69 48**  
**e-mail: [info.metals@ruukki.com](mailto:info.metals@ruukki.com)**  
**[www.ruukki.ru](http://www.ruukki.ru)**



*Публикуется на правах рекламы*

---

---

# ОХРАНА ТРУДА

УДК 658.512.001.2

**В. К. ШЕХОРИН, канд. техн. наук**

**Егорьевский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО МГТУ "Станкин"**

## Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении

Идея создания экологически чистых машиностроительных производств по своей сути не нова. Однако в современном мире с его глобальным пониманием проблем экологии она ставится все более жестко и звучит все более актуально. Уже недостаточно вынести вредные производства за городскую черту или удалить их с территории конкретного государства. Речь идет о кардинальной перестройке производства с учетом норм и стандартов защиты окружающей среды. Эти нормы и ограничения трактуются все более широко и год от года становятся жестче. Так, например, при оценке экологического ущерба, наносимого тем или иным промышленным объектом, учитываются не только загрязняющие вещества, содержащиеся в твердых отходах, пылевых и газовых выбросах и сточных водах, но и тепловые выбросы, приводящие к глобальному потеплению климата планеты.

Решение экологических проблем становится не только и не столько технологической, но и экономической задачей. Конкурентная борьба между фирмами, производящими аналогичную продукцию, разворачивается за то, чтобы эта продукция не наносила ущерба здоровью и вреда окружающей среде как в процессе ее эксплуатации, так и в процессе производства. Подход, при котором считалось, что от вредных производственных факторов следует защищаться посредством специального экозащитного оборудования (вентиляции, очистных сооружений, защитных и шумопоглощающих экранов и т. п.), весьма устарел. Конечно, никто не отрицает полезности данных устройств, и по сей день продолжающих выполнять свои функции, но они имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, не полностью устраняют влияние вредных производственных факторов; во-вторых, занимают значительные производственные площади; в-третьих, часто энергоемки и, наконец, очень дорогостоящие.

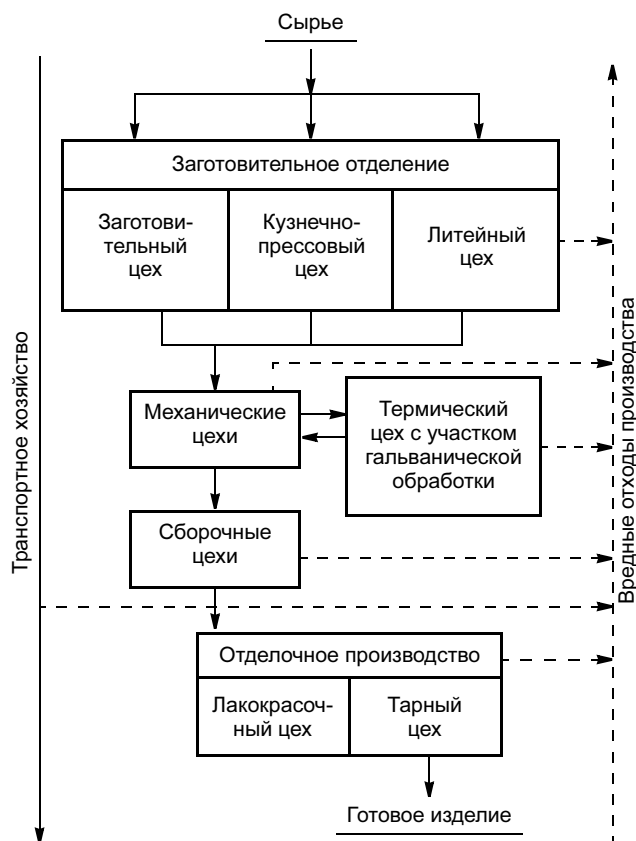
Последнее обстоятельство негативно отражается на себестоимости продукции и ведет к снижению ее конкурентоспособности на рынке.

Таким образом, наиболее прогрессивным становится подход, обозначаемый известной истиной: "чисто там, где не сорят". В интерпретации применительно к процессу машиностроительного производства это означает использование и разработку экозащитных и ресурсосберегающих технологий. Современное машиностроительное производство насыщено вредными факторами до такой степени, что представляет обширное поле деятельности для исследования и внедрения новых технологий. Здесь и вредные химические соединения, образующиеся при обработке материалов и разложении СОЖ, и пылевые выбросы в атмосферу, и вибрации, и повышенные температуры. Вопрос заключается в том, чтобы систематизировать все эти вредные воздействия и предложить способы их устранения или снижения.

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих цеха по подготовке заготовок: заготовительный, кузнечно-прессовый, а в ряде случаев и крупное литейное производство (литейный цех), механические цехи, термический цех с гальваническим участком, сборочные цехи, цех покрытий с лакокрасочным и тарным участками. В состав предприятий также входят испытательные станции, ТЭЦ, транспортный и вспомогательные подразделения.

Согласно приведенной схеме (см. рисунок), загрязняющие вещества образуются на всех этапах производства. Поэтому, чтобы исключить влияние вредных факторов на здоровье человека и окружающую среду, необходимо стремиться к разработке экологически чистых и безотходных производств. А для этого необходимо провести инвентаризацию предприятия и определить виды и количество за-

Таблица 1



Технологическая схема машиностроительного предприятия

грязняющих веществ на каждом этапе технологического процесса изготовления деталей.

Инвентаризация выбросов представляет систематизацию сведений о распределении источников по территории, количеству и составу выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Результаты инвентаризации представлены в виде табл. 1. В качестве примера приведем результаты анализа вредных производственных воздействий одного из подмосковных предприятий только по одному заготовительному цеху.

При разработке технологического процесса одним из первых решается вопрос выбора материала детали. Материал выбирают согласно технологическим и экономическим требованиям на изготавливаемую деталь. В настоящее время имеется огромный выбор и разнообразие материалов с различными характеристиками и полезными свойствами, которые достигаются за счет введения большого количества легирующих добавок и примесей, вследствие чего при их обработке может происходить выделение вредных загрязняющих веществ. Поэтому при выборе материала детали должна иметь место и экологическая точка зрения. Выбор материала, как правило, подразумевает назначение стандартного технологического процесса его обработки. Очень часто применяются такие сравнительно неблагопо-

Наименование участка, операции	Технологический процесс, вид оборудования, исходный материал, наименование источника выделения загрязняющего вещества	Выделяющиеся загрязняющие вещества	Примерное количество загрязняющего вещества, отходящего от источника выделения
Участок ручной дуговой сварки	Сварочный пост "Комсомолец-100", электродная проволока, CrM-0,75	Оксид железа	0,0271 т/г
		Марганец	0,00286 т/г
		Пыль неорганическая с диоксидом кремния (20—70 %)	0,00206 т/г
		Фториды	0,00485 т/г
Участок ручной газовой сварки	Сварочный пост В-2К, С-27, С-1	Фтористый водород	0,0011 т/г
		Диоксид азота	0,00221 т/г
		Оксид углерода	0,0196 т/г
Участок сварки в углекислом газе	Сварочный пост Материал типа ПП-АН-8	Сварочный аэрозоль	16,6 г/кг
		Кобальт	0,6 г/кг
		Хром	1,7 г/кг
Участок газовой резки	Сталь углеродистая, толщина разрезаемого листа 10 мм	Сварочный аэрозоль	20,1 г/кг
		Оксид железа	17,8 г/кг
		Марганец	0,50 г/кг
		Фториды	1,8 г/кг
	Качественная легированная сталь, толщина разрезаемого листа 10 мм	Сварочный аэрозоль	131 г/ч
		Оксид углерода	63,4 г/ч
		Диоксид азота	64,1 г/ч
		Марганец	1,9 г/ч
		Оксид железа	129,1 г/ч
		Сварочный аэрозоль	145,5 г/ч
Участок плазменной резки	Сталь углеродистая, толщина разрезаемого листа 10 мм	Оксид углерода	55,2 г/ч
		Диоксид азота	43,4 г/ч
		Марганец	2,5 г/ч
		Оксид железа	143 г/ч
	Качественная легированная сталь, толщина разрезаемого листа 10 мм	Сварочный аэрозоль	811 г/ч
		Оксид углерода	277 г/ч
		Диоксид азота	1187 г/ч
		Марганец	23,7 г/ч
Механическая резка	Отрезной станок	Оксид железа	787,3 г/ч
		Сварочный аэрозоль	1370 г/ч
	Автомат правильной И-6118	Оксид углерода	467 г/ч
		Диоксид азота	2610 г/ч
Механическая резка	Автомат правильной И-6118	Марганец	70 г/ч
		Оксид железа	1300 г/ч
Механическая резка	Автомат правильной И-6118	Металлическая пыль	0,501 т/г
		Металлическая пыль, окалина, ржавчина	0,0444 г/с

При м е ч а н и е. Составлено на основании систематизированных данных по основным цехам машиностроительного производства.

Таблица 2

Особенности обработки	Вредные факторы	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Заготовки получают литьем		
1. Литье в песчаные формы	Оксид железа	4
	Оксид углерода	20
	Оксид азота	5
	Пары масел	10
	Сернистый ангидрид	10
	Угледородороды нефти	10
	Пыль кремнийсодержащая	2
1.1. Песчаные и стержневые смеси	Формальдегид	0,5
	Фенол	0,3
	Метанол	5
	Фурфурол	10
	Ацетон	200
	Аммиак	20
	Оксид углерода	20
Бензол	5	
1.2. Встряхивающие машины (формовочный участок)	Шум	1
	Вибрации	
	Пыль	
	Повышенная температура	
Расплавленный металл		
2. При предварительной обработке заготовок необходимо снять корку		
2.1. Обдирочное шлифование	Пыль наждачная и металлическая	4
2.2. Галтовка	Вибрация	1
	Пыль формовочной смеси	
	Абразивная пыль	
	Металлическая пыль	
Шум	4	
		2.3. Дробеструйная и пескоструйная обработка
Металлическая пыль	4	
Шум	4	
Механическая обработка (при этом часто используется СОЖ)	Пыль металлическая (является причиной выхода из строя электроники)	4
	Пары СОЖ (грязь, получаемая при взаимодействии СОЖ и пыли, которая способствует выходу из строя системы охлаждения оборудования)	50
Не требует особой защиты от коррозии, окрашивается в целях эргономики	Аэрозоль от краски	50
	Ксилол	100
	Толуол	5
	Бутилацетат	1000
	Этанол	40
	Бутанол	10
	Ацетон	200
При точении чугуна СЧ20 резцами из твердого сплава ВК	СОЖ	40
	Укринол 1	
	Металлическая пыль	
	Вольфрам	
	Кобальт	
	0,5	

лучные в плане экологии процессы, как азотирование, цианирование, шлифование и др. Поэтому еще на стадии конструирования деталей изделия можно подойти к назначению материала более обдуманно, с учетом дальнейшей технологии его обработки и имеющихся на предприятии технологических средств обработки.

Ниже приведен пример получения и обработки чугуна СЧ18, иллюстрирующий наличие и количество возникающих вредных факторов (табл. 2).

Из приведенного примера следует, что применение в виде заготовки другого материала (например стального сортового проката) позволит избежать многих вредных производственных факторов, связанных с литьем, обдиркой литых заготовок, чугунной пылью и другими операциями.

