



Учредители: Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е. О. Патона
Международная ассоциация «Сварка»

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН
Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
В. Ф. Грабин, А. Т. Зельниченко,
А. Я. Ищенко, И. В. Кривцун,
С. И. Кучук-Яценко,
Ю. Н. Ланкин,
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, В. Ф. Мошкин,
О. К. Назаренко, И. К. Походня,
И. А. Рябцев,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Н. П. Алешин (Россия)
Б. Брейтвейт (Великобритания)
Д. фон Хофе (Германия)
К. Буше (Франция)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
Т. Игар (США)
К. Иноуэ (Япония)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Чжан Янмин (Китай)
В. К. Шелег (Беларусь)

Адрес редакции:
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623
Факс: (38044) 528 0486
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:
Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина

Электронная верстка:
И. С. Баташева, А. И. Сулима,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

Журнал входит в перечень
утвержденных ВАК Украины изданий
для публикации трудов соискателей
ученых степеней.
При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.
За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.

Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Махненко В. И., Гарф Э. Ф., Римский С. Т., Галинич В. И., Махненко О. В., Юхимец П. С., Бубнов В. М., Тусиков Е. К., Варенчук П. А. Проект сварной наддрессорной балки тележек грузовых вагонов	3
Стеренбоген Ю. А., Васильев Д. В., Демченко Э. Л., Новикова Д. П. Роль пиковых напряжений в образовании холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся сталей	11
Ющенко К. А., Червяков Н. О., Калина П. П. Энергетические характеристики малоамперных дуг	21
Борисов Ю. С., Кислица А. Н., Войнарович С. Г. Особенности процесса микроплазменного напыления с использованием проволоочных материалов	26

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Гехани М. Л. Сварочное производство Индии: современное состояние и перспективы	32
Лопота В. А., Туричин Г. А., Валдайцева Е. А., Малкин П. Е., Гуменюк А. В. Компьютерная система моделирования электронно-лучевой и лазерной сварки	36
Кисилевский Ф. Н., Долиненко В. В., Никифоров А. Ю. Применение объектно-ориентированного проектирования при разработке АСУТП сварки	40
Матвеев В. В. Экономическая эффективность восстановления профиля железнодорожных колес	44
Квасницкий В. Ф., Костин А. М., Романчук Н. П., Чернов С. К. Эффективные организационные структуры подготовки специалистов сварочного производства для судостроения	48

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали	50
Лебедев В. А., Притула С. И. Современные механизмы подачи электродной проволоки в аппаратах для механизированной сварки, наплавки и резки	53
Новости	56
Диссертация на соискание ученой степени	59
Патенты в области сварочного производства	60
По зарубежным журналам	62
Новая книга	65

ХРОНИКА

11-я Международная научно-техническая конференция «Леотест-2006»	66
--	----

ИНФОРМАЦИЯ	68
------------------	----

Разработано в ИЭС	20
-------------------------	----

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 4 (636)

April 2006

Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

Founders: *The National Academy of Sciences of Ukraine*
The E. O. Paton Electric Welding Institute
International Association «Welding»

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B.E.PATON

Yu. S. Borisov, N. M. Voropai,
V. F. Grabin, A. T. Zelnichenko,
A. Ya. Ishchenko, I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko,
Yu. N. Lankin,
V. K. Lebedev (vice-chief ed.),
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenko, V. F. Moshkin,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
I. A. Ryabtsev,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
B. Braithwaite (UK)
C. Boucher (France)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Dilthey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
T. Eagar (USA)
K. Inoue (Japan)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
Zhang Yanmin (China)
V. K. Sheleg (Belarus)

Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23
Fax: (38044) 528 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushchina
Electron galley:
I. S. Batasheva, A. I. Sulima,
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

This publication and each of the articles
contained here in are protected
by copyright.

Permission to reproduce material
contained in this journal must be obtained
in writing from the Publisher.

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Makhnenko V. I., Garf E. F., Rimsky S. T., Galinich V. I., Makhnenko O. V., Yukhimets P. S., Bubnov V. M., Tusikov E. K., Varenchuk P. A.** Design of welded bogie bolsters of freight cars 3
- Sterenbogen Yu. A., Vasiljev D. V., Demchenko E. L., Novikova D. P.** Role of peak stresses in the cold crack formation in welded joints of quenching steels 11
- Yushchenko K. A., Chervyakov N. O., Kalina P. P.** Power characteristics of low-ampere arcs 21
- Borisov Yu. S., Kislitsa A. N., Voinarovich S. G.** Peculiarities of process of microplasma spraying using wire materials 26

INDUSTRIAL

- Gehani M. L.** Welding industry in India: state-of-the-art and prospects 32
- Lopota V. A., Turichin G. A., Valdaitseva E. A., Malkin P. E., Gumenyuk A. V.** Computerized system of modeling of electron beam and laser welding 36
- Kisilevsky F. N., Dolinenko V. V., Nikiforov A. Yu.** Application of object-oriented designing in development of CAD-welding 40
- Matveev V. V.** Economical efficiency of restoration of railway wheel profile 44
- Kvasnitsky V. F., Kostin A. M., Romanchuk N. P., Chernov S. K.** Effective organizational structures for training specialists in welding for ship building 48

BRIEF INFORMATION

- Kondratjev I. A., Ryabtsev I. A., Chernyak Ya. P.** Flux-cored wire for hardfacing the layer of maraging steel 50
- Lebedev V. A., Pritula S. I.** Updated mechanisms of electrode wire feed in machines for mechanized welding, surfacing and cutting 53
- News 56
- Thesis for scientific degree 59
- Patents in the field of welding 60
- Review of foreign journals 62
- New book 65

NEWS

- 11th International Scientific-Technical Conference «Leotest-2006» 66

INFORMATION 68

- Developed at the PWI 20

Journal «Avtomaticheskaya Svarka» is published in English under the title «The Paton Welding Journal».
Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact the editorial board.



ПРОЕКТ СВАРНОЙ НАДРЕССОРНОЙ БАЛКИ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **Э. Ф. ГАРФ**, д-р техн. наук, **С. Т. РИМСКИЙ**, **В. И. ГАЛИНИЧ**,
О. В. МАХНЕНКО, **П. С. ЮХИМЕЦ**, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. М. БУБНОВ, д-р техн. наук, **Е. К. ТУСИКОВ**, инж. (ОАО «Азовмаш»),
П. А. ВАРЕНЧУК, инж. (НИЦ «Патон-Азовмаш»)

Рассмотрена возможность создания сварной наддрессорной балки тележек грузовых вагонов как альтернатива традиционной литой. Показано, что создание сварной конструкции, для которой определяющей является циклическая нагрузка, требует комплексного подхода, базирующегося на разработке оптимальных конструктивных решений узлов и технологии изготовления.

Ключевые слова: сварка, сварные соединения, наддрессорная балка, долговечность, напряженно-деформированное состояние, концентрация напряжений, защитные окислительные газы, режимы сварки, погонная энергия, механические свойства, микроструктура, неметаллические включения, игольчатый феррит

В настоящее время в странах СНГ в тележках грузовых вагонов используются наддрессорные балки из стального литья. Производство литых балок характеризуется высокой степенью вероятности образования внутренних дефектов, а следовательно, нестабильностью показателей прочности, особенно при циклическом нагружении. До последнего времени в Украине отсутствовало собственное производство наддрессорных балок несмотря на значительный объем производства в стране подвижного грузового состава, для оснащения которого наддрессорные балки закупали за рубежом. В этой связи на предприятии «Азовмаш» была предпринята попытка создать наддрессорную балку в сварном исполнении.

Создание наддрессорных балок новых конструкций для подвижного состава железных дорог регламентируется соответствующими нормами [1], предусматривающими определенный объем и порядок проведения испытаний. При создании сварных изделий особое внимание следует уделять сопротивлению циклическим нагружениям, которое является фактором, определяющим массу, а следовательно, и экономические показатели балки. С позиций циклического нагружения регламентом предусмотрено два этапа испытаний: проведение сокращенных ускоренных испытаний на усталость, а при положительных результатах — полных испытаний на усталость.

На стадии разработки новой конструкции наддрессорной балки используются ускоренные испытания на изгиб с переменной нагрузкой за цикл $P_{\max} = 800$ кН и $P_{\min} = 100$ кН.

Допускаемая циклическая долговечность наддрессорной балки $[N]$ принимается равной $1 \cdot 10^6$ циклов, т. е. при ускоренных испытаниях на усталостную долговечность до образования макротрещины длиной 10...50 мм она должна превысить 1 млн циклов нагружения.

Вариант сварной конструкции наддрессорной балки из низколегированной стали марки 09Г2С разработан Главным специализированным конструкторским бюро вагоностроения (ГСКБВ) ОАО «Азовмаш» (рис. 1).

Анализ напряженно-деформированного состояния балки, выполненный с использованием метода конечных элементов, выявил наличие локальных зон с повышенным уровнем напряжений (рис. 2). Как видно из рисунка, эти зоны расположены преимущественно в местах перегибов нижнего пояса у края балки. С целью снижения уровня напряжений в этих местах стенку у балки усиливали с помощью дополнительной накладки. В целом наддрессорная балка имела ряд конструктивно-технологических недостатков, вследствие которых создавалась высокая концентрация напряжений и снижалось ее сопротивление усталости. К ним в первую очередь следует отнести наличие накладок, ребер, технологических подкладных элементов и пр.

Ускоренные циклические испытания наддрессорных балок, изготовленных по данному проекту, проводил испытательный центр «Азовмаш-тест». Зарождение первой макротрещины зафиксировали при $N = 443000$ цикл нагружения. Трещина образовалась в окончании ребра, приваренного к нижнему поясу. При дальнейших испытаниях очагами зарождения новых трещин стали места окончания ребер и накладок. Всего в процессе испытаний выявили семь очагов зарождения усталостных трещин. Наддрессорная балка разрушилась при $N = 735000$ цикл нагружения.

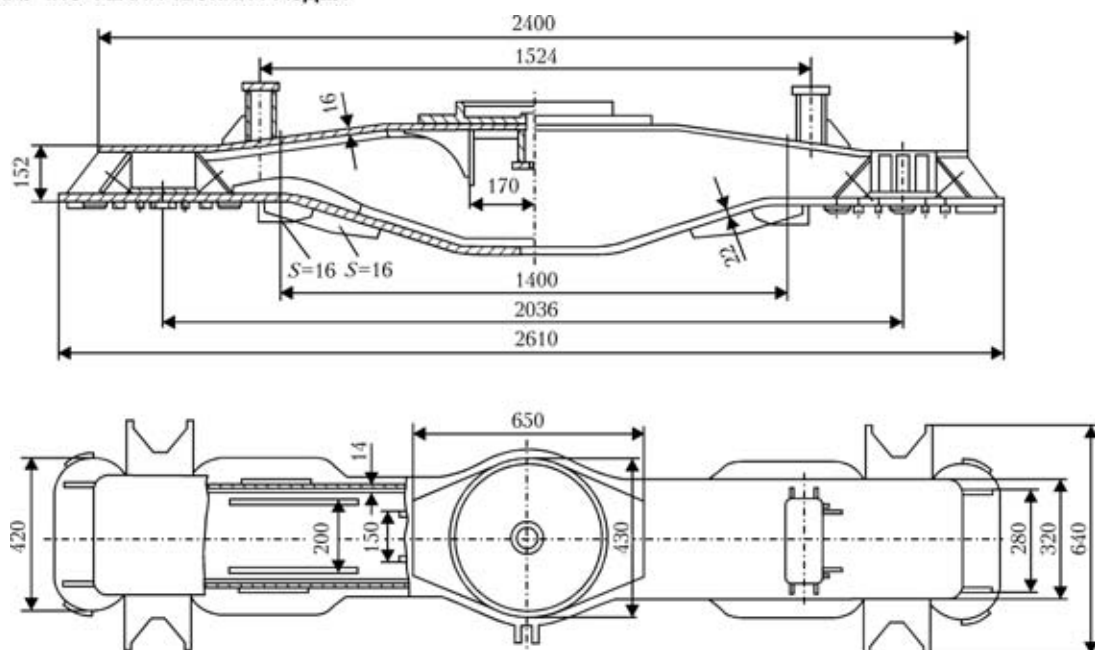


Рис. 1. Исходный вариант сварной конструкции надрессорной балки тележек грузовых вагонов (S — толщина ребра)

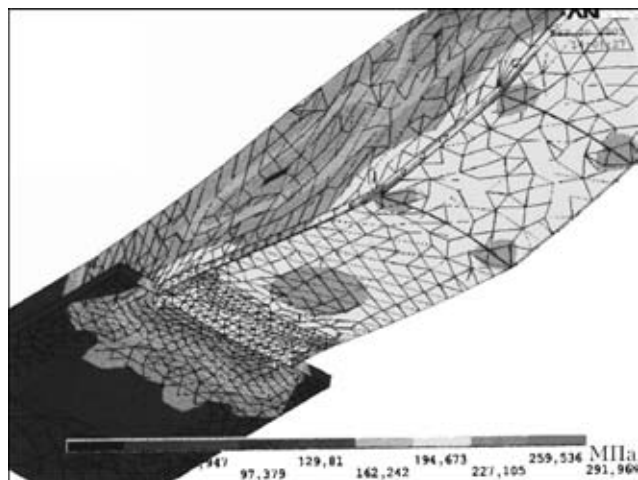


Рис. 2. Распределение напряжений в надрессорной балке, полученное методом конечных элементов

Исходя из конструктивных решений сварных узлов балки, а также фактической долговечности до зарождения усталостных макротрещин, с помощью расчета определили уровень циклических напряжений, соответствующих этой долговечности.

Учитывая, что при расчетах на усталость преимущественно используют номинальные напряжения, на рис. 3 приведены эпюры изгибающих моментов и соответственно напряжений в нижнем (растянутом) и верхнем (сжатом) поясах надрессорной балки. На эпюрах напряжений в скобках приведены значения максимальных напряжений $\sigma_{\max}$, учитывающих коэффициент асимметрии цикла, без скобок — размахи циклических напряжений $2\sigma_a$.