После выбора материала и разработки проектного варианта технологического процесса следует, используя данные инвентаризации, просчитать выделение загрязняющих веществ на всех операциях и сравнить полученные значения с установленными нормативами (ПДК, ПДУ).

Обработка металлов резанием является составляющей частью процесса производства большинства металлов. Как и другие технологические процессы, она должна быть конкурентоспособной. Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован и более доступным путем, чем покупка нового оборудования: за счет рационального применения правильно выбранного высокопроизводительного инструмента. Правильный выбор инструмента или даже просто пластин (СМП) обеспечит обработку большего количества деталей за одно и то же время. Не использовать преимущества этого пути и не вкладывать средства в современное инструментальное оснащение существующего оборудования — значит не использовать в полной мере возможность сделать производство более доходным и конкурентоспособным.

Для изготовления режущего инструмента в настоящее время применяют различные инструментальные материалы: инструментальные углеродистые и легированные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамику и синтетические сверхтвердые материалы.

При проектировании современного производства, особенно инструментального, следует учитывать вредное влияние его компонентов на человека. Основными компонентами различных инструментальных материалов являются железо, углерод, хром, никель, вольфрам, титан, тантал, молибден, марганец, кобальт, ванадий и др.

Рассмотрим вредные воздействия этих элементов на человека (табл. 3).

Экологическую оценку технологий можно произвести одним из следующих методов: матери-

Таблица 3

Элемент	Вредные воздействия	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Железо	Аэрозоли (пыль, дым) железа и его оксидов и других соединений при длительном воздействии откладываются в легких	0,5	3
Хром	Хром и его соединения являются главной причиной производственных контактных дерматитов. Почти у всех рабочих производства встречаются заболевания носовой полости	1	3
Вольфрам	Раздражение дыхательных путей, нарушение функций печени, увеличение общего количества холестерина	6	4
Молибден	Основными заболеваниями являются боли в суставах и мышцах	4 (среднесменная)	2
Ванадий	Пыль ванадийсодержащих материалов при длительном воздействии откладывается в легких	4	3
Кобальт	Вдыхание паров кобальта в больших концентрациях вызывает острое токсическое повреждение бронхиального эпителия. После вдыхания пыли кобальта и его соединений возможны тошнота, рвота, покраснения кожи. Соединения кобальта вызывают аллергические реакции в виде дерматитов	0,5	2
Никель	Никель и его соединения вызывают заболевания носоглотки, легких и аллергические дерматиты	0,05	1
Тантал	Пыль тантала вызывает раздражение слизистых дыхательных путей	10	4

альных балансов и технических расчетов; технологической альтернативы; прогнозирования технологического риска; регистрации экологических последствий технологий производства; оценки экологической опасности технологий.

Оценку экологичности разработанного технологического процесса целесообразно производить в следующей последовательности.

1. Для каждой операции технологического процесса определить количество вредных веществ, попадающих в атмосферу, стоки, твердые отходы.

2. Определить суммарное влияние по каждому из загрязняющих веществ.

3. Установить существующие меры защиты, утилизации вредных отходов, степень их эффективности в процентном отношении.

4. Определить остаток концентрации загрязняющих веществ после применения мер защиты.

5. Установить возможность накопления по каждому из вредных веществ в результате эффекта суммирования.

6. Сравнить полученные расчетные данные с ПДК для промышленных предприятий. Сделать заключение о степени экологической опасности технологического процесса.

7. В случае превышения ПДК по определенным загрязняющим веществам установить причину и предложить мероприятия по снижению выброса:

- замена обрабатываемого материала;
- замена инструментального материала;
- внесение изменений в технологический процесс и др.

8. Привести уточненные данные о степени экологической опасности усовершенствованного технологического процесса.

В заключение следует отметить, что современное производство остро нуждается в специалистах — конструкторах и технологах, способных решать подобного рода экологические задачи еще на стадии проектирования. Это требует переосмысления процесса их подготовки в вузах.

## 3-я Уральская научно-практическая конференция "Сварка—реновация—триботехника"

7 февраля 2009 г.

Организатор конференции — Нижнетагильский технологический институт (филиал) УГТУ-УПИ при поддержке Уральского отделения РИА, НПК "Уралвагонзавод" и других ведущих предприятий Урала.

Заявки с указанием Ф. И. О., должности и места работы, формы участия (докладчик, слушатель), а также материалы докладов объемом до 4 стр. отправлять по e-mail: [245901@mail.ru](mailto:245901@mail.ru) до 15 декабря 2008 г. Взнос на издание сборника материалов и другие организационные расходы — 1000 руб. Подробнее — на сайте [www.oookompozit.ru](http://www.oookompozit.ru).

Адрес: 622031, Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59.

Тел./факс: +7-3435-25-0542 (Косикова Розалия Рашитовна).

Тел.: +7-91-2222-0441 (Коротков Владимир Александрович).

# ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

УДК 621.791.001.12/.18

**В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук**  
**ИЭС им. Е. О. Патона**

## Новые рубежи Института сварки Франции<sup>1</sup>

Институт сварки Франции (ИСФ) (рис. 1), организованный в 1930 г. в Париже на бульваре де ля Шапелль как Институт автогенной сварки, в настоящее время является крупным научно-техническим центром в области сварки и родственных технологий с современной научно-экспериментальной и лабораторно-испытательной базой и высокопрофессиональным научно-инженерным потенциалом. Особенно заметно вырос институт за последнее десятилетие — на конец 2006 г. численность его сотрудников превысила 720 чел., что в 1,5 раза больше численности персонала ИСФ в 1996 г. Площади его экспериментально-технологической и испытательной базы превышают 8000 м<sup>2</sup>.

В 2005 г. руководство института приняло решение о серьезной реорганизации общей структуры и менеджмента ассоциативной группы ИСФ. В результате уже в 2006 г. институт в своей многосторонней деятельности перешел от "вертикальной" структуры и системы управления к структуре "горизонтально-региональной". Такой подход предусматривал в интересах промышленности перенос основной деятельности в региональные представительства

ИСФ во всех департаментах Франции и в зарубежные филиалы. При этом их руководителям делегировались определенные права и обязанности. Был разработан соответствующий план технико-коммерческой деятельности ИСФ в новых условиях. План ориентирован в первую очередь на максимальное приближение структур и сотрудников института к своим непосредственным партнерам и заказчикам с целью досконального изучения текущих и перспективных проблем производителей сварных конструкций и максимально быстрого реагирования на запросы производителей и фирм, эксплуатирующих сварные конструкции и сооружения, а главное — на расширение круга партнеров и рост объема заказов. Одновременно в региональных и зарубежных отделениях ИСФ предусматривалось резкое расширение научно-технических услуг: по диагностике

сварных конструкций и неразрушающему контролю сварных соединений, обучению, переподготовке и аттестации рабочих кадров и высокопрофессиональной научно-инженерной экспертизе при проектировании, изготовлении и эксплуатации сварных конструкций и сооружений.

При всех организационных изменениях ИСФ сохранил традиционную ориентацию своей деятельности на сварочное производство таких перспективных и инженероемких отраслей, как нефтехимия, газотранспортные системы, энергетика, включая атомную, авиастроение, а также промышленное строительство.

Наиболее серьезным структурным изменением в процессе реорганизации стало преобразование крупного комплексного подразделения "Службы" (созданного в 1948 г. на правах филиала) в "Институт сварки — промышленность" (рис. 2) с достаточно широкой автономностью и даже со своим, несколько отличным от основного, логотипом. В состав "ИС — промышленность" вошли подразделения и специалисты, связанные с диагностикой и неразрушающим контролем, сварочно-технической инспекцией и сертификацией рабочего персонала, технологическим сопровождением, экспертизой и другими инженерно-техническими услугами в области сварочного производства промышленных предпри-



Рис. 1. Логотип Института сварки Франции



Рис. 2. Логотип "Институт сварки — промышленность"

<sup>1</sup> Автор выражает свою признательность Н. Г. Хоменко (ИЭС им. Е. О. Патона) за участие в подготовке статьи и Катрин Леви (ИСФ) за предоставленные материалы.



ятий и строек Франции и других стран ЕС.

Собственно ИСФ при данной реорганизации сохранил за собой проведение научных исследований и технологических работ инновационного характера, лабораторно-аналитических исследований, учебные структуры высшего (ESSA) и среднего (EAPS) профессионального образования с присвоением выпускникам квалификации "международный инженер-сварщик", "международный техник-сварщик" и др., сертификацию персонала по сварке и неразрушающему контролю, систему информационного обеспечения научной и производственно-коммерческой деятельности всего комплекса, а также издание журнала "Soudage et Techniques Connexes" и бюллетеня "Infos Members. Bull'Doc". В последние годы ИСФ совместно с DVS и TWI издает журнал "Welding and Cutting".

В рамках новой структуры была расширена и активизирована уже имевшаяся ранее региональная система ИСФ, включающая в настоящее время 36 технических офисов-представительств и 12 центров профессиональной подготовки и аттестации рабочих-сварщиков во всех восьми департаментах Франции. Группу технических офисов и учебных центров ИСФ в каждом департаменте возглавляют региональные директора.

Новый шаг в развитии деятельности ИСФ представила амбициозная зарубежная политика института по внедрению своих разработок и деятельности своих специалистов на предприятиях в активно развивающихся регионах мира. С этой целью ИСФ в 2006 г. открыл три постоянных филиала в Марокко, Катаре и Иране. В ближайшей перспективе предполагается создание новых филиалов и в Азии. Зарубежные филиалы быстро оправдали свою

техническую и экономическую целесообразность, постоянно присутствуя в соответствующих регионах, они получили доступ к новым и заинтересованным потребителям, увеличили приток заказов. Кроме того, мобильные группы экспертов, технологов и дефектоскопистов периодически работают по контрактам с предприятиями более чем в 30 странах мира. Такая активная форма деятельности ИСФ по обслуживанию зарубежных партнеров обеспечила в 2006 г. почти 15,2 % общего оборота института, а приток этих поступлений в 2006 г. по сравнению с 2005 г. возрос на 40 %.

В результате целенаправленной деятельности всех подразделений, входящих в ассоциативную группу ИСФ, общий оборот института в 2006 г. составил 65,5 млн евро, что почти в 2 раза превышает объем его финансирования в 1996 г. Об эффективности работы ИСФ можно судить также по величине чистой прибыли в размере 1,57 млн евро на конец 2006 г., прирост которой по сравнению с 2005 г. увеличился на 11 %. Доля вклада подразделений в общий фонд финансирования ИСФ за 2006 г. в разрезе основных направлений его деятельности:

- исследования и разработки в интересах промышленности . . . . . 7,9 %
- диагностика, инспекция и неразрушающий контроль сварных конструкций и сооружений . . . . . 69,4 %
- расчеты, проектирование, экспертизы и консультации . . . . . 3,6 %
- профессиональное обучение и аттестация сварочного персонала всех уровней . . . . . 13,7 %
- прочие инженерно-технические услуги и коммерческие операции . . . . . 5,4 %.

Руководство института совместно с руководителями его подразделений в процессе реорганизации стимулировало повышение личной инициативы и ответственности в коллективах сотрудников, уделяло внимание улучшению условий труда, воспитанию умения работать в меняющемся составе исполнителей по проектам, оперативности выполнения заданий и, главное, развитию творческого подхода к инновациям в своей деятельности. В частности, проводились рабочие совещания по темам, коллективные обсуждения результатов, индивидуальные собеседования, была пересмотрена система материального поощрения.