Результаты расчета на выносливость балки, выполненного согласно [2], показали, что в данной конструкции надрессорной балки максималь-

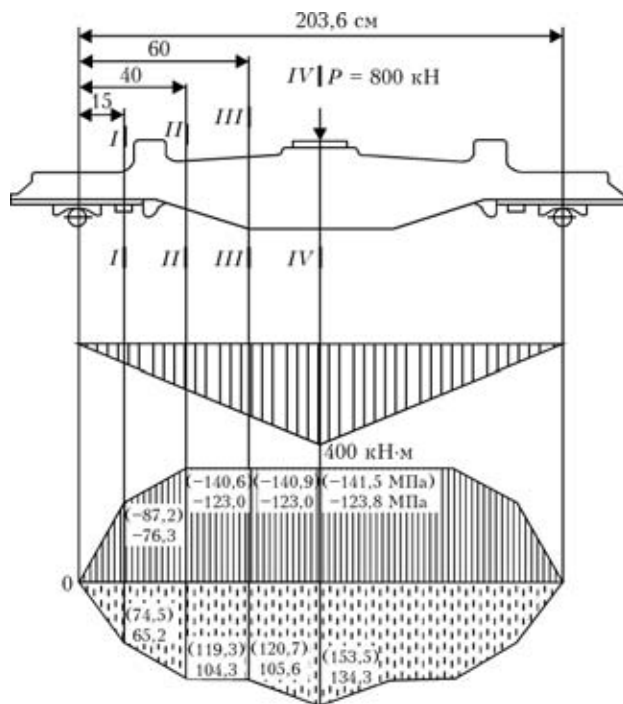


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений на наружной поверхности надрессорной балки: I–IV — сечения участков балки (остальные объяснения см. в тексте)

ные напряжения $\sigma_{\max}$ на базе $1 \cdot 10^6$ циклов нагружения равны 110,1 МПа, а на базе 443000 циклов нагружения (что соответствует зарождению усталостной трещины) — 130,3 МПа. Поскольку расчет заведомо должен обеспечить определенный уровень запаса прочности конструкции, можно констатировать, что в данном примере корректность методики расчета [2] подлежит сомнению, так как в зоне циклического разрушения значения фактических напряжений не превышали 121 МПа.



В этой связи расчет на усталость данной конструкции наддрессорной балки был выполнен также по другим методикам, используемым в машиностроении и строительстве, в частности, по методике, разработанной в Институте машиноведения РАН и Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины [3–5]. Полученные результаты показали, что для рассматриваемой конструкции наддрессорной балки долговечность при $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения обеспечивается в случае, если значения напряжений не превышают 71,1 МПа, а при $N = 4,43 \cdot 10^5$ цикл нагружения напряжение составляет 92,0 МПа. Использование рекомендаций МИС [6] при расчете на усталость дает следующий результат: при $N = 1 \cdot 10^6$ цикл $\sigma_{\max} = 71,7$ МПа, а при $N = 443000$ цикл $\sigma_{\max} = 94$ МПа. Как видно, результаты, полученные по двум последним методикам, весьма близки и с учетом различия между расчетными и предельными напряжениями для заданной долговечности балки согласуются с результатами испытаний. Следовательно, при разработке конструкции наддрессорной балки рекомендуется использовать именно эти методики. Кроме того, результаты испытаний показали, что появление усталостных трещин наблюдали в зоне сечений наддрессорной балки II–II и III–III (см. рис. 3), где уровень растягивающих циклических напряжений существенно ниже, чем в сечении IV–IV. Это еще раз доказывает, что уровень напряжений является не единственным фактором, влияющим на сопротивление усталости. Конструктивные решения могут оказывать не меньшее влияние на долговечность изделия. Поэтому при создании сварной наддрессорной балки с экономически оправданными показателями и имеющей необходимый уровень надежности прежде всего следует стремиться использовать конструктивные решения, при кото-

рых достигается высокое сопротивление усталости. Для решения этой задачи необходимо предпринять следующее:

максимально упростить конструкцию балки, отказавшись от дополнительных элементов, уменьшив сечение сварных швов и объем наплавленного металла;

снизить концентрацию напряжений в конструкции балки, при этом особое внимание обратить на элементы и узлы с высоким уровнем растягивающих напряжений. В связи с этим следует исключить ребра и накладки, а стыковые и угловые швы выполнять с полным проплавлением. В стыковых соединениях растянутых элементов целесообразно снять усиление сварных швов, отказаться от применения подкладок, обеспечив с помощью специальных технологических приемов полное проплавление и обратное формирование швов. Угловые швы в растянутой зоне балки должны иметь вогнутую форму. Необходимо исключить подрезы в поперечных растянутых стыках;

для наиболее нагруженных стыковых сварных соединений следует предусмотреть 100%-й неразрушающий контроль качества физическими методами;

максимальные растягивающие напряжения в зоне сварных соединений балки от расчетной нагрузки не должны превышать расчетные сопротивления циклическому нагружению на базе $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения. При этом оценку сопротивления усталости следует выполнять с применением традиционных методик.

Изложенные выше положения в значительной степени воплощены в проекте 1690.00.010-6СБ, разработанном ГСКБВ ОАО «Азовмаш» (рис. 4).

Распределение напряжений в растянутом и сжатом поясах наддрессорной балки показаны на

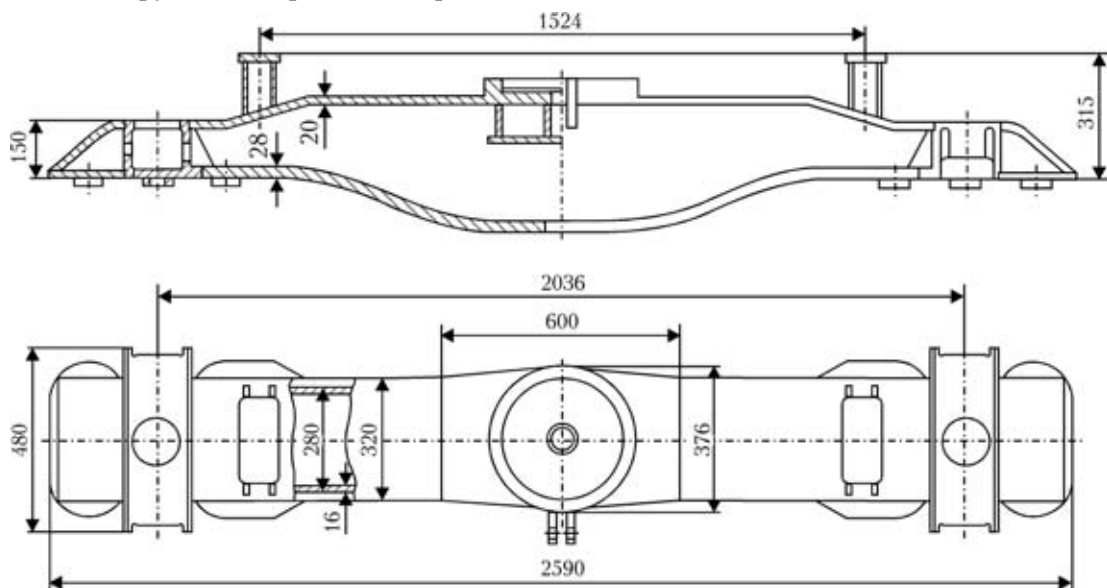


Рис. 4. Рекомендуемый вариант сварной конструкции наддрессорных балок тележек грузовых вагонов

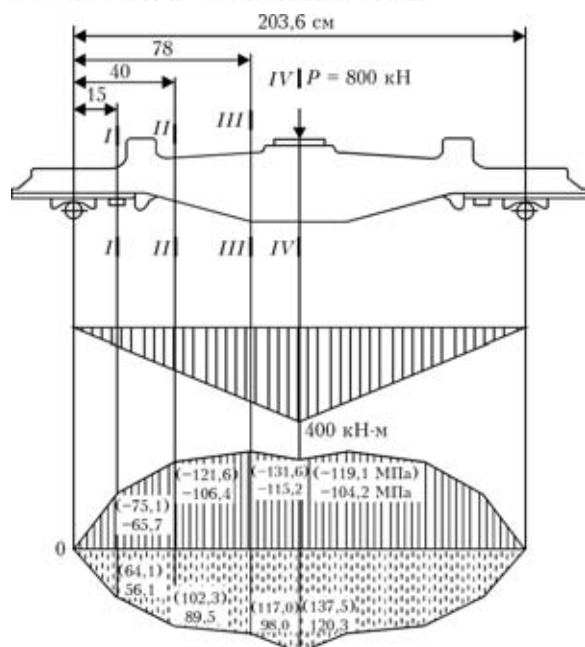


Рис. 5. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений на наружной поверхности надрессорной балки рекомендуемого варианта

рис. 5. За счет увеличения сечения поясов и стенок балки размахи напряжений и максимальные напряжения цикла снижены на 7...15 %. Вместе с тем, расчетные сопротивления существенно повышены за счет совершенствования конструкции надрессорной балки. Характерными сварными соединениями в данном случае являются стыковые соединения поясов и соединения поясов с ребрами. Для этих типов соединений по методикам Института машиноведения РАН и ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины максимальные значения напряжений на базе $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения составляют соответственно 153 и 288 МПа (по рекомендациям МИС соответственно 143 и 180 МПа). Как видим, указанные значения напряжений выше тех, которые имеют место в сварной надрессорной балке, а следовательно, гарантируют требуемый уровень долговечности.

Вместе с тем, реализация разработанной конструкции балки на практике возможна только при высоком технологическом уровне изготовления, и прежде всего сборочно-сварочных работ. В этой связи особое внимание уделили разработке технологии сварки надрессорных балок.

Выбор технологического процесса сварки осуществляли исходя из следующих положений: подвижный железнодорожный состав эксплуатируется в широком диапазоне температур, динамических нагрузок и других неблагоприятных факторов; оптимальное сочетание показателей механических свойств металла сварного шва определяется его микроструктурой [7, 8]. Последняя в значительной степени зависит от химического состава металла, а также таких технологических

факторов, как термический и деформационный циклы сварки, форма разделки, тип сварного соединения и др.

Известно, что одним из возможных путей совершенствования процесса сварки стали плавящимся электродом в защитных газах (наряду с такими эффективными решениями, как применение сварки порошковыми и активированными проволоками, а также источников питания и сварочной аппаратуры с характеристиками, которые обеспечивают управление плавлением и переносом электродного металла) является использование смесей защитных газов вместо углекислого газа. Варьируя состав газовой среды, можно успешно решать многие технологические задачи. Наиболее перспективной, с точки зрения сочетания высоких сварочно-технологических и экономических показателей, является смесь аргона с окислительными защитными газами (O_2 , CO_2) [6, 8–10].

При разработке технологии и техники сварки надрессорной балки установлено, что оптимальной исходя из требований к защитному газу является смесь $Ar + 25 \% CO_2$. Особенно ярко технологические преимущества этой смеси проявляются в диапазоне режимов сварки, обеспечивающих мелкокапельный перенос электродного металла. Поверхность швов при этом получается мелкочешуйчатой и напоминает поверхность швов, выполненных под флюсом. Разбрызгивание и набрызгивание электродного металла происходило в 3...4 раза меньше, чем при сварке в углекислом газе.

При сварке низколегированных конструкционных сталей в окислительных защитных газах (CO_2 и смеси $Ar + CO_2$) обычно используют электродные проволоки Св-08Г2С и Св-08ГС, легированные кремнием и марганцем (по ГОСТ 2246–70). Однако несмотря на то, что их применение разрешено многими нормативными документами, металл швов, выполненных с использованием указанных проволок, не всегда имеет требуемые показатели ударной вязкости при отрицательных температурах, а также необходимый уровень трещиностойкости [9]. В связи с этим следует определить условия сварки надрессорной балки, при которых использование серийных сварочных проволок будет обеспечивать требуемый уровень хладостойкости швов.

Хладостойкость металла швов, выполненных на низколегированной стали 09Г2С (по ГОСТ 5520–78), оценивали по температуре перехода в хрупкое состояние, соответствующей уровню ударной вязкости 47 Дж/см^2 на образцах с острым надрезом (типа XI по ГОСТ 6996–66). Образцы вырезали из верхней части сварных стыковых соединений; надрез наносили в поперечном сечении шва от корня к вершине.



Таблица 1. Химический состав используемых сварочных материалов и металла швов, мас. %

Объект анализа	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	[O]	[N]	[H]
Основной металл — сталь 09Г2С толщиной 20 мм	0,091	0,67	1,61	0,024	0,021	0,05	0,05	0,05	—	—	—
Электродная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм	0,12	0,90	2,06	0,020	0,019	0,09	0,04	0,020	—	—	—
Металл шва при сварке:											
в CO ₂	0,095	0,50	1,40	0,022	0,020	0,08	0,04	0,035	0,067	0,011	0,00013
в смеси Ar + 25 % CO ₂	0,084	0,58	1,45	0,024	0,021	0,11	0,06	0,050	0,032	0,010	0,00016

Таблица 2. Механические свойства металла швов, выполненных сваркой на стали 09Г2С с применением проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм

Защитный газ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %
CO ₂	397...469 430	535...600 577	26,3...30,2 27,2	60,5...68,0 67,0
Ar + 25 % CO ₂	473...485 480	590...630 610	27,0...29,5 28,4	59,9...63,2 62,8

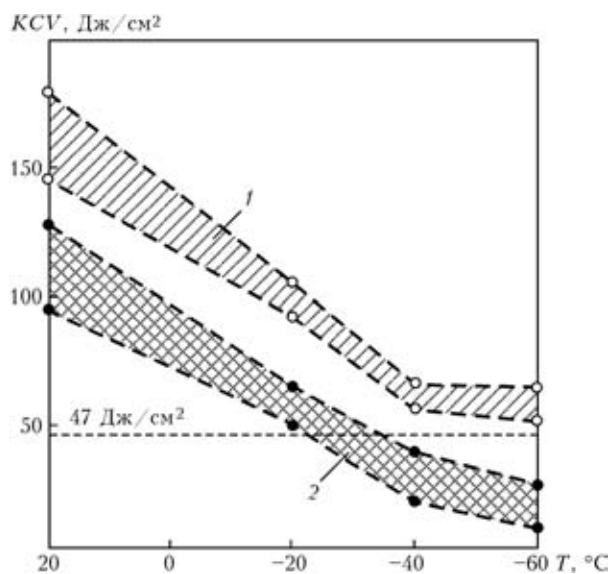
Примечание. В знаменателе приведены средние значения по результатам испытаний трех-пяти образцов.

Сварку выполняли в V-образную разделку кромок электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в углекислом газе и смеси Ar + 25 % CO₂ на следующем режиме: $I_{св} = 280...300$ А; $U_d = 28...30$ В; расход защитного газа 16...18 л/мин; вылет электрода $l_3 = 18...20$ мм. Скорость сварки изменяли в пределах от 15 до 50 см/мин, что соответствовало погонной энергии 10...35 кДж/см.

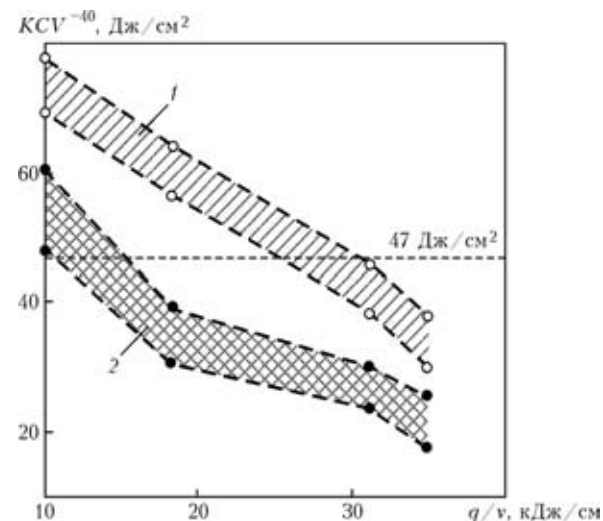
Химический состав металла швов приведен в табл. 1, а показатели механических свойств — в табл. 2.

Изменения значений ударной вязкости при различной температуре испытания в зависимости от условий сварки показаны на рис. 6–8. Полученные данные позволяют оценить условия, при которых наиболее четко проявляются тенденции к повышению хладостойкости металла швов.

Во-первых, существенную роль в обеспечении высоких показателей хладостойкости металла швов играет состав защитной газовой среды. При сварке в смеси Ar + CO₂ температура перехода в хрупкое состояние на 20...30 °С ниже, чем при сварке в углекислом газе (рис. 6–8). Такое улучшение показателей хладостойкости обусловлено более низким содержанием кислорода (табл. 1), что в свою очередь приводит к уменьшению объемной доли неметаллических включений в металле швов и более равномерному распределению мелкодисперсных включений [8, 10, 11], являющихся местами зарождения и эпитаксиального роста феррита при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении вследствие охлаждения металла в интервале температур 800...500 °С и формировании в нем конечной структуры игольчатого феррита [12].


 Рис. 6. Температурная зависимость ударной вязкости KCV металла швов, выполненных сваркой в смеси газов Ar + 25 % CO₂ (1) и углекислом газе (2) на стали 09Г2С при погонной энергии 19 кДж/см

Во-вторых, весьма действенным путем, обеспечивающим возможность повышения ударной вязкости металла швов, является снижение погонной энергии процесса сварки, что может быть достигнуто путем повышения скорости сварки при


 Рис. 7. Влияние погонной энергии сварки стали 09Г2С на ударную вязкость металла швов, выполненных сваркой в смеси газов Ar + 25 % CO₂ (1) и углекислом газе (2)

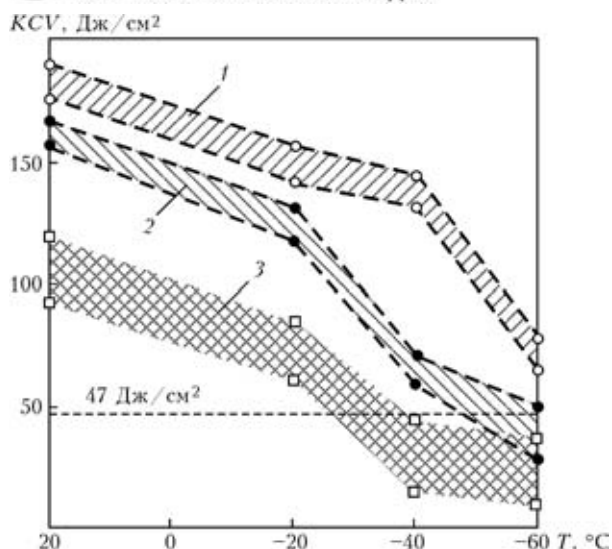


Рис. 8. Температурная зависимость ударной вязкости металла швов, выполненных на стали 09Г2С с использованием проволоки Св-08Г2С с различным содержанием серы: 1, 2 — 0,011; 3 — 0,022 мас. % S; O — сварка в смеси газов Ar + 25 % CO₂; ●, □ — в углекислом газе

неизменности остальных параметров процесса. В целом производительность сварочных работ практически не снижается, увеличивается лишь количество проходов, поскольку сечение каждого из них уменьшается. Термический цикл металла швов оказывается благоприятным для формирования структур типа игольчатого феррита, поскольку при этом повышается скорость охлаждения в интервале температур 800...500 °С.

И, в-третьих, весьма эффективным путем повышения хладостойкости металла швов является применение сварочных проволок с пониженным ($\leq 0,01$ мас. %) содержанием серы. Так, в одной из используемых в наших исследованиях проволок Св-08Г2С содержание серы составляло

0,01 мас. %. Ударная вязкость металла швов, выполненных этой проволокой, оказалась значительно выше, чем при использовании проволоки с содержанием серы около 0,02 мас. % (рис. 8).

При низком содержании серы сульфидная фаза в металле швов не образует на границах первичных аустенитных зерен сплошных протяженных пленочных выделений [13], которые при динамических нагрузках могут стать местами зарождения хрупких разрушений. Кроме того, при формировании окисульфидных включений сульфидная фаза не формирует сплошного слоя на поверхности оксидных включений, т. е. не дезактивирует эту поверхность, являющуюся местом эпитаксиального зарождения игольчатого феррита при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении во время охлаждения швов.

Таким образом, при сварке в защитных газах низколегированных сталей существующий ассортимент сварочных материалов (кремнемарганцевых проволок и защитных газов), а также комплекс технологических приемов позволяют выбирать такие варианты, при которых обеспечивается требуемый уровень хладостойкости металла швов наряду с оптимальным сочетанием других механических свойств.

Замена одного способа сварки другим всегда требует отработки технологии и техники сварки, а также оценки механических свойств и работоспособности сварных соединений. Результаты этих исследований в части сварки сталей в аргоновых смесях отражены в работах [7, 9, 10, 14].

Повышение пластичности, ударной вязкости и сопротивления возникновению разрушения швов, выполненных в смеси газов Ar + CO₂, можно объяснить тем, что основной структурной составляющей (70...75 об. %) здесь является мелкодисперсный игольчатый феррит (рис. 9, а), в котором

из-за наличия высокоугловых субзеренных границ развитие микротрещин происходит зигзагообразно [15]. Участки доэвтектоидного феррита и других структурных составляющих, охрупчивающих металл при низких температурах, разобщены и не образуют сплошной сетки по границам первичных аустенитных зерен. Швы, выполненные в углекислом газе (рис. 9, б), содержат больше доэвтектоидного феррита и значительно меньше (30...40 об. %) игольчатого.

Существенным фактором, влияющим на вязкость и пластичность шва, является также содержание и распределение в нем неметаллических включений. В швах, выполненных в смеси Ar + CO₂, содержание кислорода и связанная с ним объемная доля неметаллических включений в 2 раза ниже, чем при сварке в углекислом газе.

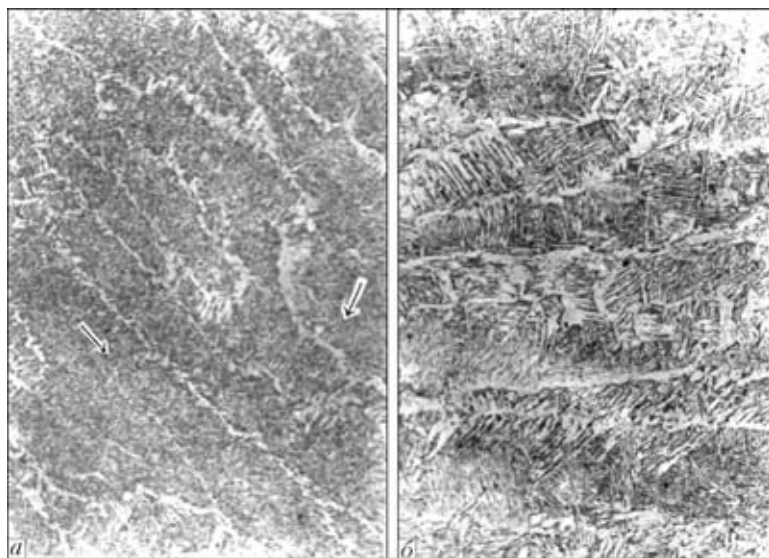


Рис. 9. Микроструктура (X200) металла швов, выполненных в смеси газов Ar + 25 % CO₂ (а) и углекислом газе (б); стрелками показаны участки игольчатого феррита



Кроме включений, видимых в оптический микроскоп, существуют и субмикроскопические включения, обнаруживаемые на экстракционных угольных репликах с помощью электронного микроскопа [8]. Эти включения в металле швов, выполненных в смеси $\text{Ag} + \text{CO}_2$, распределяются равномерно (рис. 10, б) и не образуют больших скоплений вокруг крупных (1...2 мкм) оксидных включений, как это имеет место в швах, выполненных в углекислом газе (рис. 10, г). Отсутствие значительных скоплений мелкодисперсных включений вблизи крупных оксидных включений обуславливает такой характер движения дислокаций при пластической деформации, при котором в условиях положительных и отрицательных температур повышается вязкость разрушения металла. Об этом свидетельствуют данные о плотности дислокаций, измеренной на фотографиях, которые получены при изучении тонких фольг на просвечивающем электронном микроскопе JEM-120. У металла швов, выполненных в смеси газов $\text{Ag} + \text{CO}_2$, плотность дислокаций составляет $3,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, а в углекислом газе — $5,0 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Кроме того, многочисленные распределенные равномерно субмикроскопические оксидные частицы могут стать зародышами феррита в аустенитной матрице при охлаждении [12]. В результате при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении создаются условия для возникновения дезориентированной мелкозернистой структуры игольчатого феррита, отличающейся высокими пластичностью, хладостойкостью и сопротивляемостью против развития хрупкого разрушения.

Повышение сопротивляемости хрупкому и вязкому разрушениям металла швов, выполненных в смеси газов $\text{Ag} + \text{CO}_2$, обусловлено повышением содержания игольчатого феррита, отсутствием крупных выделений фаз, охрупчивающих металл при отрицательных температурах, равномерным распределением неметаллических микроскопических и субмикроскопических включений. Наши данные и результаты других исследователей [16, 17] свидетельствуют о том, что показатели механических свойств и трещиностойкости металла швов, выполненных в газовых смесях на основе аргона, соответствуют требованиям, предъявляемым к соединениям и конструкциям, работающим в условиях отрицательных температур, динамических нагрузок и прочих неблагоприятных факторов.

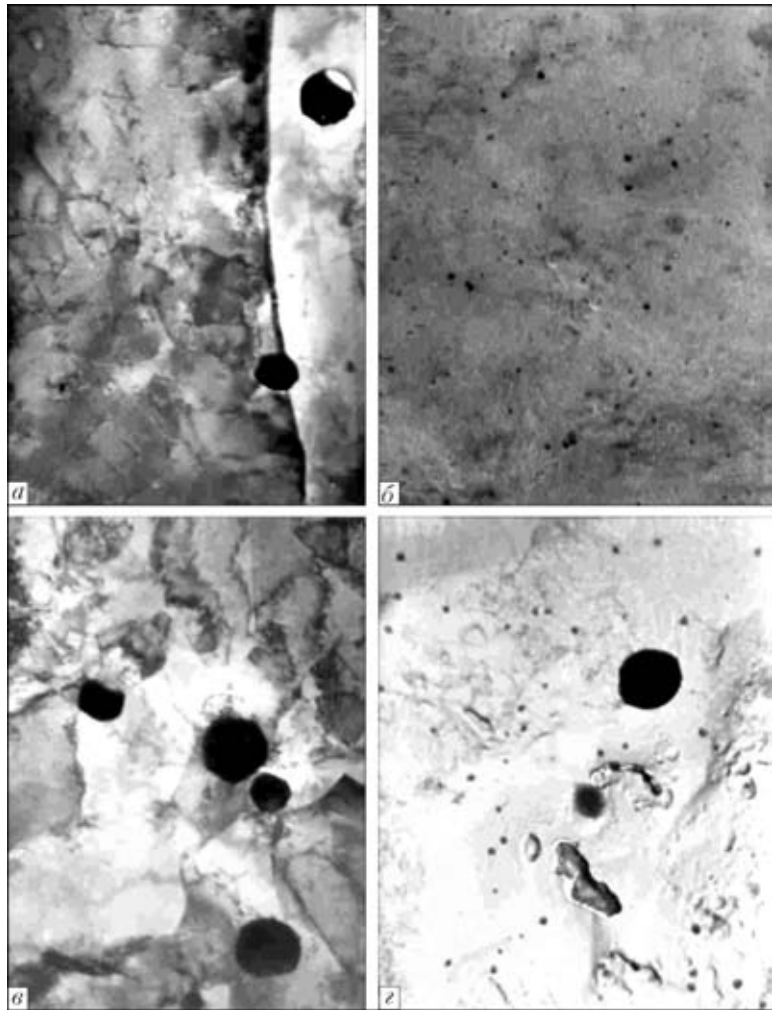


Рис. 10. Тонкая структура металла швов, выполненных в смеси $\text{Ag} + 25\% \text{CO}_2$ (а, б) и углекислом газе (в, г). Получена с использованием тонких фольг (а, в), $\times 1350$ и угольных экстракционных реплик (б, г), $\times 20000$

На ОАО «Азовмаш» в соответствии с разработанной технологией изготовлены два опытных образца надрессорных балок. Их испытания на усталость проводились Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта на оборудовании Южного машиностроительного завода. Для закрепления балок использовали силовой пол, а нагружение осуществляли с помощью гидроцилиндров. При испытании первой балки макротрещину длиной 30 мм обнаружили при 2745000 циклах нагружения, потеря несущей способности имела место при 2800000 циклах нагружения. Зарождение и развитие усталостной трещины произошло под действием нормальных напряжений, чем в значительной степени объясняется высокая скорость ее распространения.