С целью повышения значения и уровня научно-технической экспертизы в современном наукоемком производстве в 2006 г. была принята программа "Fellow", в соответствии с которой создана постоянно действующая группа экспертов ИСФ, ориентированных на высокопрофессиональную оценку и отбор наиболее прогрессивных технологий и других технических решений в интересах заказчика. В состав группы вошли четыре эксперта в ранге заместителя директора ИСФ и 26 инженеров-экспертов. Сфера их деятельности охватывает все региональные представительства в стране и зарубежные филиалы по следующим четырем тематическим направлениям: "Материалы и способы соединения", "Конструкции, расчет, экспертиза", "Диагностика и неразрушающий контроль", "Технологический надзор, нормативные акты и стандартизация".

Прикладная исследовательская тематика в области традиционных технологий сварки и сварочных материалов массового применения, как правило, связана с решением сугубо конкретных задач, возникающих в промышленности, в частности, рациона-

лизацией сварных конструкций и их технологичностью, повышением производительности, улучшением качества сварных соединений и снижением экологической нагрузки от применения сварки. Такие разработки позволяют активно использовать научно-технологический задел и инновационные возможности ИСФ и содействовать повышению технического уровня национального сварочного производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Оригинальные научные исследования и разработки ИСФ, как правило, ориентированы на новые наиболее прогрессивные технологии соединения и методы их контроля. В настоящее время проводятся исследования технологических возможностей соединения различных материалов с применением сварки трением с перемешиванием, электронно-лучевой, лазерной и лазерно-гибридной, сварки плавлением способом К-TIG и пайки, свариваемости новых сталей и сплавов и их разнородных сочетаний. Эти работы в основном ведутся в отделе технологических исследований и разработок, лабораторно-экспериментальная база которого расположена в Ютце (департамент Мозель) и фактически является исследовательско-технологическим центром ИСФ. В этом

центре площадью 6000 м<sup>2</sup> расположены лаборатории лучевых процессов, техники и технологии сварки плавлением, исследований прочности и механики разрушения СК, коррозии и неразрушающих методов контроля и др., оснащенных современным лабораторным, испытательным и технологическим оборудованием, что позволяет ИСФ достаточно широко участвовать в крупных исследовательских программах, в том числе в рамках ЕС (рис. 3). В центре работают 75 инженеров и техников.

В настоящее время в центре значительное внимание уделяется технологическим исследованиям лазерных и лазерно-гибридных процессов сварки на базе шести лазерных источников мощностью более 1,0—1,2 кВт каждый. Прикладные исследования, в частности по конкретным заказам, направлены на разработку промышленной технологии сварки хромомолибденовых и высокоуглеродистых сталей широкого диапазона толщин. К технологически перспективным относятся исследования в области промышленного применения лазерной сваркопайки чугунов. В рамках общеевропейской партнерской (семь соисполнителей) программы SOFI в 2006 г. начаты комплексные исследования по сравнительной оценке новейших

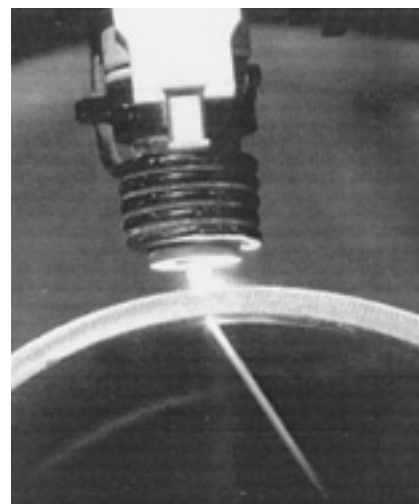


Рис. 4. К-TIG-сварка поворотного стыка трубы толщиной 13 мм

способов сварки тонких листов углеродистых сталей, сталей с покрытиями, коррозионно-стойких сталей высокой прочности и сплавов Ti и Al. Цель данных исследований — разработка технологических рекомендаций по оптимальному применению конкретных способов соединения применительно к автомобильному производству и котлостроению.

Специалисты центра участвуют в европейском проекте Hipro-TIG по исследованию технологических особенностей нового К-TIG-процесса — однопроходной стыковой сварки металла толщиной до 12—15 мм со сквозным "кинжальным" проплавлением, обеспечивающей высокую производительность и стабильное качество соединения. Для К-TIG-процесса характерно применение больших значений сварочного тока (500—1000 А) и погружение электрода в образующееся сквозное отверстие свариваемого шва (рис. 4). Эксперименты проводили на образцах из коррозионно-стойкой стали, никелевых и титановых сплавов толщиной 12 мм. Установлено значительное (до 10 раз) повышение производительности при хорошем качестве соединения, снижение разбрызгивания и газопы-



Рис. 3. Лабораторный корпус технологического центра в Ютце

левыделения (по сравнению с обычным TIG-процессом).

Сварка трением с перемешиванием (FWS) как одна из передовых инновационных технологий всесторонне исследуется и отрабатывается для конкретных областей применения во втором специализированном технологическом центре ИСФ в Метце. Этот центр также входит в состав отдела промышленных исследований и разработок института, в нем работают семь инженеров и три техника. Опытно-лабораторный цех центра площадью 1300 м<sup>2</sup> оснащен двумя 10-тонными мостовыми кранами, имеет металлографическую лабораторию и цеховую компьютерную систему САПР-АСУТП с программным обеспечением Cartia-V5. В лабораторном корпусе установлены две современные установки с цифровым управлением и стендами длиной 12 и 19 м для сварки трением с перемешиванием протяженных швов как плоских элементов (в двух координатах), так и объемных узлов или фрагментов конструкций высотой до 4,5 м (в трех координатах) (рис. 5). В 2006 г. здесь был проведен завершающий цикл исследования FWS-процесса в рамках проекта EuroSTIR, в котором принимали участие 40 партнеров из стран ЕС, в том числе шесть французских. Итоговые исследования подтвердили технологические пре-

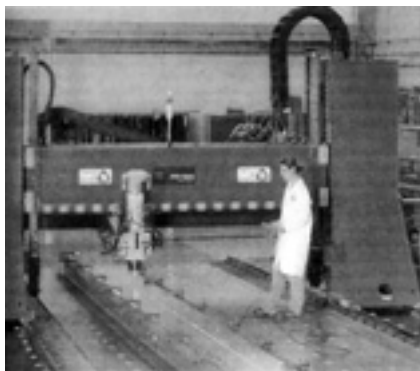
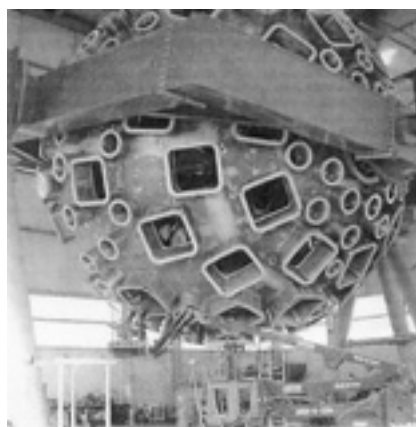


Рис. 5. Машина для сварки трением с перемешиванием (длина шва 14 м)



а)



б)

Рис. 6. Сварная сферическая камера "Laser Megajoule" (диаметр 11,0 м, масса ~100 т) для комплекса термоядерных исследований: а — сварка и контроль в цехе; б — готовая камера подготовлена к транспортировке

имущества FWS-процесса по сравнению с дуговым и лучевыми процессами. Исполнители проекта разработали принципиальные рекомендации для промышленных предприятий о рациональных областях применения данного процесса сварки для соединения сплавов алюминия, меди, магния, цинка и разнородных сочетаний Al—Cu и Al—сталь. Представленные технологические рекомендации отвечают основной цели проекта EuroSTIR — внедрению процессов сварки трением с перемешиванием в европейское транспортное машиностроение (судостроение, авиастроение, подвижной ж.-д. состав, автомобилестроение) и строительство.

Другой крупной разработкой ИСФ в области сварки трением с перемешиванием является реализация контрактного проекта Wel Air. Проектом предусмотрена отработка промышленной технологии приварки панелей различной кривизны размером до 12×2,4 м к рамам и шпангоутам самолетных конструкций; отрабатывается технология сварки точечных, прорезных и стыковых швов на авиационных алюминиевых сплавах толщиной 1—30 мм. Промышленная FWS-технология сварки объемных и объемно-мон-

тажных соединений в автоматическом режиме ориентирована на последующее ее применение в производстве с использованием сварочных роботов-манипуляторов сварочным инструментом, в том числе и специального, с двойным "заплетиком".

Следует отметить, что в технологических центрах ИСФ проводятся не только исследования и опытно-промышленная разработка технологий соединения, но и выполняются небольшие заказы отдельных предприятий на изготовление сварных деталей и узлов с применением прогрессивных процессов сварки на современном оборудовании.

Значительный объем в общей деятельности ИСФ занимают еще два направления: первое — это диагностика, инспекция и контроль сварных конструкций и сооружений с целью оценки и продления их эксплуатационной работоспособности; второе — периодическая работа непосредственно на предприятиях, где производятся ответственные сварные конструкции, заключающаяся в высококвалифицированном технологическом сопровождении и инспекции на всех этапах изготовления конструкций (заготовительных операциях, сборке, сварке, контроле). Примером та-

кой деятельности может служить участие специалистов ИСФ на всех стадиях цикла изготовления уникальной сферической камеры "Laser Megajoule" (рис. 6) для французского термоядерного центра. Как правило, это направление деятельности реализуется специалистами региональных отделений и филиалов под руководством и при участии соответствующих экспертов ИСФ.

Представляет интерес принятая в ИСФ краткосрочная (на 5 лет) программа приоритетной тематики конкретных технологических исследований и разработок в области сварки и родственных технологий непосредственно в интересах промышленных предприятий и отраслей, включающая:

- разработку методов неразрушающего контроля сварных (стационарных и бортовых) баллонов и резервуаров для хранения водорода;

- разработку методики мониторинга процесса старения сварных конструкций и оценки их повреждаемости в процессе эксплуатации;

- разработку промышленных технологий сварки новых конструкционных материалов: легированных сталей с высоким пределом упругости, высокопрочных алюминиевых сплавов и мульти-материалов для гибридных конструкций;

- повышение производительности и уровня автоматизации процессов сварки за счет расширения объемов применения самоадаптивной и гибридной сварки, а также интенсивной роботизации сварочного производства;

- развитие методов цифрового моделирования технологий сварки и наплавки, в том числе

исключающих последующую термическую обработку.

Генеральный директор ИСФ г-н Ален Удар заявляет, что на ближайшую перспективу институт останется верен своим традициям в части непрерывного повышения инновационного уровня исследований, активного трансфера прогрессивных технологий и других новаций в производство, дальнейшего развития сети зарубежного представительства ИСФ, установления новых и укрепления сложившихся партнерских отношений с заказчиками ведущих отраслей Франции для решения проблем современного развития сварки и родственных технологий.