Во второй балке после $6 \cdot 10^6$ циклов нагружений усталостная макротрещина обнаружена не была, поэтому испытания прекратили. Их результаты убедительно свидетельствовали о возможности создания сварных надрессорных балок.



Выводы

1. Разработанная сварная надрессорная балка тележек грузовых вагонов отвечает всем требованиям, предъявляемым к сварным конструкциям, эксплуатируемым при циклическом нагружении.

2. Рекомендуемая технология изготовления надрессорных балок основывается на выполнении сварки в смеси газов $Ag + 25\% CO_2$. Балки, изготовленные с использованием этой технологии, отвечают всем требованиям, предъявляемым к конструкциям, работающим в условиях отрицательных температур, динамических нагрузок и других неблагоприятных факторов.

3. Испытания опытных образцов показали, что сварные надрессорные балки обеспечивают требуемую долговечность, по прочностным и технико-экономическим показателям они не уступают литым и могут быть рекомендованы для проведения полных циклических испытаний.

1. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных).* — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1993. — 274 с.
2. *СНиП 11-23-81. Строительные нормы и правила / ЦИТП Госстроя СССР.* — М., 1988. — 96 с.
3. *Серенсен С. В., Козаев В. П., Шнейдерович Р. М.* Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / Под ред. акад. АН УССР С. В. Серенсена. — М.: Машгиз, 1963. — 452 с.
4. *Прочность сварных соединений при переменных нагрузках* / Под ред. В. И. Труфякова. — Киев: Наук. думка, 1990. — 256 с.
5. *Рекомендации по повышению сопротивления усталости сварных соединений несущих элементов строительных и дорожных машин / Ин-т электросварки им. Е. О. Патона АН УССР.* — Киев, 1978. — 72 с.
6. *Hobbacher A.* Recommendations for fatigue design of welded joints and components. — S. I., [2002]. — 154 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1539-96/XV-845-96).

The possibility of making welded freight bogie bolsters to compete with traditional cast ones is considered. It is shown that making of a welded structure, for which the cyclic load plays a decisive role, requires an integrated approach based on development of optimal designs of units and manufacturing technologies.

7. *Свещинский В. Г., Римский С. Т., Галинич В. И.* Сварка сталей в защитных газовых смесях на основе аргона в промышленности Украины // Автомат. сварка. — 1994. — № 4. — С. 41–44.
8. *Свещинский В. Г., Римский С. Т., Петров Ю. Н.* Особенности тонкой структуры металла швов, сваренных в защитных газах // Там же. — 1974. — № 8. — С. 5–8.
9. *Свещинский В. Г., Римский С. Т., Нерянов С. А.* Возможности повышения показателей хладостойкости швов при сварке низколегированных сталей в защитных газах кремнемарганцевыми проволоками // Сварочные материалы для механизированной дуговой сварки сталей: Материалы междунар. семинара (г. Никополь, окт. 1990 г.). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — С. 131–136.
10. *Опыт производственного применения защитных газовых смесей на основе аргона заводами В/О «Союзсталь-конструкция»* / Н. П. Рошупкин, Н. А. Близнеч, Н. М. Медведев и др. // Автомат. сварка. — 1984. — № 3. — С. 51–53.
11. *Abson D. J.* Non-metallic inclusion in ferritic steel welds metals — a review // Welding in the World. — 1989. — 27, № 3/4. — P. 76–101.
12. *Cochrane R. C., Kirkwood P. R.* The effect of oxygen on weld microstructure // Trends in steel and consumables for welding: Intern. conf., London, Nov. 14–16, 1978. — Cambridge: Welding Inst., 1979. — P. 103–122.
13. *Подгаецкий В. В., Парфессо Г. И.* Трещины сульфидного происхождения при сварке стали. — Киев: Наук. думка, 1977. — 149 с.
14. *Римский С. Т., Галинич В. И., Филинук И. Я.* Преимущества механизированной сварки конструкционных сталей в смесях защитных газов на основе аргона // Сварщик. — 2001. — № 5. — С. 6–7, 11.
15. *Kirkwood P. R.* New observations on microstructural and toughness control in low carbon weld metals. — S. I., [1977]. — 12 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II A-433-77).
16. *Haas B., Pomaska H. U.* Influence of process specific welding parameters on fume generation in solid wire GMA (MAG) welding // Proc. Collog. Welding and Health, Juli 8, 1980, Estoril. — Estoril, 1980. — P. 8.
17. *Vaidya V. V.* Shielding gas mixtures for semiautomatic welds // Welding J. — 2002. — № 9. — P. 43–48.

Поступила в редакцию 06.04.2005



ПРОМЫШЛЕННАЯ НЕДЕЛЯ 2006

17–20 октября 2006 г.

г. Киев

В рамках Промышленной недели 2006 состоятся специализированные выставки с международным участием:

- Шестая выставка «Кабель электромонтаж 2006»
- Шестая выставка «Сварка Украина 2006»
- Вторая выставка «Проволока канаты 2006»
- Вторая выставка «Инженерия поверхности 2006»
- Первая выставка «Листовой металл 2006»

В Промышленной недели будет проведена Первая международная конференция «Современные технологии в производстве металлических изделий».

Среди организаторов выставок — Украинская ассоциация «Укрэлектрокабель», Общество сварщиков Украины, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Ассоциация технологов-машиностроителей Украины, ГДС ЭКСПО, Торговый Дом «Сварка», Национальный Комплекс «Экспоцентр Украины».

Оргкомитет: ООО «ТДС-Экспо» 03680, Украина, г. Киев, пр-т Глушкова, 1, пав. 21

Тел./факс: (38044) 526-9376, 526-9184, 526-9374

E-mail: olga@welding.kiev.ua, seva@welding.kiev.ua, exhibit@welding.kiev.ua, www.weldexpo.com.ua



РОЛЬ ПИКОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Ю. А. СТЕРЕНБОГЕН, д-р техн. наук, **Д. В. ВАСИЛЬЕВ**, **Э. Л. ДЕМЧЕНКО**, инженеры,
Д. П. НОВИКОВА, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изложен анализ наиболее важных факторов, способствующих образованию холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся сталей. Показано, что наиболее важными составляющими, вызывающими образование холодных трещин, являются пиковые напряжения в свежезакаленной структуре металла и уровень содержания водорода в местах локальных пиковых напряжений.

Ключевые слова: пиковые напряжения, релаксация, микропластическая деформация, водород, замедленное разрушение, холодные трещины, остаточные напряжения, временные напряжения

Изготовление сварных конструкций из высокопрочных закаливающихся сталей вызывает определенные трудности из-за склонности сварных соединений к хрупкому разрушению. Это объясняется высокой вероятностью образования в металле ЗТВ сварного соединения таких дефектов, как холодные трещины.

Многие исследователи в своих работах отмечают три основных фактора, существенно влияющих на процесс образования холодных трещин: структурное состояние металла сварного соединения, характеризующее наличием составляющих мартенситного и бейнитного типа;

концентрация диффузионного водорода в зоне зарождения очага трещины;

уровень напряжений в сварном соединении.

В то же время взгляды исследователей на процесс образования зародышей трещин и их местоположение значительно отличаются. Так, М. Х. Шоршоров считает, что образование трещин замедленного разрушения по схеме Зинера не может достаточно хорошо объяснить этот процесс [1]. Схема Зинера, использованная С. С. Шураковым [2] и А. М. Макарой [3], объясняет возникновение значительных растягивающих напряжений и образование зародышевых трещин на участках зерен, примыкающих к стыку границ в результате пластического течения (сдвига по границам). Однако М. Х. Шоршоров [1] существенную роль в механизме образования зародышей трещин по границам зерен отводит стоку вакансий к зонам концентрации напряжений. Э. Л. Макаров [4] считает, что образование холодных трещин начинается с возникновения очага разрушения на

границах аустенитных зерен на участке металла ЗТВ, примыкающем к зоне сплавления.

Многие исследователи до настоящего времени придерживаются мнения о том, что чем меньше уровень остаточных напряжений в сварных соединениях закаливающихся сталей, тем меньше вероятность образования в них холодных трещин. Однако следует отметить, что в ряде случаев образование холодных трещин наблюдается и в сварных соединениях, выполненных в условиях, обеспечивающих минимальные остаточные напряжения, уровень которых существенно ниже критических [5]. Известно, что в ряде работ [6, 7] говорится о большом влиянии на процессы образования холодных трещин в стали, которая не подвергалась дальнейшей термообработке, так называемых пиковых напряжений. Так, в работе [6] показано, что с началом пластической деформации в свежезакаленной структуре металла могут возникнуть локальные пиковые напряжения, значительно превосходящие средние напряжения [8, 9], что может привести к зарождению и развитию трещин разрушения. Установлено также, что при нагружении образцов ниже макроскопического предела текучести в местах действия пиковых напряжений развивается микропластическая деформация, приводящая к релаксации этих напряжений и повышающая сопротивление хрупкому разрушению.

В работах [7, 9] отмечается, что в закаленной стали в результате сдвигового характера мартенситного превращения в микрообъемах возникают пиковые напряжения, уровень которых в местах локализации значительно превышает средний уровень остаточных напряжений. Локальные пиковые напряжения в основном создаются в местах встречи мартенситного кристалла с границей исходного аустенитного зерна, как следствие динамического удара быстрорастущего мартенситного кристалла



об эту границу [10]. Можно считать, что они являются основной причиной замедленного разрушения — разрушение закаленных сталей происходит под действием статического нагружения, уровень которого ниже предела текучести.

Образование локальных пиковых напряжений, вызывающих зарождение трещин, находит объяснение в описании механизмов дислокационных моделей, разработанных Коттреллом и другими авторами, например, Стро-Мотта [8]. Согласно последней перед различного рода препятствиями образуются плоские скопления скользящих дислокаций, в результате чего возникает сильная локальная концентрация напряжений, достаточная для образования трещины.

Таким образом, пиковые напряжения в свежезакаленной стали являются одной из основных причин образования локально расположенных зародышей холодных трещин.

Для обеспечения стойкости сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин важное значение имеют термический цикл сварки и состав сварочных материалов. Так, в случае применения сварочных материалов, близких по уровню легирования к основному металлу, для снижения отрицательного влияния перечисленных выше факторов сварка закаливающихся сталей выполняется с предварительным подогревом и последующей термообработкой. Однако указанные технологические операции трудоемкие и в ряде случаев неприемлемы (например, при сварке крупногабаритных корпусных конструкций). Поэтому в настоящее время для сварки указанных сталей широко применяются высоколегированные сварочные материалы, обеспечивающие аустенитный металл шва [11], что позволяет существенно повысить трещиностойкость, однако не обеспечивает равнопрочность сварных соединений. Для получения высокопрочного сварного соединения применяют сварочные материалы нового поколения, обеспечивающие высоколегированные мартенситные или аустенитно-мартенситные швы, которые по своим прочностным характеристикам не уступают основному металлу при сварке без подогрева и термообработки [12].

Влияние типа металла шва на структуру и свойства металла ЗТВ. Существуют различные версии о влиянии легирования металла шва, защитного покрытия и состава защитных газов на стойкость металла ЗТВ сварных соединений против образования холодных трещин.

При использовании сварочных материалов, обеспечивающих получение ферритных швов, наблюдается перегрев металла ЗТВ и сравнительно длительное время его пребывания в области температур интенсивной гомогенизации аустенита [13, 14]. Как следствие, существенно снижается

температура начала превращения переохлажденного аустенита в металле ЗТВ ($T_{\text{Мн}} < 250^\circ\text{C}$), что способствует образованию хрупких закалочных структур (мартенсит высокой степени тетрагональности, нижний бейнит, а также их смеси). Указанные отрицательные явления устраняются, как правило, путем предварительного подогрева и последующей термообработки сварного соединения. В случае использования для сварки высоколегированного аустенитного металла шва благодаря более низкой температуре его кристаллизации снижается уровень перегрева металла ЗТВ вследствие сокращения времени пребывания при высокой температуре. Это обстоятельство способствует большей неоднородности аустенита и тем самым вызывает повышение температуры начала его превращения.

В работах [15, 16] отмечается, что в процессе охлаждения аустенитного металла шва пластическая деформация нарастает непрерывно вплоть до температур, соответствующих началу мартенситного превращения в металле ЗТВ. Последнее вызывает активизацию превращения аустенита в металле ЗТВ и смещение температуры основного объема $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения в область более высоких температур, что способствует появлению в металле ЗТВ структур, стойких против образования холодных трещин (мартенсит отпуска, верхний бейнит, а также их смеси).

Высоколегированные низкоуглеродистые мартенситные и аустенитно-мартенситные сварные швы при охлаждении ведут себя аналогично аустенитным (обладая всеми их преимуществами), т. е. сохраняют при охлаждении аустенитную структуру до температур, более низких по сравнению с температурным интервалом структурных превращений в металле ЗТВ ($T_{\text{Мн}} < 200^\circ\text{C}$), что, как и в предыдущем случае, способствует смещению основной массы структурных превращений в металле ЗТВ в область высоких температур. В результате последующего $\gamma \rightarrow \alpha_{\text{м}}$ -превращения шов приобретает структуру, основной составляющей которой является высоколегированный низкоуглеродистый мартенсит, обеспечивающий шву высокую прочность ($\sigma_{\text{в}} \geq 1000 \text{ МПа}$). Кроме того, указанные превращения проходят с увеличением объема, что способствует частичной релаксации остаточных напряжений в сварном соединении.

Приведенные выше рассуждения основаны на данных, полученных различными методами исследования и методиками испытаний сварных соединений закаливающихся сталей. В качестве последних использовали пробы Тэккен, Лихайского университета, CTS, крестовую, RD, методику с внешней дополнительной нагрузкой (ЛТП), Имплант и др.

Недостатком приведенных выше методик является то, что они в основном отвечают на воп-



росы есть или нет трещины, оценивают их протяженность, а в некоторых методиках определяется критическое напряжение $\sigma_{кр}$, при котором сварные соединения не разрушаются в течение 20 ч их испытания. Отмеченные недостатки существующих методик оценки технологической прочности сварных соединений объясняют целесообразность разработки новых и дальнейшего усовершенствования существующих методик исследования кинетики формирования структуры и напряженного состояния сварного соединения, которые позволили бы получить новую информацию о факторах и характере их влияния на процессы, происходящие при образовании холодных трещин.

Новая методика исследования и испытания сварных соединений. По сравнению с существующими новая методика [17] имеет ряд отличий и позволяет:

- оценивать стойкость металла ЗТВ сварных соединений против образования холодных трещин с помощью нового количественного критерия — энергоемкости процесса разрушения;

- изучать кинетику фазовых превращений в металле шва и ЗТВ и характер изменения напряженно-деформированного состояния в процессе охлаждения сварного соединения;

- получать информацию о пластической деформации в зоне сплавления в процессе охлаждения сварного соединения;

- изучать влияние состава металла шва на величину временных и остаточных напряжений;

- оценивать характер влияния жесткости сварного соединения (при различных способах закрепления свариваемых образцов — в свободном состоянии или при жестком закреплении в нагружающем устройстве) на его стойкость против замедленного разрушения;

- оценивать влияние дополнительной нагрузки, приложенной при различных температурах в процессе охлаждения сварного соединения, на стойкость испытуемых образцов против замедленного разрушения.

Исследования стойкости сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин. Исследования, выполненные с использованием новой методики, позволили не только оценить результаты ранее выполненных работ [13, 14, 18], но и получить новую информацию об особенностях сварки закаливающихся сталей ферритно-перлитными, аустенитными и аустенитно-мартенситными сварочными материалами. Как отмечалось ранее, для повышения стойкости сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин во многих отраслях народного хозяйства нашли применение аустенитные сварочные материалы.

Целью настоящих исследований является оценка роли напряженно-деформированного состояния сварного соединения с учетом пиковых напряжений как одного из основных факторов, оказывающих влияние на механизм зарождения и развития холодных трещин в металле ЗТВ сварных соединений закаливающихся сталей.

Основное внимание в экспериментальных исследованиях [17, 19] было обращено на важную роль временных и остаточных напряжений, образующихся в процессе охлаждения сварного соединения. Установлено, что временные и остаточные напряжения определенного уровня оказывают выраженное положительное влияние на стойкость металла ЗТВ сварных соединений легированных сталей против образования холодных трещин.

Дальнейшие исследования были проведены на образцах закаливающихся сталей 12Х2Н3М, 15Х2Н4МДА, 14ХГН2МДАФБ, 30Х2Н2М со вставками из стали 30ХГСА, 12Х2Н3М, 15Х2Н4МДА, 14ХГН2МДАФБ и 30Х2Н2М. Механические свойства исследуемых сталей представлены в табл. 1. Сварку выполняли сварочными проволоками Св-10Х2ГСМА (ферритно-перлитной), Св-Х20Н9Г7Т (аустенитной) и опытными низкоуглеродистыми аустенитно-мартенситными порошковыми проволоками ПП-АНВП-60 (05Х13Н9М2ГСТ), ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ) и ПП-АНВП-100 (05Х10Н7ГСТ). Обозначения опытных проволок даны в соответствии с пределом текучести металла швов (600, 800 и 1000 МПа). Сварку опытных образцов выполняли механизированным способом в углекислом газе на следующем режиме: сварочный ток 280...300 А, напряжение на дуге 30...32 В, скорость сварки 8, 12 и 16 м/ч, что соответствовало скорости охлаждения металла ЗТВ 6,7, 10 и 14,5 °С/с в интервале температур 600...400 °С. Результаты испытаний исследуемых образцов на стойкость против замедленного разрушения приведены в табл. 2–8. В табл. 2 представлены результаты испытания образцов из стали 12Х2Н3М со вставками из этой же стали. Сварку выполняли на одинаковом режиме аустенитно-мартенситными электродными проволоками. Значения остаточных напряжений составили 40...70 МПа. На рисунке приведены графики фазовых превращений при сварке указанными проволоками (кривые 1–3). Образцы после испытания под нагрузкой $P =$

Таблица 1. Механические свойства исследуемых сталей

Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %
12Х2Н3М	600	800	20	60
14ХГН2МДАФБ	750	860	20	65
30ХГСА	1000	1100	15	25
15Х2Н4МДА	820	860	20	60

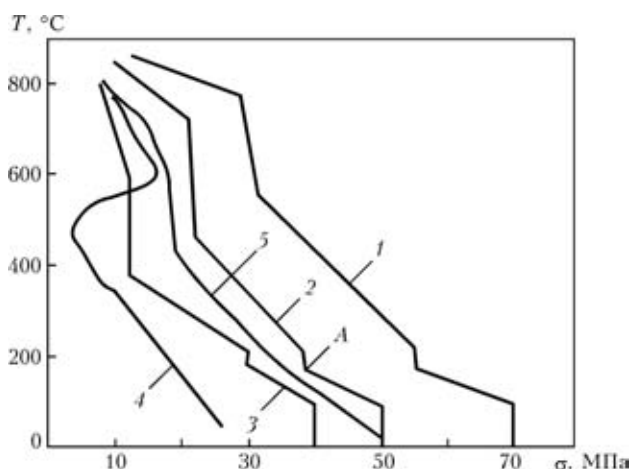


Таблица 2. Результаты исследований стойкости сварных соединений против замедленного разрушения ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А, $v_{св} = 16$ м/ч, $P = 450$ МПа)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Марка порошковой проволоки	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения, мин
1	12Х2Н3М	12Х2Н3М	ПП-АНВП-60 (05Х13Н9М2Г2СТ)	70	Не разрушился
2			ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ)	50	»
3			ПП-АНВП-100 (05Х10Н7ГСТ)	40	»

Таблица 3. Влияние состава электродной проволоки на стойкость сварных соединений против замедленного разрушения ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А, $v_{св} = 16$ м/ч, $P = 450$ МПа)

№ п/п	Марка сварочной проволоки	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения, мин
1	Св-10ХГ2СМА	45	15
2	Св-Х20Н9Г7Т	50	Не разрушился
3	Св-05Х12Н8М2ГСТ	50	»



Кинетика фазовых превращений в металле шва в зависимости от типа проволоки: 1 — ПП-АНВП-60; 2 — ПП-АНВП-80; 3 — ПП-АНВП-100; 4 — Св-10ХГ2СМА; 5 — Св-08Х20Н9Г7Т

Таблица 4. Влияние дополнительной нагрузки на стойкость сварных соединений против замедленного разрушения ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А, $v_{св} = 16$ м/ч, $P = 450$ МПа)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Марка проволоки (тип)	Температура приложения и значения дополнительной нагрузки	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения, мин
1	12Х2Н3М	30Х2Н2М	ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ)	—	Образец не закреплен	30
2			ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ)	—	75	Не разрушился
3			ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ)	При 50 °С до 50 МПа	50	2 ч
4			ПП-АНВП-80 (05Х12Н8М2ГСТ)	При 300 °С до 120 МПа	120	Не разрушился
5			ЭИ-613 (Св-08Х20Н9Г7Т)	—	Образец не закреплен	35
6			ЭИ-613 (Св-08Х20Н9Г7Т)	—	130	Не разрушился
7			ЭИ-613 (Св-08Х20Н9Г7Т)	При 50 °С до 50 МПа	50	14 ч 35 мин
8			ЭИ-613 (Св-08Х20Н9Г7Т)	При 300 °С до 120 МПа	120	Не разрушился

= 650 МПа в течение 20 ч не разрушились. Для сравнения стойкости против замедленного разрушения сварных соединений сварены образцы из стали 12Х2Н3М со вставками из стали 30Х2Н2М проволоками ферритно-перлитной Св-10ХГ2СМА, аустенитной Св-Х20Н9Г7Т и аустенитно-мартенситной ПП-АНВП-80. Сварку проводили на одинаковых режимах и при одинаковой нагрузке. Время до разрушения испытуемых образцов и значения остаточных напряжений приведены в табл. 3. В работах [13, 18, 19] показано, что повышение стойкости металла ЗТВ сварных соединений против замедленного разрушения может быть достигнуто с помощью дополнительной нагрузки в процессе охлаждения испытуемых образцов. Этот способ использован и в настоящей работе. Результаты исследований представлены в табл. 4, 5. Как видно из табл. 4, п. 1, 5, при сварке незакрепленных образцов при отсутствии временных и остаточных напряжений их стойкость весьма низкая. В случае приложения нагрузки перед испытанием таких образцов на замедленное разрушение, равной 50 МПа, время до разрушения несколько повышается (п. 3, 7). При испытании закрепленных образцов, при дополнительной нагрузке 120 МПа в процессе охлаждения при температуре 300 °С образец не разрушился (п. 4, 8).

В табл. 5 приведены результаты испытания на замедленное разрушение образцов из стали 14ХГН2ДАФБ, при сварке которых в металле ЗТВ



Т а б л и ц а 5. Влияние дополнительной нагрузки на стойкость против замедленного разрушения сварных соединений, выполненных проволокой ПП-АНВП-80 ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А, $v_{св} = 16$ м/ч, $P = 600$ МПа)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Температура приложения и значение дополнительной нагрузки	Время выдержки	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения
1	14ХГН2ДАФБ	14ХГН2ДАФБ	—	—	95	5 ч 25 мин
2			—	—	106	15 ч 25 мин
3			При 50 °С до 200 МПа	30 мин	200	12 ч 5 мин
4			При 50 °С до 200 МПа	3 ч	200	14 ч 45 мин
5			При 50 °С до 300 МПа	3 ч	300	Не разрушился

Т а б л и ц а 6. Влияние режима сварки на стойкость против замедленного разрушения сварных соединений, выполненных проволокой ПП-АНВП-80 ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А, м/ч, $P = 600$ МПа)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Скорость сварки, м/ч	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения
1	14ХГН2ДАФБ	14ХГН2ДАФБ	8	180	Не разрушился
2	14ХГН2ДАФБ	14ХГН2ДАФБ	12	140	15 ч 25 мин
3	14ХГН2ДАФБ	14ХГН2ДАФБ	16	120	5 ч 25 мин

Т а б л и ц а 7. Влияние остаточных напряжений на стойкость сварных соединений против замедленного разрушения ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 270$ А)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Тип проволоки	Скорость сварки, м/ч	Нагрузка при испытании, МПа	Длина образца-вставки, мм	Остаточные напряжения, МПа	Время до разрушения, мин
1	15Х2Н4МДА	30ХГСА	Св-08Х20Н9Г7Т	8	450	140	95	540
2				8	450	90	115	Не разрушился
3				8	550	70	120	То же
4				16	550	140	30	5
5				16	550	85	60	25
6				16	550	70	65	31

Т а б л и ц а 8. Влияние выдержки (отдыха) сварных соединений, выполненных проволокой Св-10ХГ2СМА на стойкость против замедленного разрушения ($U_d = 32$ В, $I_{св} = 300$ А)

№ п/п	Материал образца	Материал вставки	Скорость сварки, м/ч	Дополнительная нагрузка до значения, МПа	Время выдержки, ч	Нагрузка при испытании, МПа	Время до разрушения, мин
1	12Х2НМФА	30ХГСА	8	—	—	650	40
2	14ХН3МДА		8	200	1	650	151
3	12Х2НМФА		8	200	48	650	Не разрушился
4	14ХН3МДА		16	—	—	550	70
5	14ХН3МДА		16	200	12 мин	550	110
6	14ХН3МДА		16	350	120	550	Не разрушился

образовалась структура с большим количеством мартенсита (скорость охлаждения 14,5 °С/с). Значения остаточных напряжений составляли 95 и 106 МПа (п. 1, 2), что недостаточно для предупреждения разрушения образцов в течение 20 ч. В таблице также приведены результаты испытания образцов на замедленное разрушение при их дополнительном нагружении после их охлажде-

ния до 50 °С или до комнатной температуры. При дополнительной нагрузке до 200 МПа и выдержке в течение 30 мин до начала испытания на замедленное разрушение под нагрузкой 600 МПа образец (п. 3) разрушился через 12 ч 5 мин, при выдержке в течение 3 ч — через 14 ч 45 мин (п. 4). При дополнительном нагружении образца до 300 МПа и выдержке в течение 3 ч образец



Таблица 9. Влияние водорода на стойкость против замедленного разрушения сварных соединений, выполненных электродами АНВП-80

№ п/п	Температура (°C) проковки электродов в течение 2 ч	Концентрация водорода в металле шва, см ³ на 100 г металла		Время до разрушения	Примечание
		расчетная	фактическая		
1	350	5,5	5,7	116 мин	—
2	350	5,5	5,4	118 мин	Выдержали при 185 МПа в течение 2 ч при 300 °C
3	450	4,5	4,6	11 ч 15 мин	—
4	450	4,5	4,5	18 ч 40 мин	Выдержали при 185 МПа в течение 2 ч при 300 °C
5	500	3,0	3,4	28 ч	—
6	550	2,5	2,8	Не разрушился	—

не разрушился (п. 5), поэтому эксперименты с целью повышения стойкости образцов путем выбора соответствующего режима сварки были продолжены (табл. 6). В результате изменения режима сварки скорость охлаждения снизилась с 14,5 до 6 °C/с. Повысилось значение остаточных напряжений, улучшилась структура металла ЗТВ, уменьшилось количество мартенсита, понизилась твердость и образцы не разрушились. В табл. 7 приведены результаты исследования влияния применения аустенитной проволоки Св-08Х20Н9Г7Т на стойкость против замедленного разрушения образцов из стали 15Х2Н4МДА со вставкой 30ХГСА. При сварке на режиме, обеспечивающем скорость охлаждения 6 °C/с, образцы не разрушались в тех случаях, когда значение остаточных напряжений составляло 115...120 МПа. При скорости охлаждения металла ЗТВ 14,5 °C/с и остаточных напряжениях, не превышающих 65 МПа, время до разрушения таких образцов составляло от 5 до 31 мин.

В табл. 5 и 8 показано, что большое влияние на стойкость сварных соединений против замедленного разрушения оказывает длительность выдержки или отдыха испытываемых образцов после сварки до их нагружения до заданной нагрузки. Так, в результате дополнительного нагружения образцов после окончания сварки до 200 МПа и времени выдержки 1 ч время до разрушения при значении нагрузки 650 МПа составило 151 мин (табл. 8, п. 2), а после выдержки в течение 48 ч образец не разрушился при той же нагрузке. При сварке образцов, скорость охлаждения которых составляла 14,5 °C/с и времени выдержки перед нагружением 12 мин, разрушение произошло через 110 мин при нагрузке 550 МПа, а при выдержке после сварки в течение 120 ч образец не разрушился при той же нагрузке.