Мощная система информационного обеспечения основных сфер деятельности ИСФ постоянно совершенствуется, в нее включены 34 из 36 региональных офисов-представительств и зарубежных филиалов, вся система корреспондируется с веб-сайтом института ([www.isgroupe.com](http://www.isgroupe.com)). В 2006 г. проведена актуализация базового пакета прикладных программ (EXP) управления системой, которая имеет ряд тематических БНД. Система позволяет накапливать и анализировать всю информацию об имеющихся или потенциальных заказчиках, включая первые контакты, конкретные запросы, заявки на сметную стоимость контрактов, перечень перспективных задач и услуг и др. В БНД информационной системы зафиксированы более 8000 партнеров-заказчиков, значительную часть которых составляют так называемые действительные члены ИСФ — крупные промышленные объединения, концерны и фирмы Франции, Бельгии, Германии и других стран. Ассоциативными членами ИСФ являются Не-

мецкое общество сварки и родственных технологий DVS и Британский институт сварки TWI.

Действительные члены ИСФ от промышленности имеют льготный доступ к ряду услуг со стороны подразделений института, в частности:

- открытый телефонный доступ к библиографической БД, содержащей более 14 000 аннотаций международных технических публикаций в области сварки, сварных конструкций и неразрушающего контроля;

- пользование систематически актуализируемой БД о нормативных актах, технических рекомендациях, стандартах и другой национальной и международной нормативной документации;

- оперативное обеспечение технологических консультаций или рекомендаций и ежеквартальное получение подборки текущей технологической документации в виде бюллетеня "Infos Members, Bull'Doc";

- возможность ознакомления с результатами отдельных НИР, выполненных по контрактам с промышленными предприятиями и стройками;

- приглашение на участие в 10 проводимых в течение года научно-технических семинарах, тематических обсуждениях и демонстрациях;

- бесплатное резервирование места (веб-узлов предприятий) на веб-сайте ИСФ.

Главным девизом в работе с партнерами и заказчиками — промышленными предприятиями и стройками стран ЕС, а также деятельности ИСФ на национальном и международном рынках сварочных технологий и услуг является "предложить потребителю наилучшее решение, где бы он не находился".

## Международный форум "Высокие технологии XXI века"

Международный форум "Высокие технологии XXI века" проходил с 22 по 25 апреля 2008 г. на ЦВК "Экспоцентр" под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ. В подготовке и проведении форума приняли участие Правительство Москвы, Министерство промышленности и энергетики РФ, РАН, ЦВК "Экспоцентр" и др.

В работе форума участвовали отечественные и зарубежные предприятия, государственные научные центры, вузы и академии. В выставке приняли участие 550 экспонентов из России и зарубежных стран.

Ниже приведено краткое описание экспонатов и разработок предприятий, а также сбытовых организаций, вызвавших наибольший интерес у машиностроителей.

**Институт машиноведения им. А. А. Благонравова (ИМАШ РАН)** демонстрировал на выставке технологии и системы для упрочнения и наплавки. Разработка технологий лазерного упрочнения, наплавки поверхностей трения и систем управления лазерным лучом в пространстве являемся одним из приоритетных направлений для повышения износостойкости и надежности узлов трения и рабочих органов машин. Лазерные технологии обеспечивают локальный нагрев с минимальными деформациями и охлаждение без применения охлаждающих сред. Высокие скорости нагрева —  $10^4$ — $10^6$  °C/с — обеспечивают получение высоких физико-механических свойств. При этом плотность мощности лазерного излучения может изменяться от  $10^4$  до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>.

*Технологию лазерного упрочнения* для обработки локальных поверхностей трения, а также маложестких и длинномерных деталей. Глубина упрочненного слоя 0,5—2,0 мм. Твердость поверхностного слоя зависит от содержания углерода, например для сталей 45 и 40X составляет 57—61 HRC.

*Технологию лазерной наплавки* для нанесения порошковых металлических покрытий на поверхности трения новых и восстановления изношенных деталей. Толщина наплавленного слоя 0,5—2,0 мм.

Твердость наплавленного слоя может изменяться от 25 до 75 HRC в зависимости от состава порошкового материала.

Лазерное упрочнение и наплавку проводят с применением сканирующих устройств при частоте колебаний луча 150—600 Гц, что обеспечивает выравнивание и регулирование плотности мощности излучения лазера по сечению лазерного пятна.

*Технологию лазерного раскроя* металлических и неметаллических материалов. Толщина разрезаемого материала: низкоуглеродистая сталь — до 20 мм, коррозионно-стойкая — до 15 мм, алюминий — до 10 мм при мощности лазерной установки до 3 кВт.

*Лазерные системы:*

— с подвижным порталом с размещенной на нем кареткой и неподвижным столом (три одновременно управляемые координаты, рабочее поле обработки  $1500 \times 1200 \times 200$  и  $3000 \times 1500 \times 500$  мм);

— с неподвижным порталом, содержащим каретку с подвижным столом (две одновременно управляемые координаты, вертикальная координата со следящей системой, зона обработки  $1200 \times 1700 \times 200$  мм и  $1500 \times 3000 \times 300$  мм);

— с подвижной консолью и устройством вращения детали (три одновременно управляемые координаты), диаметр детали  $300 \times 1500$  мм;

— автоматизированная линия для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения. Габаритные размеры линии  $5600 \times 2200 \times 1900$  мм.

*Лазерную систему* для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала. Система осуществляет лазерную закалку сталей 45 и 40X и обеспечивает получение твердости упрочненного слоя 57—60 HRC, что недостижимо при традиционных методах термической обработки. Глубина зоны закалки 0,9—1,2 мм. Мощность излучения лазерной системы 2,5 кВт, перемещение по осям X, Y, Z — 1700, 1200 и 300 мм соответственно при скорости перемещения 20 м/мин, точность позиционирования 0,05 мм. Применение лазерной резки позво-

ляет отказаться от изготовления дорогостоящей оснастки — вырубных и просечных штампов, кондукторов и шаблонов. Скорость лазерной резки стального листа толщиной 1 мм при мощности излучения 2,5 кВт достигает 10 м/мин.

*Автоматизированную линию* для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения. Работа линии основана на поочередной передаче лазерного луча оптической системой на сканер для пространственного управления перемещением луча при обработке деталей и на лазерный модуль для упрочнения и наплавки тел вращения. Эффективность лазерной установки приближается к 100 %. Упрочнение и наплавку ведут с помощью оптических головок, оснащенных сканирующими устройствами с колеблющимися и вращающимися зеркалами с частотой 150—600 Гц. В результате твердость упрочненных слоев металла достигает 67 HRC для стали 65Г. Мощность лазерного излучения 2,5 кВт. Размеры обрабатываемых деталей: сложной пространственной формы — 1500 × 1000 × 300 мм, тел вращения — 250 × 1500 мм. Мощность технологической автоматизированной линии 26 кВт. Скорость перемещения оптических головок 20 м/мин при точности позиционирования 0,05 мм. Габаритные размеры линии 5600 × 2200 × 1900 мм.

**Федеральный научно-производственный центр "НИИ физических измерений"** (Пенза) продемонстрировал датчики и преобразующую аппаратуру для атомных электростанций.

*Дифференциатор давления ДМВ001* для измерения скорости спада давления воды, газов и других агрессивных и неагрессивных сред, нейтральных по отношению к сплаву 36НХТЮ. Выдача информации осуществляется в виде сигналов постоянного тока в системы автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Дифференциатор оснащен тензометрическим чувствительным элементом и преобразователем изменения сопротивления резисторов в электрический выходной сигнал постоянного тока 0—5 или 4—20 мА. Измеряемая скорость спада давления 0,25—0,025 МПа/с при номинальном давлении 16 МПа с погрешностью 1,5—3 %. Температура измеряемой среды ±50 °С. Нарботка на отказ (ресурс) составляет 100 000 ч. Масса прибора 3 кг.

*Низкочастотный контактный сигнализатор давления СДНК003* для контроля и сигнализации об изменении давления выше или ниже заданного значения путем замыкания или размыкания электрической цепи в системах воздухоподдачи и системах смазки и охлаждения жидкостей дизельных установок, в том числе на АЭС. Пределы регу-

лируемых уставок срабатывания по давлению 0,01—1 МПа. Погрешность срабатывания при температуре 25 °С ± 5 °С, температура окружающей среды 15—50 °С. Коммутируемая мощность цепей постоянного тока напряжением 30 В составляет 60 Вт, переменного тока напряжением 220 В — 300 Вт. Нарботка на отказ (срок службы) 15 лет. Масса сигнализатора 1 кг.

*Герконовый бесконтактный выключатель БГВ1* в составе стопорных клапанов в турбинном отделении АЭС. Зона срабатывания выключателя 12 мм, коммутируемая мощность 30 Вт. Коммутируемый постоянный и переменный ток с частотой 50 Гц не более 1 А, питающее напряжение 300 В. Температура окружающей среды –30—80 °С. Срок службы 15 лет, масса выключателя 0,5 кг.

**МГТУ им. Н. Э. Баумана** представил на выставке свои разработки, среди которых *устройство для автоматического контроля подлинности документов*. Принцип работы устройства — спектральный анализ в автоматическом режиме голографического элемента, дифракционной решетки, расположенных на ценной бумаге, пластиковой карточке и т. п. Принцип действия устройства следующий. Изображение голограммы представляет набор дифракционных решеток, при освещении которых источниками света с разными длинами волн угол отражения подсвечивающего луча зависит от ориентации решетки и длины волны излучения. В качестве источника излучения используются четыре линейки по восемь светодиодов — красного, синего, зеленого и инфракрасного свечения. В качестве приемника излучения используют восемь фотодиодов, расположенных в линию, а также может быть использована линейка фотодиодов со 128 элементами в строке. При установке ценной бумаги срабатывает датчик наличия, приводящий в действие устройство. При остановке происходит последовательное излучение светодиодов с разными длинами волн. Излучение дифрагирует на голограмме или дифракционном элементе и попадает на фотодиод. Сигналы с фотодиодов записываются в память устройства и в дальнейшем будут использоваться как эталонные. Анализ подлинности документа определяется совпадением сигналов с фотодиодов анализируемой голограммы с сигналом эталона, записанным в памяти устройства. При соответствии или несоответствии высвечивается информация на индикаторе.

**Государственное научно-производственное объединение точного машиностроения "Планар"** (Минск) предложило на выставке оптико-механическое и контрольно-измерительное оборудование, линейные приводы, шаговые электродвигатели, различные системы управления.

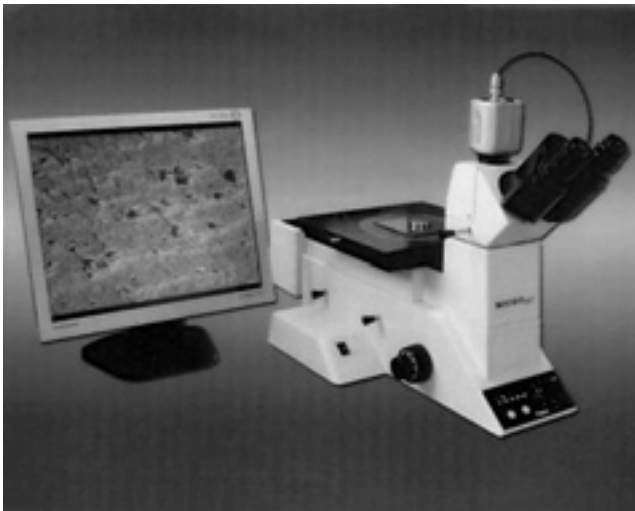


Рис. 1. Пост микроконтроля МК-3

Пост микроконтроля МК-3 (рис. 1) — инспекционный и измерительный комплекс на базе микроскопа МИ-1 для контроля и измерения структуры, состава и свойств металла, сплавов в металлургии, при входном контроле металлов в машиностроении. Пост микроконтроля оснащен качественной оптикой высшего класса с увеличенным полем наблюдения. Применение пятипозиционной электро-механической револьверной головки позволяет рассматривать объекты без существенных потерь времени на поиск объекта при изменении увеличения (при смене объекта резкость остается практически неизменной, при этом наблюдаемый элемент остается в центре поля зрения). Пост микроконтроля позволяет осуществлять TV-контроль и компьютерный анализ изображения. Рабочий стол имеет ручное управление, ход стола по координатам X, Y не менее 25×25 мм, поворот стола вокруг оси Z ±15°, фокусировка 7 мм. Питающее напряжение поста 220 В, габаритные размеры 750×350×420 мм, масса до 34 кг.