Анализ результатов исследований и оценка роли пиковых напряжений. Анализ результатов исследований энергоемкости процесса образования холодных трещин в сварных соединениях закаливаемых сталей свидетельствует о важной

роли временных и остаточных напряжений на их стойкость против замедленного разрушения. Установлено, что при остаточных напряжениях на уровне 80,0...160,0 МПа (напряжения зависят от прочностных характеристик и структуры стали), образовавшихся в результате сварки закаливаемых сталей или дополнительного нагружения образцов в процессе охлаждения или после полного охлаждения, стойкость сварных соединений против замедленного разрушения существенно повышается, что подтверждается значительным увеличением необходимой работы, затрачиваемой на разрушение.

Изложенное выше позволяет предположить, что в металле ЗТВ сварных соединений закаливаемых сталей наблюдаются пиковые напряжения, значительно превышающие средний уровень напряжений в свежезакаленном металле ЗТВ. Образование высоких локальных микронапряжений является одной из основных причин образования зародышей трещин в металле ЗТВ. Известно, что пиковые напряжения могут релаксироваться в результате нагрева металла, либо приложения дополнительной нагрузки в процессе или после охлаждения сварного соединения или в результате отдыха металла. Исследованиями установлено, что для предупреждения образования холодных трещин в металле ЗТВ сварных соединений необходимо релаксировать пиковые напряжения в процессе или сразу после сварки до приложения расчетной нагрузки. Релаксация пиковых напряжений может быть осуществлена в результате предварительного нагрева свариваемых кромок, либо местной или общей термической обработки сварного соединения. Предварительный подогрев кромок при сварке, применение режимов сварки, обеспечивающих меньшую скорость охлаждения, способствуют улучшению структуры металла шва и ЗТВ, повышению остаточных напряжений, более полному удалению водорода из сварных соединений. Такие меры позволяют повысить стойкость сварных соединений против образования холодных трещин. Термичес-



кая обработка в печах либо местная термическая обработка производится для отпуска сварных соединений после сварки. Такая обработка способствует релаксации пиковых напряжений, улучшению структуры и повышению пластических свойств и вязкости металла сварных соединений. Для релаксации пиковых напряжений также можно применить разработанный способ сварки с термообработкой [20], предполагающий использование при сварке закаливающих сталей сварочных проволок, обеспечивающих швы с ферритно-перлитной структурой и повторный нагрев металла шва неплавящимся электродом в инертном газе. В результате повторного нагрева в металле шва значительно сокращается массовая доля водорода, уменьшается скорость охлаждения, в результате чего улучшается структура металла ЗТВ и ускоряется темп релаксации пиковых напряжений. Разработанный способ позволяет в широких пределах регулировать скорость охлаждения сварных соединений. Повторный нагрев и частичное расплавление металла шва, образованного плавящимся электродом, способствует формированию остаточных напряжений, достаточных для релаксации пиковых и значительного уменьшения концентрации водорода в металле шва и ЗТВ. Этот способ позволяет обеспечить необходимое качество сварных соединений закаливающих сталей, используя для сварки низколегированные сварочные материалы. Его применение позволит снизить трудоемкость и стоимость сварочных работ по сравнению со способами термообработки сварных соединений, применяемыми сегодня. Для этой цели могут быть также использованы сварочные материалы аустенитного или аустенитно-мартенситного типа. Применение таких материалов во многих случаях позволяет отказаться от дорогих и трудоемких операций, связанных с термической обработкой. Кроме того, применение аустенитно-мартенситных сварочных материалов позволяет получить сварные соединения, металл шва которых по своим механическим свойствам близок к свойствам основного металла. Использование для сварки указанных материалов характеризуется необходимым уровнем временных и остаточных напряжений и более благоприятным влиянием аустенитного или высоколегированного низкоуглеродистого мартенситного металла шва на структуру металла ЗТВ.

Влияние водорода на образование трещин. Большое влияние на образование трещин и их развитие, помимо пиковых напряжений, оказывает содержание водорода в металле сварного соединения.

В работе [21] отмечается, что, по мнению многих исследователей, водород обладает способностью диффундировать в зону концентрации растягивающих напряжений, т. е. в места, в которых

сталь находится в состоянии всестороннего растяжения. При концентрации там критического количества водорода образуется трещина. В работах [22, 23] высказано мнение о том, что в зоне концентрации растягивающих напряжений и микроскопической деформации содержание водорода повышается вследствие его взаимодействия со скоплением дислокаций у вершины концентратора. Приток водорода в эту зону в связи с его дрейфовой диффузией может вызвать концентрацию водорода, в несколько раз превышающую среднее его содержание в металле [24]. Скопление водорода может быть причиной образования трещин. Решающее значение для изучения условий образования холодных трещин (замедленного разрушения) имеет анализ особенностей возникновения локальной неравномерности распределения водорода в сварном соединении к моменту зарождения трещин наряду с учетом микролокальной пластической деформации и критического уровня объемных растягивающих напряжений [23].

В работе [25] предложена новая физическая модель водородного охрупчивания, в соответствии с которой «водород при отсутствии необратимых ловушек (пор, трещин, межфазных границ) конденсируется в ловушках, которыми являются дислокации. При пластической деформации водород движущимися дислокациями транспортируется к месту зарождения трещин. Возникновение микротрещины можно представить по классической модели Зинера–Стро: микротрещина образуется в вершине скопления дислокаций, остановленных границей зерна или другими препятствиями».

В работе [26] отмечается, что водородное и связанное с ним замедленное разрушение сварных соединений наиболее ярко проявляется при дуговой сварке легированных сталей с ограниченным (до 0,2 %) содержанием углерода. Это обусловлено тем, что водород является уникальной технологической примесью с высокой подвижностью в кристаллической решетке и возможностью сегрегации на границах в результате переноса движущимися дислокациями при температурах ниже 400 °С. Степень развития процесса замедленного разрушения главным образом зависит от термодеформационного цикла сварки, фазовых превращений основного металла и шва, состояния границ зерен и остаточных напряжений [27].

Повышенное содержание водорода в высокопрочном высоколегированном металле шва оказывает отрицательное влияние на его механические свойства (в первую очередь на пластичность) и в ряде случаев способствует образованию в сварных соединениях холодных трещин [5]. При исследовании влияния водорода на механические свойства многослойного мартенситного металла шва типа 08X12H8M2ГСТ в сварных соединениях



стали 15X2Н4МДА, которые выполняли ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, установлено, что при увеличении количества диффузионного водорода от 5,3 до 9,0 см² на 100 г металла уровень пластических свойств высокопрочного металла шва существенно снижается ($\delta = 7,0 \dots 9,0 \%$, $\psi = 13,0 \dots 14,0 \%$). В металле шва возможно образование поперечных и продольных холодных трещин. При содержании диффузионного водорода 3,2...3,5 см² на 100 г металла холодные трещины в сварном соединении не обнаружены. Оценка технологической прочности сварных соединений путем заварки жестких проб ЦНИИТС показало высокую стойкость сварных соединений против образования холодных трещин при суммарном количестве водорода в металле шва не более 3,5 см³ на 100 г металла. В случае насыщения металла шва водородом до 5,3 см³ на 100 г металла в сварных швах обнаруживаются поперечные (в зоне сплавления) и продольные (по центру) холодные трещины. Снижение содержания влаги в электродном покрытии путем корректировки его состава и использования оптимальной температуры прокалки позволило обеспечить низкое содержание диффузионного водорода в металле шва — 2,3 см³ на 100 г металла. Установлено, что при этом существенно улучшились пластические свойства металла шва и его стойкость против образования холодных трещин.

В работе исследовали влияние количества водорода в сварном шве в зависимости от температуры прокалки электродов аустенитно-мартенситного типа на стойкость металла ЗТВ сварных соединений стали 12Х2Н3М против замедленного разрушения. Данные экспериментов приведены в табл. 9. В связи с жестким ограничением количества водорода в аустенитно-мартенситных швах применительно к сварным соединениям высокопрочных закаливающихся сталей в ИЭС им. Е. О. Патона разработана группа сварочных материалов — электроды для ручной дуговой сварки типа АНВП-80 и порошковая проволока для механизированной сварки в углекислом газе типа ПП-АНВП-80. Указанные сварочные материалы обеспечивают концентрацию водорода в сварных швах на уровне не более 3,0 см³ на 100 г металла [5].

Меры, способствующие повышению стойкости сварных соединений против замедленного разрушения. Исследования показали, что для предупреждения образования холодных трещин и уменьшения склонности свежезакаленной структуры металла ЗТВ к их образованию необходимо применять меры для релаксации пиковых напряжений еще до момента нагружения испытываемых образцов рабочей нагрузкой. Это означает, что остаточные напряжения в сварном соединении, необходимые для релаксации пиковых напряжений в металле ЗТВ, должны быть не ниже

определенного предела. Такая релаксация происходит путем микропластических сдвигов (при достаточной подвижности дислокаций и повышенной температуре нагружения). При дальнейшем повышении остаточных напряжений при ограниченной подвижности дислокации или пониженной температуре нагружения реализуется другой путь релаксации, приводящий к образованию микротрещин, повышающих опасность хрупкого разрушения [7, 9].

Для определения оптимального значения остаточных напряжений, необходимых для релаксации пиковых напряжений путем микропластической деформации, следует провести экспериментальные исследования с использованием новой методики, поскольку их значение зависит от состава стали, используемой для сварной конструкции, сварочных материалов и технологии сварки.

Экспериментальные данные свидетельствуют о благоприятном влиянии на стойкость металла ЗТВ сварных соединений закаливающихся сталей против замедленного разрушения аустенитных или аустенитно-мартенситных проволок и электродов. Сварка такими материалами способствует повышению значений остаточных напряжений в исследуемых образцах примерно в 2 раза по сравнению со значениями остаточных напряжений, характерных для сварки ферритно-перлитными проволоками (см. рисунок, кривые 2, 4). Важно отметить, что значения перемещения (усадки) и остаточных напряжений при сварке аустенитной (Св-Х20Н9Г7Т) и аустенитно-мартенситной проволокой (Св-05Х12Н8М2ГСТ) достаточно близки (см. рисунок, кривые 2, 5). Это объясняется тем, что металл шва, выполненный аустенитно-мартенситной проволокой, до начала мартенситного превращения при $T = 140 \dots 160^\circ\text{C}$ (точка А) имеет аустенитную структуру. При дальнейшем охлаждении почти до комнатной температуры (точка В) в металле шва содержится еще достаточно большое количество аустенита.

При сварке закаливающихся сталей в зависимости от используемых режимов сварки (термических циклов) в металле ЗТВ может образоваться бейнитная, бейнитно-мартенситная и мартенситная структура. Так, например, при скорости сварки $v_{\text{св}} = 16$ м/ч в металле ЗТВ сварных соединений может образоваться структура с более высоким содержанием мартенсита по сравнению с металлом ЗТВ сварного соединения, выполненного с меньшей скоростью сварки ($v_{\text{св}} = 8$ м/ч), что объясняется более высокой скоростью охлаждения. В металле ЗТВ формируется структура с большим количеством мартенсита, что подтверждается повышенным уровнем микротвердости (HV 2700...2900 МПа). Для релаксации пиковых напряжений в такой структуре требуется более



высокий уровень остаточных напряжений, поскольку микропластическая деформация здесь затруднена. В этом случае необходимо использовать режимы сварки, обеспечивающие меньшую скорость охлаждения. Такая мера способствует, во-первых, увеличению размера усадки сварного соединения и повышению остаточных напряжений до заданного уровня, во-вторых, образованию в металле ЗТВ более благоприятной структуры верхнего бейнита или смеси верхнего бейнита с мартенситом отпуска. В сварных швах аустенитно-мартенситного типа наблюдается меньший объемный эффект при $\gamma \rightarrow \alpha_m$ -превращении. Мартенситное превращение в металле ЗТВ в случае применения ферритного шва сопровождается значительно большим объемным эффектом, что может вызвать большую деформацию на границе сплавления образовавшегося мартенсита со структурой металла ЗТВ и вызвать высокий уровень микронапряжений. Результаты исследований подтверждают высказанные ранее предположения. Для численного обоснования необходимы дополнительные эксперименты.

Результаты исследований, изложенные в настоящей статье, имеют не только теоретическое, но и практическое значение, так как обнаруженные тенденции характерны и для сварных соединений реальных конструкций. Так, например, для повышения стойкости сварных конструкций (трубопроводов, сосудов, резервуаров, баллонов и др., особенно тонкостенных из закаливающихся сталей) против образования холодных трещин при их изготовлении может быть рекомендована технология, предусматривающая предварительную опрессовку после сварки для релаксации пиковых напряжений еще до их нагружения до заданной рабочей нагрузки. Давление при опрессовке должно быть оговорено ТУ на изготовление данной конструкции. Величина напряжений, вызванных опрессовкой, должна определяться в зависимости от материалов, используемых для изготовления конструкции, ее назначения и технологии изготовления.

В заключение следует отметить, что основной причиной образования зародышей трещин являются пиковые напряжения, возникающие вследствие локального скопления дислокаций и других дефектов в свежезакаленной структуре металла ЗТВ, что подтверждается целым рядом работ известных авторов. Повышение концентрации водорода в металле ЗТВ и его накопление в местах локальных пиковых напряжений способствует понижению стойкости металла против образования зародышей трещин и дальнейшего их развития. При релаксации пиковых напряжений происходит снижение массовой доли водорода в этих локальных местах в результате его диффузии в другие участки металла ЗТВ (с более высоким уровнем

концентрации напряжений). Можно предположить, что релаксация пиковых напряжений будет способствовать уменьшению растворимости водорода в локальных участках структуры.

Образованию пиковых напряжений способствует взаимодействие структуры металла ЗТВ (которая не подвергалась дальнейшей термообработке) и образовавшейся при более низкой температуре структурой металла шва. Чем выше объемный эффект бейнитно-мартенситного превращения аустенита металла шва, тем сильнее влияние такой структуры на металл ЗТВ. Источник таких сил взаимодействия порождает сильные микродеформации и высокие локальные напряжения [6].