Установку ЭМ-4220-1 для присоединения золотых и алюминиевых проводников в изделиях электронной техники внахлестку ультразвуковой и термозвуковой сваркой. Установка оснащена дополнительными устройствами для присоединения плоских проводников, сборки приборов "в глубоких колодцах", присоединения "толстой" проволоки. Размер рабочего поля: грубого — диаметром 85 мм; точного — диаметром 15 мм. Диаметр присоединяемых круглых проводников: золотого — 0,0125—0,075 мм, алюминиевого — 0,02—0,08 мм. Размеры присоединяемых плоских проводников из алюминия 0,24—0,03 мм. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,05—1,5 Н. Время сварки 1—250 мс. Температура нагрева рабочей зоны рабочего стола

100—300 °С. Питающее напряжение установки 230 В, габаритные размеры 750×650×650 мм, масса 35 кг.

Установку ЭМ-4340-А1 для присоединения алюминиевых выводов диаметром 100—500 мкм к контактными площадкам мощных транзисторов, гибридных схем и силовых модулей ультразвуковой сваркой в автоматическом режиме. Время выполнения одной перемычки 0,8 с с погрешностью ±15 мкм, длительность сварочного импульса 0,1—1 с. Питающее напряжение установки 230 В, потребляемая мощность 1,2 кВт, масса 220 кг. Установка оснащена системой технического зрения и системой контроля качества сварки.

Установку ЭМ-4320 при присоединении золотых проводников в изделиях электронной техники термозвуковой сваркой. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,1—1,5 Н, время сварки 10—250 мс, температура нагрева рабочей зоны стола 100—300 °С. Питающее напряжение установки 230 В, габаритные размеры 510×610×640 мм, масса 35 кг.

Установку ЭМ-4092 (рис. 2) для присоединения круглых и плоских выводов к контактными площадкам гибридных интегральных микросхем контактной микросваркой. Установка обеспечивает без переналадки присоединение различных по длине, диаметру, числу стежков и уровням сварки перемычек. Гашение механических вибраций производится демпфирующим устройством. Присоединение перемычек осуществляется двухэлектродной сваркой или при косвенном нагреве блоком контактной сварки. Производительность установки 2000 присоединений в 1 ч. Размеры присоединяемых выводов 0,025—0,1 мм. Перемещение сварочной головки по оси Z составляет 12 мм. Материал присоединяемых выводов — Au, Cu. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,2—3 Н, длительность сварочного импульса 0,04—0,4 с, температура нагрева рабочей зоны стола 100—250 °С. Питающее напряжение установки 230 В, потребляемая мощность 1 кВт, габаритные размеры 800×800×600 мм, масса 55 кг.



Рис. 2. Установка для контактной сварки ЭМ-4092

*Линейный шаговый прецизионный планарный двухосевой привод серии МКС-2005* для транспортирования инструментов и материалов в зону выполнения технологических операций в специальном технологическом оборудовании. Планарная двухосевая конструкция привода обеспечивает высокую точность перемещений и возможность реализации сложных траекторий движения одновременно несколькими индукторами. Точность позиционирования привода  $\pm 5$  мкм. Максимальное перемещение индуктора по осям X и Y составляет 295 и 210 мм соответственно. Максимальная скорость перемещения индуктора 0,25 м/с. Привод оснащен интерфейсом дистанционного управления RS-232. Габаритные размеры привода  $640 \times 426 \times 105$  мм, масса 68 кг.

**Московский институт стали и сплавов** продемонстрировал *коррозиметр КМ-МИСuС*, предназначенный для эксплуатации в полевых и лабораторных условиях, оснащенный интерфейсом управления и ввода/вывода данных. Прибор выполнен на современных микропроцессорных микросхемах с аналого-цифровым вводом-выводом данных и результатов измерений. Интерфейс прибора разработан на базе управляющих программ для микропроцессоров с AVR архитектурой. Программой коррозиметра предусмотрена возможность введения параметров, позволяющих оценивать скорость коррозии сталей различных марок и установку нуля. Прибор позволяет измерять скорости коррозии в электропроводных агрессивных средах на основе метода поляризационного сопротивления, определять марки сталей в эксплуатационных условиях, длительность измерений составляет 30 мин. Электропитание прибора осуществляется от батарейки или аккумулятора напряжением 9 В. Рабочие условия эксплуатации: температура окружающей среды 10—35 °С при относительной влажности 30—80 %. Габаритные размеры коррозиметра  $190 \times 105 \times 55$  мм, масса без электродов 0,35 кг.

**ЦНИИ технологии судостроения** (С.-Петербург) предложил для предприятий машиностроения различное оборудование.

*Машину "РИТМ-МА" для тепловой резки листового проката и плит.* Машина оснащена новыми источниками питания дуги, обеспечивающими высокое качество плазменной резки и повышенный ресурс быстроизнашивающихся частей плазмотрона; устройством стабилизации высоты плазмотрона; системой автоматического режима подачи кислорода в процессе резания; современной системой ЧПУ и приводами. Толщина разрезаемого металла: микроплазменной резкой — 1—20 мм; плазменной — 1—60 мм; кислородной — 4—200 мм. Максимальный ток при плазменной резке 400 А. Ширина

разрезаемого листа 2 м, длина — от 6 м, скорость перемещения резака 0,1—12 м/мин, питающее напряжение машины 380 В.

*Трубогибочный станок СТГ-ИН с нагревом током высокой частоты* для гибки труб из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, цветных металлов и сплавов титана. Оснащен системой водяного или воздушного охлаждения зоны нагрева трубы и устройством контроля температуры нагрева на базе пирометра с лазерным целеуказателем. Диаметр изгибаемых труб 45—377 мм, длина — 9000 мм, максимальный угол гибки 180°. Установленная мощность станка 250 кВт, масса 9,8 т.

*Многофункциональный гибочно-правильный станок МГПС-25* для холодной гибки и правки листовых деталей сложной формы из сталей различных марок и цветных металлов толщиной до 20 мм методом бесштампового ротационно-локального деформирования. Использование роликовой гибочной оснастки или универсальной матрицы обеспечивает необходимую постоянную или переменную одинарную или двойную кривизну поверхности листовой детали. Максимальная ширина обрабатываемого листа 2,5 м, длина листа ограничена возможностями кранового оборудования для поддержания его в процессе гибки. Наибольшее усилие гибки 250 кН. Скорость подвода верхнего гибочного ролика 30 мм/с. Установленная мощность станка 11 кВт, габаритные размеры без пульта управления и гидростанции  $4920 \times 5300 \times 3560$  мм, масса 10 т.

*Машину "РИТМ-М ПКП 2,5 ЗР"* (рис. 3) для термической резки листового проката из углеродистых сталей с одновременной разделкой кромок под сварку. Оснащение машины системой управления на базе промышленного компьютера с цифровыми приводами и вентильным двигателем обеспечивает высокую надежность при эксплуатации. Толщина



Рис. 3. Машина для термической резки "РИТМ-М ПКП 2,5 ЗР"



разрезаемого листа одним резаком до 100 мм, с разделкой кромок — до 60 мм, ширина — до 2500 мм, угол обрабатываемой фаски 15—55°. Машина оснащена тремя резаками, скорость их перемещения 0,1—12 м/мин, питающее напряжение 380 В.

*Локационно-акустическую трехкоординатную измерительную станцию ЛАИС* для оперативного измерения размеров и формы сложнопрофильных изделий в процессе их изготовления, при выходном (входном) контроле, на стадиях разработки и отладки технологии изготовления. В основе работы станции лежит принцип акустической локации — возбуждение бесконтактным лазерным импульсом или контактным электродинамическим щупом в контролируемых точках изделия сферических акустических волн и определения их координат приемной антенной с акустическими приемниками и дальнейшим автоматическим расчетом (встроенной микроэвм) размеров и формы изделия в заданной системе координат (получения чертежа). Измерительное поле в системе координат приемной антенны 5000 × 3000 × 3000 мм. Измерительная антенна треугольная с размером сторон 1,5 м. Время измерения координат одной точки составляет 1 с, погрешность измерения — ±1,5 мм. Питающее напряжение станции 220 В.

**Компания "Вакуум ЭСТО"** (Москва, Зеленоград) представила свои новые разработки.

*Вакуумно-технологическую установку Caroline D12A* (рис. 4) для магнетронного напыления на керамические, кремниевые и другие подложки диаметром до 100 мм. Установка может быть укомплектована четырьмя магнетронами, (выполненными, например, из РС, хрома, меди, никеля) или тремя

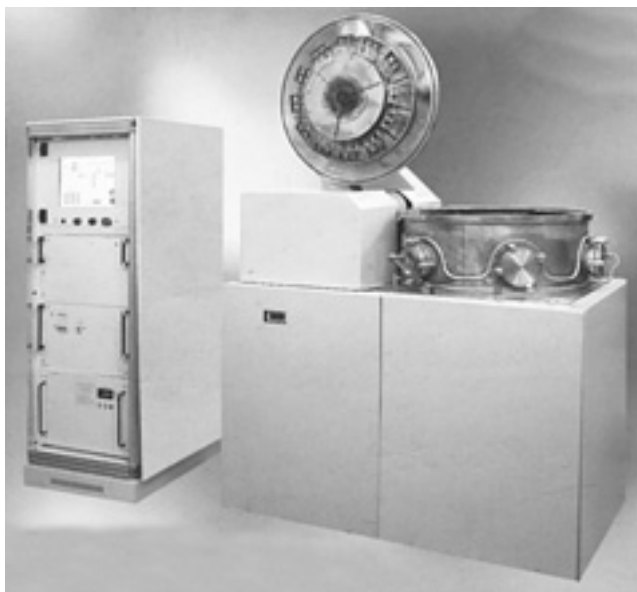


Рис. 4. Вакуумно-технологическая установка Caroline D12A

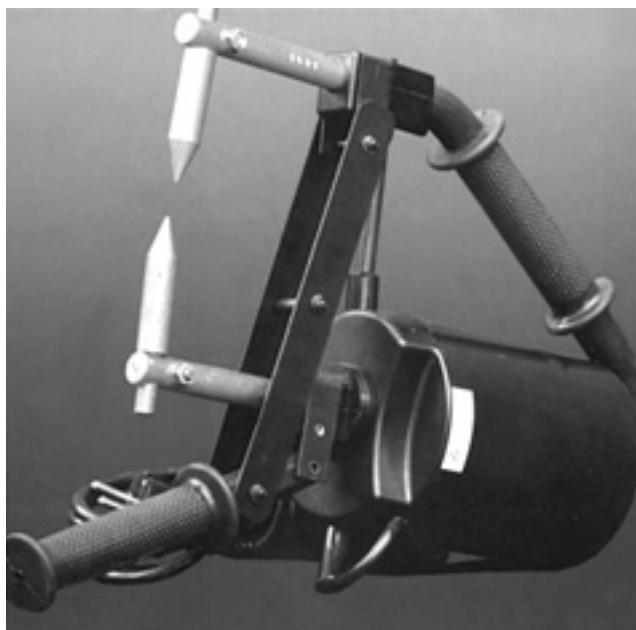


Рис. 5. Аппарат для контактной сварки "ТОР"

магнетронами и источником термического испарения. На установке можно производить напыление резистивных пленок из материалов РС-3710, РС-5406, РС-1004 и др., пленок титана, нитрида или оксида титана, нитрида тантала, алюминия толщиной до 15 мкм, меди толщиной до 15 мкм, диоксида и нитрида кремния. Перед напылением для улучшения адгезии напыляемых слоев производят очистку поверхности изделия ионным источником постоянного тока, кроме того, нагревают изделия до 50—250 °С. Работает установка при температуре окружающей среды 15—30 °С и относительной влажности до 65 %. Питание установки осуществляется от трехфазной, четырехпроводной сети с нулевым проводом переменного тока, напряжением 380 В. За один рабочий цикл на установке можно обработать 12 подложек. Время подготовки установки к работе с учетом "разгона" крионасоса не более 110 мин. Габаритные размеры установки 1300 × 850 × 2000 мм, масса 1,85 т.

**ООО "ТОР"** (Москва) демонстрировало на выставке различное сварочное оборудование.

*Аппарат "ТОР"* (рис. 5) для соединения деталей из листового и профильного металла, включая коррозионно-стойкую сталь, а также проволоки точечной контактной сваркой. Аппарат применяют во многих отраслях промышленности, в том числе в машиностроении. Питающее напряжение аппарата 220 В, мощность — до 2,2 кВт, масса — 8 кг. Максимальная толщина свариваемых деталей 4 мм.

*Сварочный выпрямитель "Терминатор"* для сварки покрытыми электродами диаметром до 4 мм низкоуглеродистых и легированных сталей, а также

для пуска двигателя легкового автомобиля с аккумулятором. Питающее напряжение выпрямителя 220 В. Сварку выполняют постоянным током 200 А. Диаметр сварочного электрода 2—4 мм. Масса выпрямителя 13 кг.

*Сварочный выпрямитель ВД-306т/400* с тиристорной регулировкой сварочного тока для сварки постоянным током при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов при трехфазном питании от сети переменного тока. Напряжение питающей сети 380 В. Пределы регулирования сварочного тока 20—400 А. Габаритные размеры выпрямителя 565 × 270 × 395 мм, масса 55 кг.

**Компания "Лазер булат"** (Москва) представила лазерные установки различного назначения.

*Лазер НТФ-150* для выполнения прецизионной лазерной сварки и наплавки в составе автоматической установки или в режиме ручной сварки. Совместное использование цепевязального станка и лазера позволяет осуществлять сварку звеньев цепи непосредственно на станке. Такая технология упрощает и ускоряет производственный цикл. Отсутствие припоя и порошка при сварке позволяет не применять агрессивные химикаты и растворители. Особенностью лазера является наличие закрытой волоконной системы доставки излучения, позволяющей легко интегрировать лазерный инструмент в технологическую линию. Блок фокусировки излучения оснащен бинокулярной системой наблюдения, позволяющей отслеживать процесс сварки при работе в технологической линии, а также проводить сварку в ручном режиме, наблюдая в бинокляр обрабатываемые изделия. Режим работы лазера импульсно-периодический, длина волны излучения 1,06 мкм, энергия импульса излучения до 60 Дж, частота следования импульсов 1—100 Гц при средней мощности излучения до 150 Вт. Питающее напряжение лазера 380 В, габаритные размеры 520 × 750 × 790 мм, масса 90 кг.

*Установку LRS-100* (рис. 6) для прецизионной лазерной сварки со сложным контуром сварных швов мало- и крупногабаритных деталей и узлов массой до 100 кг. Широкий диапазон регулирования параметров излучения позволяет производить сварку и наплавку конструкционных сталей и цветных металлов и сплавов. Наличие в составе установки контрольно-фокусирующей системы со стереоскопическим микроскопом позволяет производить тщательное визуальное позиционирование места сварки в зону обработки и контролировать формирование сварного шва с малыми искажениями объекта наблюдения, что снижает утомляемость оператора. Тракт наблюдения оснащен устройством защиты глаз оператора от вспышки в момент сварки, что обеспечивает полную безопасность тех-



Рис. 6. Установка LRS-100

нологических операций и снижает усталость при длительной работе на установке. Средняя мощность излучения установки 100 Вт, пиковая мощность 4 кВт, энергия импульса излучения 40 Дж, длительность импульса излучения 0,2—20 мс, частота следования импульсов 0,5—20 Гц, диаметр сфокусированного луча 0,3—20 мм. Расход воды для охлаждения 0,3 м<sup>3</sup>/ч. Питающее напряжение установки 380 В, габаритные размеры 450 × 850 × 1100 мм, масса 150 кг.

**Компания BUEH LER LTD** (США) — лидирующий производитель оборудования для исследовательских предложений для российского рынка свою продукцию.

*Абразивный отрезной станок Power Met 3000* с автоматическим управлением и перемещением рабочего диска и столика с образцом по осям X—Z для параллельных резов и линейной резки. Микрометрическое автоматическое перемещение отрезного круга по оси X достигает 120 мм для серийной резки и параллельных резов. Станок оснащен рабочей камерой размером 410 × 310 мм и двумя люминесцентными лампами освещения. Электронный тормоз быстро останавливает рабочий диск при открытии кожуха. Для резки длинных отверстий имеются боковые створки. Диаметр отрезного диска до 400 мм. Максимальная глубина реза на станке до 140 мм, длина реза до 210 мм. Мощность



Рис. 7. Настольный ручной шлифовальный станок ленточного типа Handi Met2

двигателя привода станка 5,5 кВт, питающее напряжение 380—415 В. Габаритные размеры станка 1540 × 1010 × 1020 мм, масса 400 кг.

Пресс *Simplimet 1000* для горячей запрессовки образцов. Загрузка, нагрев, сжатие, охлаждение и выгрузка образцов происходят в автоматическом режиме. Стандартная двойная пресс-форма с промежуточным цилиндром позволяет производить

две запрессовки образцов одновременно. Жидкокристаллический дисплей и сенсорная панель управления упрощают работу пресса. Питающее напряжение пресса 220 В. Габаритные размеры 405 × 520 × 580 мм, масса 33 кг.

Настольный ручной шлифовальный станок ленточного типа *Handi Met2* (рис. 7) с коррозионно-стойким корпусом. Обеспечивает быструю мокрую шлифовку образцов, удобен при подготовке образцов для исследования микроструктур, имеет четыре вала для рулонной бумаги. Питающее напряжение станка 220 В, габаритные размеры — 480 × 150 × 560 мм, масса — 15 кг.

Выставка прошла с большим успехом, ее посетили специалисты различных отраслей промышленности. В рамках выставки прошла международная конференция "Высокие технологии — стратегия XXI века", на которой обсуждались вопросы развития российского высокотехнологического комплекса.

А. Н. ИВАНОВ, инж.


www.MVK.ru
(495) 995-05-95

РОССИЯ, МОСКВА, МВЦ «КРОКУС-ЭКСПО»

## 21 – 24 октября 2008

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ





# WELDEX

## РОССВАРКА

8-я Международная специализированная выставка

www.weldex.ru www.mvk-crocus.ru

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4  
 Дирекция выставки: тел./факс: (495) 925-34-82, e-mail: mns@mvk.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА  
ЗАО «МК»:

МК СЕВЕР-ЗАПАД: +7 (812) 332-15-24  
 МК УРАЛ: +7 (343) 371-24-76  
 МК ВОЛГА: +7 (843) 291-75-89

МК СИБИРЬ: +7 (383) 201-13-68  
 МК ЮГ: +7 (862) 234-52-45

**Организатор:**  
ЗАО «Международная  
Выставочная  
Компания»

**При поддержке:**  
Московской  
Межотраслевой  
Ассоциации  
Главных Сварщиков

**Под патронажем:**  
Торгово-  
промышленной  
палаты РФ

**При содействии:**  


**Генеральный  
информационный спонсор:**  
  
 «Сварочный комплекс»

**Информационные спонсоры:**  


Публикуется на правах рекламы

# БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

## Содержание зарубежных журналов по сварке<sup>1</sup>

### JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 76, N 7, 2007, Япония)

- Kin-ichi M.** Сварка меди и медных сплавов. P. 3—4.  
**Yuzuru Yo.** Современное состояние и перспективы разработки сталей для строительства. P. 7—11.  
**Shigeo O.** Стали с высокими эксплуатационными характеристиками для мостостроения. P. 12—18.  
**Imai Shi.** Перспективные стали для судостроения. P. 19—25.  
**Fumiyoshi M.** Методики оценки разрушения стальных конструкций в сейсмоусловиях. Особенности метода и схема осуществления. P. 36—41.  
**Koichi N., Kiyoharu T., Kunihiko N.** Современная техника для автоматического измерения утонения стенок труб в трубопроводах. P. 42—46.

### (Vol. 76, N 8, 2007, Япония)

- Kasai S.** Способы сварки титана с цирконием. P. 5.  
**Qiang Yu., Kobayashi Yu.** Расчет долговечности и оценка надежности соединений, выполненных микропайкой. P. 6—12.  
**Furuya H.** Оценка ударной вязкости ЗТВ соединений конструкционных сталей в строительстве. P. 19—22.

### RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LIX, № 6, 2007, Италия)

- Costa G.** 60-й ежегодный конгресс Международного института сварки в Хорватии. P. 771—786.  
**Murgia M.** Развитие и тенденции гармонизированного профессионального обучения. P. 787—796.  
**Consonni M., Harvey D.** Последние разработки процессов сварки с высокой концентрацией энергии и сварки трением с перемешиванием. P. 799—811.  
**Hägg F., Larén M., Bonalumi P.** Характеристики, области применения и свариваемость новой коррозионно-стойкой стали Lean Duplex LDX2101. P. 815—821.  
**Opderbecke T., Guiheux S.** TOPTIG — новый роботизированный способ ТИГ-сварки со встроенным устройством подачи проволоки. P. 823—828.  
**Ferro P., Bonollo F., Tiziani A.** Усталостная прочность сварных конструкций из аустенитно-ферритной стали. P. 831—848.  
**Louis H. et al.** Технология резки водяной струей с абразивным материалом — основные принципы, применение и разработка. P. 853—859.  
**Основные** принципы процесса электрошлаковой сварки. P. 861—865.

### SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 1, 2008, Германия)

- Herold H. u. a.** Метод оптимизации рабочих параметров и свариваемости фюзеляжа самолета. S. 12—23.  
**Kusch M. u. a.** Применение микроволновых радарных сенсоров при сварке в защитных газах. S. 24—28.  
**Конференция** по сварке (16—18 сентября, 2007 г., Базель, Швейцария). S. 29—50.