Релаксация пиковых напряжений происходит в процессе охлаждения сварного соединения под влиянием временных и остаточных напряжений, вызванных усадкой металла и фазовыми превращениями металла шва и ЗТВ. Релаксация пиковых напряжений в сварном соединении в процессе и/или после охлаждения необходима до его нагружения заданной нагрузкой при испытании образцов на замедленное разрушение. Полнота релаксации пиковых напряжений зависит от остаточных напряжений в сварном соединении.

В случае образования в металле ЗТВ бейнитно-мартенситной либо мартенситной структуры для релаксации пиковых напряжений необходим более высокий уровень остаточных напряжений, поскольку микропластическая деформация в такой структуре более затруднена. Для уменьшения пиковых напряжений могут быть использованы применяемые в настоящее время способы:

предварительный подогрев кромок свариваемых изделий; их термическая обработка в печах или местная термообработка; применение режимов сварки, обеспечивающих меньшую скорость охлаждения с целью повышения усадочных напряжений и образованию в металле ЗТВ более благоприятной структуры;

сварка конструкций аустенитными и аустенитно-мартенситными сварочными материалами, которые по сравнению с ферритными обеспечивают металл шва, характеризующийся меньшим объемным эффектом в результате фазовых превращений и большого значения остаточных напряжений в сварном соединении. Кроме того, следует отметить, что использование аустенитно-мартенситных сварочных материалов позволяет получить высокопрочные ($\sigma_b \geq 1000$ МПа) сварные соединения закаливающихся сталей при сварке без подогрева и термообработки;

сварка с дополнительной дуговой термообработкой [20], что позволяет снизить трудоемкость и стоимость сварочных работ по сравнению со сварочными технологиями, предусматривающими традиционные способы термообработки сварных соединений.



1. Шоршоров М. Х. Металловедение сварки стали и сплавов титана. — М.: Наука, 1965. — 336 с.
2. Шураков С. С. Зависимость прочности закаленной стали от времени действия нагрузки / Металловедение: Сб. статей. — Л.: Судпромгиз, 1957. — 100 с.
3. Макара А. М., Мосендз Н. А. Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техника, 1971. — 140 с.
4. Сварка и свариваемые материалы // Под ред. Э. Л. Макарова. — М.: Металлургия, 1991. — Т. 1. — 528 с.
5. Демченко Э. Л., Бовсуновский А. Н., Янкина О. И. Влияние водорода на механические свойства аустенитно-мартенситного металла шва типа 03X12H8M2ГСТ // Автомат. сварка. — 1990. — № 7. — С. 30–33.
6. Курдюмов Г. В., Утесский Л. М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. — М.: Наука, 1977. — 238 с.
7. Саррак В. И., Филиппов Г. А. Релаксация остаточных микронапряжений при отдыхе и низкотемпературном отпуске закаленной стали // Физ. металлов и металловедение. — 1975. — 40, вып. 4. — С. 806–811.
8. Бернштейн М. Л., Займовский В. А. Структура и механические свойства металлов. — М.: Металлургия, 1970. — 335 с.
9. О двух путях релаксации остаточных микронапряжений в мартенсите стали / Л. Е. Алексеева, В. И. Саррак, С. О. Суворова, Г. А. Филиппов // Металлофизика. — 1975. — Вып. 61. — С. 79–84.
10. Mazanec K., Sejnoha R. Effect of thermo mechanical treatment on mechanical properties of structural steels // Trans. Met. Soc. AIME. — 1965. — 233. — P. 1602.
11. Грищенко Л. В. Новые электроды для сварки стали 15X2H4MДА // Свароч. пр-во. — 1961. — № 3. — С. 22–26.
12. Сварка высокопрочных сталей с пределом текучести более 800 МПа без подогрева и термообработки / Ю. Н. Готальский, В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко и др. // Автомат. сварка. — 1990. — № 10. — С. 38–40.
13. Макаров Э. Л. Природа разрушения при образовании холодных трещин в высокопрочных закаливающихся сталях при сварке // Прогрессивная технология конструкционных материалов. — М.: МВТУ, 1977. — С. 85–105.
14. Макаров Э. Л., Субботин Ю. В., Прохоров Н. Н. Пути повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке // Прочность сварных конструкций. — М.: Машиностроение, 1966. — С. 227–242.
15. Макара А. М. Исследование природы холодных околошовных трещин при сварке закаливающихся сталей // Автомат. сварка. — 1960. — № 2. — С. 9–33.
16. Холодные поперечные трещины в низколегированных высокопрочных швах / А. М. Макара, В. Г. Гордонный, А. Т. Дибец и др. // Там же. — 1971. — № 11. — С. 1–14.
17. Стеренбоген Ю. А., Васильев Д. В. Новая методика и энергетические критерии оценки стойкости металла зоны сплавления сварного соединения против образования холодных трещин // Там же. — 1998. — № 6. — С. 8.
18. Влияние временных сварочных напряжений на характер превращения аустенита и сопротивляемость ЗТВ стали 30ХГСНА образованию холодных трещин / Ю. М. Лебедев, К. М. Данилюк, Ю. А. Стеренбоген и др. // Там же. — 1981. — № 7. — С. 8–12.
19. Стеренбоген Ю. А., Васильев Д. В. Оценка трещиностойкости зоны сплавления по энергоемкости замедленного разрушения // Там же. — 1999. — № 6. — С. 6–12.
20. Пат. 47458, Украина. Спосіб термічної обробки зварних з'єднань / Ю. О. Стеренбоген, М. М. Савицький, Д. В. Васильєв. — Опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7.
21. Потак Я. М. Высокопрочные стали. — М.: Металлургия, 1972. — 76 с.
22. Касаткин С. Б., Мусияченко В. Ф., Смиян О. Д. Влияние подогрева на распределение водорода в сварном соединении высокопрочной стали // Автомат. сварка. — 1974. — № 5. — С. 72–73.
23. Мусияченко В. Ф., Касаткин С. Б. Распределение водорода в сварном соединении легированной стали и его влияние на образование холодных трещин (Обзор литературы) // Там же. — 1985. — № 9. — С. 3–8.
24. Андрейкив А. А., Панасюк В. В., Харин В. С. Теоретические аспекты кинетики водородного охрупчивания металлов // Физ.-хим. механика материалов. — 1978. — № 3. — С. 3–32.
25. Походня И. К., Швачко В. И. Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей // Автомат. сварка. — 1997. — № 5. — С. 3–12.
26. Касаткин О. Г. Особенности водородного охрупчивания высокопрочных сталей при сварке (Обзор) // Там же. — 1994. — № 1. — С. 3–7.
27. Гиндин И. А., Стародубов Я. Д., Аксенов В. К. Структура и прочностные свойства металлов с предельно искаженной металлической решеткой (Обзор) // Металлофизика. — 1980. — № 2. — С. 49–67.

The paper presents analysis of the most important factors promoting cold cracking in welded joints of hardenable steels. It is shown that the most important components, causing cold cracking are «peak» stresses in as-hardened metal structure and level of hydrogen content in points of local «peak» stresses.

Поступила в редакцию 28.01.2005

ТЕХНОЛОГИЯ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ БЕЗ ПОДОГРЕВА СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

Повышенное содержание углерода в закаливающейся стали обуславливает такие трудности при их сварке и наплавке, как склонность сварных соединений к образованию трещин, перегреву и охрупчиванию. Современные методы их преодоления, предусматривающие сочетание сварки на низких погонных энергиях с подогревом и применением аустенитных сварочных материалов, дороги, трудо- и энергоемки. Кроме того, эффективность этих методов снижается по мере повышения содержания углерода в сталях.

Предлагаемая технология позволяет сваривать и наплавлять без подогрева закаливающиеся стали с содержанием углерода до 0,8 % сварочными материалами, близкими по химическому составу основному металлу. Данная технология сварки и наплавки обеспечивает управление формированием структуры металла сварных соединений путем регулирования условий его нагрева и охлаждения. При этом в металле соединений формируется мелкозернистая структура с высокими показателями вязкости и пластичности, что повышает их стойкость к образованию трещин и охрупчиванию.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 11
Тел./факс: (38044) 289 17 39
E-mail: savitsky@paton.kiev.ua



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОАМПЕРНЫХ ДУГ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО, Н. О. ЧЕРВЯКОВ, П. П. КАЛИНА**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы энергетические характеристики малоамперных дуг. Установлено, что малоамперные дуги при аргонодуговой сварке характеризуются более высокой (в 3...5 раз) концентрацией теплового потока по сравнению с дугами при плазменно-дуговой наплавке. Основными параметрами, с помощью которых можно в широких пределах управлять формированием сварочной ванны и деформационным состоянием металла зоны термического влияния, являются погонная энергия и коэффициент сосредоточенности теплового потока.

Ключевые слова: аргонодуговая сварка, плазменно-дуговая наплавка, эффективная тепловая мощность, эффективный КПД нагрева изделия, распределение теплового потока, погонная энергия

В последнее время все более широкое применение для соединения жаропрочных трудносвариваемых материалов (в частности, при ремонте) находят способы сварки, обеспечивающие ограниченное тепловложение в основной металл [1–3]. В связи с этим важное значение приобретает возможность применения малоамперных дуг, которые характеризуются минимальным вводом тепла в изделие, что повышает технологическую прочность свариваемого материала [4].

Учитывая высокую стоимость материалов на основе никеля и кобальта, а также сложность их механической обработки, для эффективного управления процессом и оптимизации режимов сварки и наплавки с целью снижения склонности к горячим трещинам предпочтительно использовать математическое моделирование формирования сварного шва. Геометрические размеры сварочной ванны, интенсивность протекания фазовых, структурных и объемных превращений при сварке и наплавке в первую очередь определяются особенностью распределения тепла в свариваемых материалах. При расчете температурных полей необходимо принимать во внимание особенность распределения теплового потока дуги по пятну нагрева. Зная эффективную тепловую мощность дуги и радиальное распределение тепла дуги, можно получить представления о распределении тепла по поверхности металла и размерах пятна нагрева [5, 6].

Распределение удельного теплового потока по радиусу пятна нагрева с достаточной степенью точности описывается законом нормального распределения вероятности Гаусса [7, 8] (рис. 1):

$$q_r = q_{\max} e^{-kr^2}; \quad (1)$$

$$q_{\max} = \frac{q_{\text{и}} k}{\pi}, \quad (2)$$

где q_r — поверхностная плотность теплового потока на расстоянии r от центра пятна нагрева, Вт/см²; k — коэффициент сосредоточенности, зависящий от размеров и распределения тепла в поперечном сечении пятна нагрева, см⁻² (терминология Н. Н. Рыкалина [7]); $q_{\max}$ — поверхностная плотность теплового потока в центре пятна нагрева, Вт/см²; $q_{\text{и}}$ — эффективная тепловая мощность нагрева изделия, Вт.

При использовании в расчетах выражения (1) радиусом пятна нагрева принято считать расстояние $r_{\text{н}} = d_{\text{н}}/2$, на котором плотность удельного теплового потока $q_r(r_{\text{н}})$ составляет 0,05 $q_{\max}$. Отсюда следует, что расчетный диаметр пятна нагрева определяется согласно выражению

$$d_{\text{н}} = \frac{3,46}{\sqrt{k}}. \quad (3)$$

При моделировании условий кристаллизационного растрескивания применяют в основном процесс аргонодуговой сварки (АДС) [9–13]. Тепло-

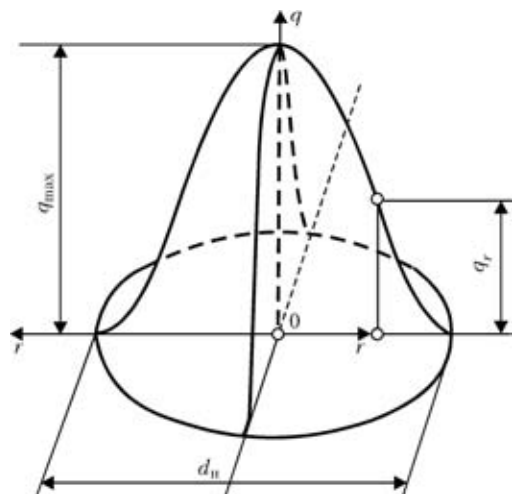


Рис. 1. Схема распределения теплового потока дуги [7]

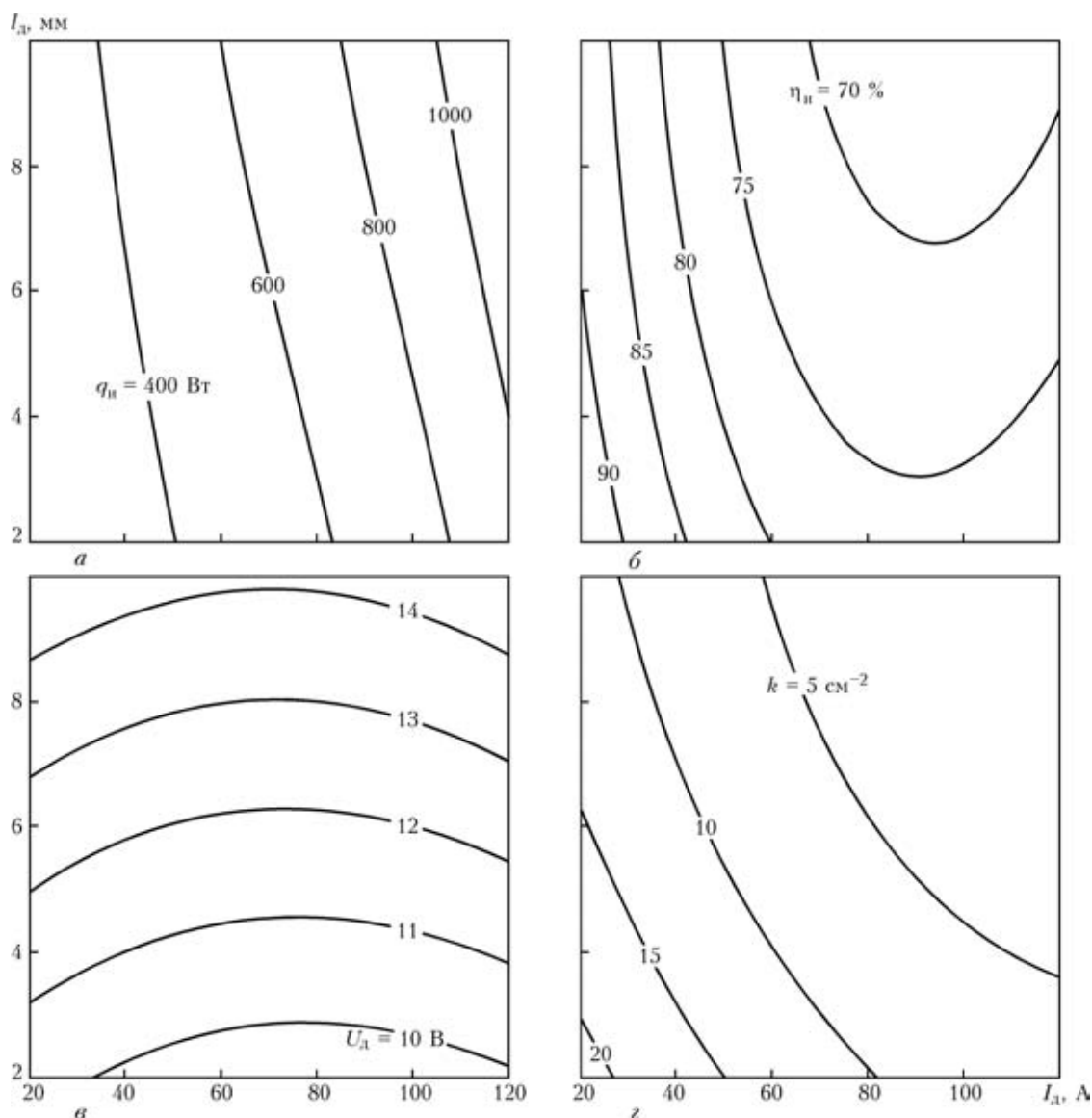


Рис. 2. Зависимость эффективной тепловой мощности дуги q_n (а) и эффективного КПД η_n нагрева изделия (б), напряжения на дуге U_d (в) и коэффициента сосредоточенности теплового потока k (г) от тока дуги I_d и ее длины l_d