### (N 2, 2008, Германия)

- Два** новых робота фирмы KUKA. S. 74—75.  
**Bach F.-W. u. a.** Разработка изготовленных гальваническим способом покрытий, проволок и пленок, устойчивых против высоких температур. S. 78—83.  
**Bobzin K. u. a.** Обеспечение качества благодаря диагностике процесса Online. S. 84—87.  
**Dilthey U. u. a.** Повышение стойкости против образования горячих трещин при сварке под флюсом холодной проволокой сплавов на основе никеля. S. 88—96.  
**Работа** службы информации "Обзор литературы по сварке и родственным технологиям". S. 97—100.  
**Jerzemberck J.** Техника безопасности при сварке, актуальные вопросы исследований и практики. S. 101—104.  
**Zwätz R.** Проект EN ISO 9 606-1:2007-05 потерпел крушение из-за европейских возражений. В 2008 г. планируется второе рассмотрение. S. 104—107.  
**Vollertsen F.** IV комиссия МИСа "Лучевые способы". S. 108—109.  
**Queren-Lieth W., Kestin G.** Повышение квалификации и обмен опытом сварочного персонала в аэрокосмической области и военной технике. S. 109—115.

### TWI CONNECT

#### (Issue 151, November-December, 2007, Англия)

- Назад** в прошлое — совсем другой сварной шов для возрожденного катера "Bluebird". P. 1, 2.  
**Команда** Британского института сварки выиграла приз за лучшие материалы и инновационные разработки. P. 2.

#### (Issue 152, November-December, 2007, Англия)

- Новый** метод сварки трением с перемешиванием с использованием отверстия. P. 1.  
**Внедрение** установки для холодного распыления в Йоркширском технологическом центре. P. 2.  
**ALTEX** — автоматизированная лазерная сварка текстиля. P. 3.  
**Расчет** сварных соединений. P. 4—5.

### WELDING AND CUTTING

#### (N 1, 2008, Германия)

- Новая** технология контроля обеспечивает беспрецедентный уровень мониторинга сварных швов. P. 8—10.  
**O'Connell T.** Роботизированные сварочные установки — новый инструмент для решения старых проблем. P. 10—11.  
**Более** высокий уровень качества, производительности и экономичности сварных соединений. P. 12—16.  
**Лазерная** сварка с использованием порошка в качестве присадочного материала. P. 20—21.  
**Rusch H.-J.** Контактная сварка в цехах по производству автомобильных кузовов. P. 22—26.  
**Staubach M. et al.** Сварка смешанных соединений из стали—алюминия с помощью процессов дуговой сварки металлическим электродом в защитном газе с пониженным потреблением энергии и с присадочными материалами на основе алюминия и цинка. P. 30—38.  
**Maddox St.** Усталость поперечных односторонних стыковых сварных швов. P. 44—52.  
**Thurner St., Kusch M.** Применение технологии пайки для соединения оцинкованных стальных материалов. P. 54—59.

<sup>1</sup> Раздел подготовлен по материалам библиографического указателя "Сигнальная информация. Сварка и родственные технологии" (по вопросу получения полной версии материалов обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

## ZVÁRAČ

(N 1, 2007, Словакия)

**Hrivňák I.** Строительство резервуаров для хранения нефтепродуктов, требования к нижней опорной поверхности, используемые сварочные процессы, проблемы коррозии в резервуарах. S. 3—8.

**Kolenič F., Koseček M., Drimal D.** Нанесение тонких покрытий повышенной прочности на чугун с помощью мощного CO<sub>2</sub>-лазера. S. 9—12.

**Koseček M., Kolenič F., Blažiček P., Bachár A.** Электронно-лучевая сварка рабочих колес турбокомпрессоров. S. 14—17.

**Kovariková I.** Исследования выбранных типов наплавленных слоев с точки зрения их стойкости против абразивного износа. S. 19—22.

(N 4, 2007, Словакия)

**Kolenič F., Koseček M.** Лазерная и электронно-лучевая наплавка и свойства полученных слоев. S. 9—17.

**Bruncko J., Michalka M., Uherek F.** Контроль лазерных технологических процессов. S. 19—21.

**Pokl'ackij A. G., Iščenko A. J., Podel'nikov S. V.** Сварка трением с перемешиванием — эффективный процесс формирования прочных соединений в твердом состоянии. S. 23—28.

**Ulrich K., Hodúlová E.** Новая информация о моделировании температурных областей и структурных аспектов в процессе лазерной порошковой наплавки. S. 32—34.

**Bezák J.** Визуальный осмотр сварных соединений в соответствии с европейскими стандартами. S. 37—38.

**Polák P.** Сертификация персонала по сварке и неразрушающим испытаниям соответственно системе SNAS. S. 39—42.

**Karvanská S.** Оценка лазерных сварных соединений конструкционных сталей в соответствии с пригодностью к эксплуатации. S. 43—48.

## ZVARANIE — SVAROVANI

(Roc. 56, N 10, 2007, Словакия)

**Juhás P.** Определение и оценка прочности конструкционных сталей. S. 275—282.

**Trstanová T.** Сварка дуплексных ферритно-аустенитных сталей и изготовление гидрогенизационного реактора. S. 283—291.

(Roc. 56, N 11—12, 2007, Словакия)

**Pecha J. et al.** Свойства сварных соединений типа T/P23. S. 307—314.

**Stejskalová Š. et al.** Причины преждевременного истечения срока службы переходных сварных соединений в трубах пароперегревателей, изготовленных из низколегированных Cr—Mo—V- и аустенитных Cr—Ni—Mo-сталей. S. 315—321.

**Holý A. et al.** Ухудшение эксплуатационных свойств излучающих труб вследствие их эксплуатации при высоких температурах. S. 322—330.

## Г. В. Конюшкову — 70 лет

Исполнилось 70 лет заслуженному деятелю науки РФ, заведующему кафедрой "Электронное машиностроение и сварка" Саратовского государственного технического университета, д-ру техн. наук Геннадию Владимировичу Конюшкову.

Г. В. Конюшков родился в Саратове 6 августа 1938 г. Окончил школу в 1955 г. с серебряной медалью и поступил в Саратовский автодорожный институт на машиностроительный факультет, который окончил в 1960 г. с отличием по специальности инженера-механика. Работал конструктором 3-, 2- и 1-й категорий в СКБ Геофизического приборостроения. Там же получил бронзовую медаль ВДНХ и первое авторское свидетельство на изобретение. В Саратовский институт вернулся в 1964 г. и начал заниматься разработкой нового оборудования для откачки электровакуумных приборов.

В 1968 г. в МВТУ им. Н. Э. Баумана Г. В. Конюшков защитил кандидатскую диссертацию по сварке.

В 1974 г. в издательстве "Энергия" в соавторстве с Ю. Н. Копыловым Г. В. Конюшков опубликовал первую среди молодых ученых монографию "Диффузионная сварка в электронике", в 1978 г. — монографию "Ферриты и их соединения с металлами и керамикой". Он автор более 200 научных статей, около 40 патентов и авторских свидетельств на изобретения. На втором, третьем и четвертом всесоюзном конкурсе по внедрению диффузионной сварки коллектив кафедры получил второе и третье места. В 1979 г. на всесоюзном и всероссийском конкурсах лучших научных разработок по закрытой тематике работа кафедры удостоена второй премии.

С 1979 г. и до настоящего времени Г. В. Конюшков возглавляет кафедру электронного машиностроения Саратовского ГТУ. Среди его учеников — три доктора технических наук и 19 кандидатов технических наук.

В 1980 г. Г. В. Конюшков защитил докторскую диссертацию по специальности "Вакуумная и плазменная электроника", в которой была решена проблема получения гарантированно вакуумно-плотных узлов электровакуумных приборов диффузионной сваркой.

В 1991 г. в соавторстве с Р. А. Мусиным в издательстве "Машиностроение" опубликована монография "Соединения керамических материалов с металлами". С 1998 по 2004 гг. выполнялись НИР по госбюджетным программам "Сварка и контроль" и "Развитие электронной техники в России".

В 2004 г. по инициативе Г. В. Конюшкова на кафедре открыта новая специальность "Оборудование и технология сварочного производства" и кафедра переименована — "Электронное машиностроение и сварка".

С 1998 г. Г. В. Конюшков является директором АНО "Средне-Волжский Головной аттестационный центр" по аттестации сварочного производства на опасных объектах, подконтрольных Ростехнадзору РФ.

Геннадий Владимирович много времени уделяет подготовке инженерных и научных кадров, читает лекционные курсы "Теория сварочных процессов" и "Оборудование и технология сварочных процессов". В настоящее время подготовлены и сданы в печать в соавторстве с коллегами и учениками четыре учебных пособия с грифами министерства: "Специальные методы сварки давлением", "Основы конструирования узлов электронного машиностроения", "Проектирование сварных конструкций" и "Расчет сварных конструкций". Опубликовано учебное пособие "Откачка электронных приборов".

Геннадий Владимирович всегда был и остается человеком своего дела. Ему присвоены звания "Заслуженный деятель науки РФ", "Почетный работник высшего образования", "Изобретатель СССР"; он награжден медалями ВДНХ, избран членом Немецкого сварочного общества, академиком Международной академии энергоинформационных наук, является членом научно-технического совета НАКС, награжден орденом Саратовской губернии "За любовь к родной земле".

*Сердечно поздравляем Геннадия Владимировича с юбилеем, желаем здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов!*

Саратовский ГТУ,  
редколлегия и редакция  
журнала "Сварочное производство"

# Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791:669.721

**Высокопрочный титановый сплав ВТ23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях.** Хорев А. И. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 3—8.

Приведены положения теории комплексного легирования титановых сплавов, обеспечивающего однородное структурно-фазовое состояние, высокие механические свойства как основного металла, так и сварных соединений.

Проведены сравнительные исследования ряда российских и зарубежных титановых сплавов. Установлено преимущество сплава ВТ23 по механическим, технологическим и экономическим характеристикам. Приведены перспективные области применения сплава ВТ23. Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 621.791:621.643.1/2

**Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва. Ч. 2. Результаты стендовых испытаний натуральных сварных трубных моделей с дефектами.** Хромченко Ф. А., Федосеев А. В. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 9—13.

На основе результатов стендовых испытаний сварных трубных моделей паропровода  $\varnothing 219 \times 28$  мм из стали 12Х1МФ при базовой наработке  $2 \cdot 10^5$  ч в условиях ползучести при температуре 545 °С и растягивающем напряжении 80 МПа допустимый размер (глубина) трещины в сварном соединении равен 5,7 мм. Табл. 2. Ил. 5. Библиогр. 2.

УДК 621.791.044.2 + 536.2.212.2

**Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом.** Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 14—17.

Предложен метод расчета с помощью номограмм теплового сопротивления композиционных многослойных листовых материалов, позволяющий на стадии проектирования конструкций рационально выбирать материалы с требуемыми свойствами за счет соотношения толщин исходных материалов в композите. Подтверждена возможность получения сваркой взрывом листовых многослойных материалов с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности. Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 12.

УДК 621.791(075.32)

**Методика определения точности поддержания параметров режима при точечной контактной сварке.** Сидоров В. П. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 18—22.

Проанализированы требования ГОСТ 15878—79 по допускам на величину диаметра литого ядра сварных точек при точечной контактной сварке. Установлено значительное влияние толщины свариваемых деталей на общие требования к точности поддержания режимов. Предложен метод использования изолиний режимов сварки по отношению к номинальной и минимальной площадям ядра, позволяющий выбрать оптимальный принцип определения допустимых отклонений режимов сварки. Приведены результаты определения точности режимов с помощью различных принципов. Предложена методика учета роли нерегулируемых параметров процесса на определение требуемой точности поддержания режимов. Ил. 1. Табл. 6. Библиогр. 7.

УДК 621.791.3

**Пайка узла из тугоплавких материалов с рабочей температурой до 1800 °С.** Лысенко Л. Д., Шабалина Е. В. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 22—23.

Отработана технология пайки узла из молибдена и сплава вольфрама ВР-20 через никелевое покрытие, нане-

сенное электронно-лучевым способом. Полученное соединение равнозначно по свойствам составляющим узел тугоплавким металлам при температуре эксплуатации 1800 °С. Ил. 4.

УДК 621.791.753.5.048

**Разработка и опыт использования керамического флюса ФКН-7 при восстановлении деталей железнодорожного подвижного состава.** Волобуев Ю. С., Сурков А. В., Волобуев О. С. и др. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 24—26.

Разработан керамический флюс на базе шлаковой системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  с основностью 1,26. Проведены испытания флюса при автоматической наплавке проволокой Св-08ХГ2СМФ гребней вагонных колес, наддресорных балок и пятников грузовых вагонов. Флюс ФКН-7 обеспечивает хорошее формирование износостойкого наплавленного металла с мелкозернистой сорбитообразной структурой и минимальным выгоранием легирующих элементов проволоки. Расход керамического флюса снизился на 30—40 % по сравнению с плавленным флюсом АН-348А. Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791.927.55

**Технология получения порошка на основе базальта, используемого при газотермическом напылении износостойких покрытий.** Калашникова И. А., Калашников А. В. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 26—29.

Разработана технология получения порошков на основе базальта, используемых при газотермическом напылении износостойких покрытий. Выход качественного порошка фракции 150—250 мкм составляет 63,97 %. Срок хранения более 8 лет. Табл. 3. Ил. 1. Библиогр. 12.

УДК 621.791.678.029.43:621.791

**Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Ч. 2. Исследование процесса охлаждения.** Старостин Н. П., Аммосова О. А. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 31—34.

Теоретическим моделированием процесса охлаждения при сварке полиэтиленовых труб показана возможность регулирования скорости охлаждения в зоне структурных изменений сварного соединения за счет варьирования размеров теплоизоляционной камеры. Определены размеры камер, обеспечивающие необходимую скорость охлаждения в диапазонах низких температур окружающей среды. Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 621.791.02

**Термическая обработка и сварка разнородных сталей.** Чертов В. М. — Сварочное производство. 2008. № 9. С. 34—35.

Разработаны и применены на практике серийные способы термической обработки и сварки высокопрочных разнородных сталей. При этом одну часть изделия выполняют из технологичной недефицитной хромистой коррозионно-стойкой стали мартенситного класса, другую — из технологичной недефицитной стали перлитного класса. Сварку проводят с применением легированной проволоки. Металл сварного шва после сварки и отпуска имеет структуру отпущенного бейнита. При данном способе изготовления обеспечиваются требования по прочности и коррозионной стойкости изделия. Библиогр. 1.

# Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, N 9

**Titanium alloy BT23 and its application in future-proof welded and brazed design.** Khorev A. I. P. 3—8.

Theoretical propositions of the titanium alloys complex alloying which ensures homogeneous structural-and-phase state, high mechanical properties of both base metal and welded joint are covered. Comparison study of a number of Russian and foreign titanium alloys is carried out. Advantages of the titanium alloy BT23 are established in mechanical, processing and economic characteristics. Prospective application fields of the alloy BT23 are given.

**High-temperature strength of the steam pipes welds defected in the weld metal. Part 2: Bench test results of the defected full-scale welded pipe models.** Khromchenko F. A., Fedoseyenko A. V. P. 9—13.

On basis of the bench-test results of steam conduit welded piped models 219×28 in diameter from steel 12X1MΦ at base run of  $2 \cdot 10^5$  hours under creepage conditions at 545 °C and tension stress of 80 Mega Pascal, it is shown that permissible depth of the crack in the welded joint is 5,7 mm.

**Production of composite materials of preset heat conductivity by explosion welding.** Ogolikhin V. M., Shemelin S. D. P. 14—17.

Method of analysis is suggested using nomogram of heat resistance of composite multilayer sheet materials. At the structural design stage the method allows efficiently select materials with required properties due to thickness ratio of the starting materials in the composite. Availability of sheet multilayer materials, pertaining wide range of properties on strength and heat conductivity, by explosion welding is acknowledged.

**Ensuring characteristic stability of conditions at resistance-spot welding.** Sidorov V. P. P. 18—22.

The GOST 15878—79 requirements for cast nugget diameter tolerance at resistance-spot welding are analyzed. It is established that thickness of the welded components has significant influence on the general requirements for the accuracy of conditions maintenance. Method of applying welding conditions contours with respect to nominal and minimal nugget area allowing for choosing optimal determination concept for the welding conditions permissible deviation is suggested. Results of conditions accuracy determination using different approaches are given. Methodology accounting for functions of uncontrollable process characteristics at determining required accuracy of the conditions maintenance is suggested.

**Brazing units from heat-resistant materials at operating temperature up to 1800 °C.** Lysenko L. D., Shabalina Ye. V. P. 22—23.

Brazing procedure of a unit from molybdenum and tungsten alloy BP-20 through nickel coat applied by electron-beam tech-

nique is worked out. Obtained joint is tantamount in properties to the unit component high-melting metals at the operating temperature of 1800 °C.

**Development and actual experience with ceramic flux ФKH-7 at reconditioning components of the consist equipment.** Volobuyev Yu. S., Surkov A. V., Volobuyev O. S., Kipiani P. N., Shestov D. V., Pavlov N. V., Savchenko A. I. P. 24—26.

Ceramic flux based on the  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  slag system of 1,26 basic capacity is developed. Flux tests took place at wire Св-08ХГ2СМΦ automatic build-up of wag wheels flanges, truck bolsters and freight stock centre plates. Flux ФKH-7 ensures good formation of wear-resistant weld metal of fine-grained sorbitic structure and of wire alloying componentry minimal expulsion. Ceramic flux consumption is 30—40 per cent reduced as compared to the fused flux AH-348A.

**Technology of the basalt-based powder used at thermal spray antiwear coating.** Kalashnikova I. A., Kalashnikov A. V. P. 26—29.

Technology of basalt-based powders used at thermal spray antiwear coating is developed. Qualitative powder yield of 150—250 micrometer fraction is 63,97 per cent. Shelf life exceeds 8 years.

**Polyethylene tubes flash contact welding at low ambient temperature. Part 2: Study of the cooling process.** Starostin N. P., Ammosova O. A. P. 31—34.

Possibility of cooling speed governing in the area of the weld structural changes due to thermal enclosure dimensions variation is shown by cooling action theoretical modelling at polyethylene tubes welding. The enclosure dimensions are determined which ensure necessary cooling rate in the range of low ambient temperature.

**Heat treatment and welding of heterogeneous steels.** Chertov V. M. P. 34—35.

Heat treatment and welding serial techniques of high-tensile heterogeneous steels are developed and applied practically. In the process one part of the product is manufactured from practically feasible non-scarce chromium rust-resisting steel of martensitic class, the other one is produced from practically feasible non-scarce steel of pearlitic class. Welding is conducted by applying alloyed wire. As-welded and tempering weld metal has the structure of annealed bainite. Under this method of manufacturing product strength and corrosion resistance requirements are ensured.



*Уважаемые читатели!*

Оформить подписку на свой профессиональный журнал

"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

**Подписные индексы:**

70807 — в каталоге Агентства "Роспечать";

27860 — в Объединенном каталоге;

60256 — в каталоге "Почта России".



## В. П. Лялякину — 70 лет



Исполнилось 70 лет ведущему ученому в области разработки технологии и оборудования для восстановления и упрочнения деталей машин, заместителю директора по научной работе Государственного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка" (ГОСНИТИ), д-ру техн. наук Валентину Павловичу Лялякину.

В. П. Лялякин родился 9 августа 1938 г. в деревне Вильцово Суздальского района Владимирской области.

После окончания в 1964 г. Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства В. П. Лялякин работал инженером-механиком и главным инженером на Калужской государственной сельскохозяйственной опытной станции. В 1966 г. В. П. Лялякин перешел в ГОСНИТИ, где работал до 1979 г. инженером, старшим инженером, заведующим группой. С 1979 по 2003 гг. трудовая деятельность Валентина Павловича связана с ВНПО "Ремдеталь": вначале его назначили заведующим лабораторией, затем заместителем директора, а с 1993 по 2003 г. генеральным директором.

В 1976 г. В. П. Лялякин защитил кандидатскую диссертацию, в 1996 г. — докторскую.

С 2003 г. по настоящее время В. П. Лялякин — заместитель директора ГНУ ГОСНИТИ.

Разработки В. П. Лялякина в области технологии дефекации и восстановления коленчатых валов внедрены на 74 предприятиях. Выполненные исследования по ста-

рению ресурсосберегающих деталей двигателей, полученные данные по изменению усталостной прочности, твердости, наличия трещин являются фундаментальными и используются при разработке методов восстановления деталей. Большинство изобретений В. П. Лялякина внедрены в производство.

При участии В. П. Лялякина значительно увеличилось число разработок по созданию ремонтно-технологического оборудования и технологических процессов. В. П. Лялякиным проведена большая организаторская работа по повышению эффективности изобретательской деятельности института.

В. П. Лялякиным создана научная школа по восстановлению и упрочнению деталей машин сельскохозяйственной техники. Под его непосредственным научным руководством пять аспирантов защитили кандидатские диссертации.

Развитие научной школы по восстановлению и упрочнению деталей нашло отражение в ведущих вузах страны. Так, при непосредственном участии В. П. Лялякина созданы научные подразделения в Мордовском государственном университете, Башкирском ГАУ, Пензенской аграрной академии, которые ведут совместную работу с ГНУ ГОСНИТИ по исследованию и разработке новых технологий и оборудования для восстановления деталей.

В. П. Лялякин — автор 170 научных трудов, в том числе 19 книг и брошюр, более 20 авторских свидетельств и патентов на изобретение.

В 1986 г. В. П. Лялякин был удостоен премии Совета Министров СССР за разработку и широкое внедрение комплектов оборудования для ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей газопламенной наплавкой.

В. П. Лялякин ведет большую педагогическую деятельность, он является профессором кафедры "Технология обработки материалов" МГТУ им. Н. Э. Баумана, где читает курс лекций по восстановлению деталей.

Известна общественная деятельность Валентина Павловича: он является членом экспертного совета ВАК, заместителем председателя диссертационного совета ГОСНИТИ, членом редколлегии журналов "Сварочное производство" и "Технология машиностроения".

*Сердечно поздравляем Валентина Павловича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов!*

**ГНУ ГОСНИТИ,  
редколлегия и редакция  
журнала "Сварочное производство"**

---

**Издательский центр "Технология машиностроения"**

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 14.07.2008. Подписано в печать 21.08.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага мел. имп. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 10,72. Заказ 17/08.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

**Подписные индексы журнала "Сварочное производство":**

**70807** в каталоге Агентства "Роспечать"; **27860** в Объединенном каталоге "Пресса России"; **60256** в каталоге "Почта России".