вые характеристики малоамперных дуг АДС имеют приближенные количественные значения [8–10], которые при математическом моделировании в значительной степени искажают картину реального процесса. Вследствие этого возникла необходимость в экспериментальном исследовании зависимости эффективной тепловой мощности q_z , КПД η_n нагрева изделия, коэффициента k сосредоточенности теплового потока и геометрических параметров шва от параметров режима АДС при малоамперных дугах.

Целью данной работы является исследование энергетических характеристик малоамперных дуг при АДС.

Эффективную тепловую мощность дуг при АДС определяли методом погружного калориметрирования, а коэффициент сосредоточенности теплового потока — с помощью двухсекционного проточного калориметрирования на эксперимен-

тальных установках, описанных в работе [14]. Эффективный КПД нагрева изделия вычисляли как отношение эффективной мощности теплового потока к затраченной электрической мощности дуги. Опыты проводили на горелке АДС с источником питания ВСВУ 315 при сварке пластин из нержавеющей стали. Ток дуги I_d и ее длину l_d варьировали в пределах соответственно 20...120 А и 2,5...10,0 мм. Диаметр вольфрамового электрода составлял 3 мм, угол заточки — 30°, радиус притупления — 0,4 мм. В качестве защитного газа использовали аргон. Расход газа Q и скорость сварки $v_{св}$ во всех опытах были равны соответственно 10 л/мин и 8 м/ч. Выполняли сварку пластин из нержавеющей стали типа Х20Н16АГ6 размером 90×40 мм и толщиной $\delta = 5$ мм. После сварки пластины разрезали и подвергали травлению в растворе кислоты. С помощью инструментального микроскопа с десятикратным увеличением измеряли ширину шва $B_{ш}$

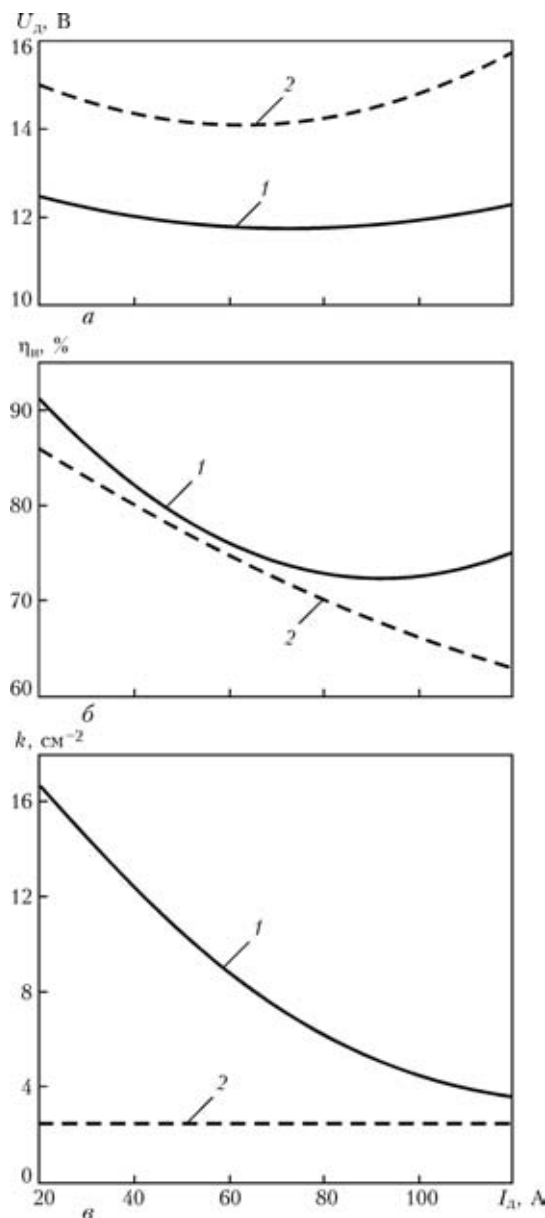


Рис. 3. Зависимость напряжения на дуге U_d (а), эффективного КПД нагрева изделия (б) и коэффициента сосредоточенности теплового потока k (в) от тока дуги I_d при АДС (1) и ПДН (2) [14]

и глубину проплавления $h_{пр}$. Каждый опыт повторяли не менее четырех раз. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии в виде полиномов второй степени:

$$\eta_n(I_d, l_d) = 108,227 - 0,636I_d - 1,396l_d - 6,142 \cdot 10^{-3}I_d l_d + 3,618 \cdot 10^{-4}I_d^2 + 0,063l_d^2 \quad [\%], \quad (4)$$

$$k(I_d, l_d) = 31,659 - 0,314I_d - 2,342l_d + 5,4 \cdot 10^{-3}I_d l_d + 1,114 \cdot 10^{-3}I_d^2 + 0,081l_d^2 \quad [\text{см}^{-2}]; \quad (5)$$

$$h_{пр}(I_d, l_d) = -1,069 + 0,054I_d - 0,6l_d + 1,278 \cdot 10^{-3}I_d l_d - 1,1 \cdot 10^{-4}I_d^2 + 0,017l_d^2 \quad [\text{мм}]. \quad (6)$$

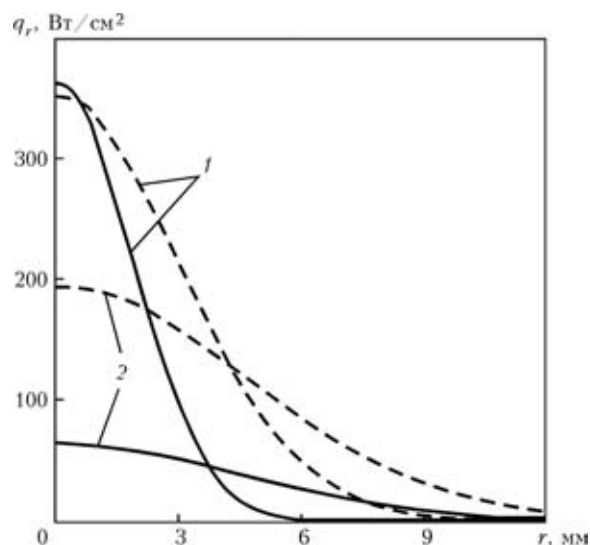


Рис. 4. Распределение удельного теплового потока дуги q_r по радиусу r пятна нагрева в случае АДС (1) и ПДН (2) при $I_d = 30$ (сплошные кривые) и при 100 А (штриховые)

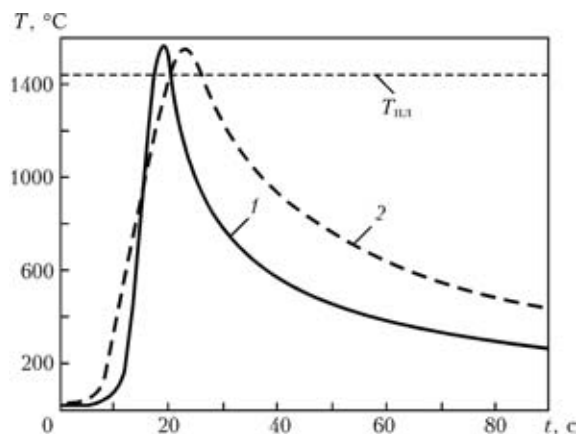


Рис. 5. Термические циклы АДС (1) и ПДН (2), $T_{пл}$ — температура плавления

Как видно из кривых рис. 2, построенных на основе уравнений регрессии, эффективная тепловая мощность дуги в основном зависит от тока дуги. Эффективный КПД нагрева изделия в исследуемом диапазоне токов дуги при АДС составляет 70...90 %, что на 2...10 % выше, чем при плазменно-дуговой наплавке порошком (ПДН) (рис. 3, а) [6, 14]. С повышением тока дуги он снижается, что связано с возрастанием потерь тепла вследствие увеличения поперечного сечения дуги. Значения коэффициента сосредоточенности k теплового потока также заметно уменьшаются с увеличением тока дуги в отличие от обжатых дуг наплавочных плазмотронов, у которых k практически не зависит от тока (рис. 3, б) и его значения находятся в пределах от 4 до 18 см^{-2} .

Изменение длины дуги от 2 до 10 мм на тепловых характеристиках дуги сказывается незначительно. С увеличением l_d наблюдается некоторое повышение q_n при одновременном снижении η_n и k , причем у последних эта зависимость про-

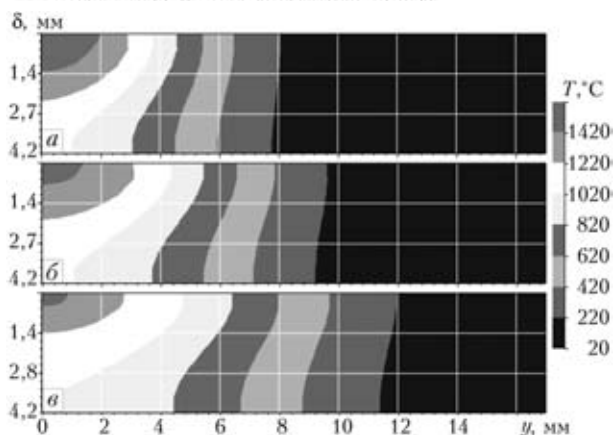


Рис. 6. Температурное поле и сварочная ванна в поперечном сечении пластины (математический расчет выполнен по схеме нормально распределенного источника тепла [8]): а — $l_d = 2,5$; б — 6,0; в — 10,0 мм

является более существенно с увеличением l_d (см. рис. 2, а, б, в).

Как показали результаты исследований, изложенные в настоящей работе, а также в [6, 14], при характерных технологических параметрах режима наплавки в случае АДС с присадочной проволокой ($l_d = 5$ мм) и ПДН порошком ($l_d = 7,5$ мм и диаметрах плазмообразующего и формирующего сопла соответственно 3,5 и 9,0 мм) дуги при АДС характеризуются более высокой сосредоточенностью теплового потока по сравнению с ПДН (рис. 3 и 4), что способствует глубокому проплавлению и значительной концентрации напряжений в основном металле.

Используя полученные значения эффективного КПД нагрева изделия и коэффициента сосредоточенности теплового потока можно с достаточной точностью аналитически определить температурные поля в основном металле при заданном режиме. На рис. 5 представлены определенные с помощью расчетной схемы нормально распределенного источника тепла термические циклы в точке по оси шва на поверхности пластины, наг-

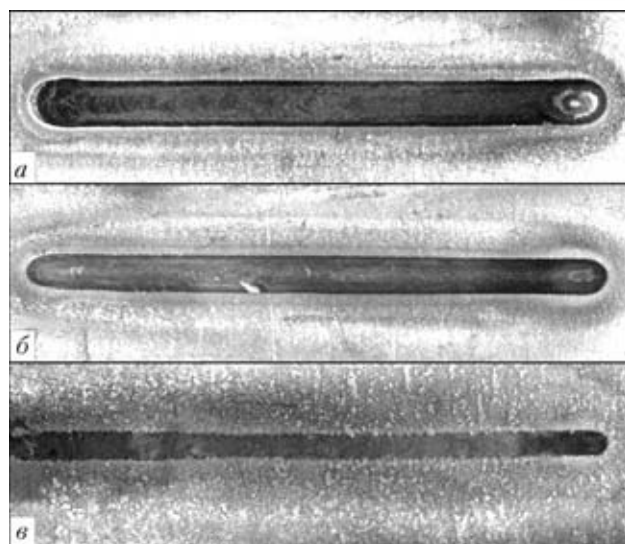


Рис. 7. Вид наплавленного металла и ЗТВ на пластине из нержавеющей стали (а-в — см. рис. 6)

ретой до одной и той же температуры, при АДС ($q_{in} = 580$ Вт) и ПДН ($q_{in} = 1000$ Вт). В начальный период нагрева нарастание температуры до ее максимального значения при АДС происходит в 2 раза быстрее. Пребывание металла в условиях максимальной температуры при ПДН значительно дольше. Для конечного периода остывания металла при ПДН характерна более низкая скорость охлаждения по сравнению с АДС. Как видно из рис. 6 (математическое моделирование сварки нержавеющей стали с $T_{пл} \approx 1420$ °С), с увеличением сосредоточенности теплового потока возрастает градиент температур в зоне термического влияния (ЗТВ), что является отрицательным фактором для свариваемости жаропрочных материалов, поскольку высокий градиент напряжений приводит к образованию горячих трещин. Увеличение сосредоточенности теплового потока способствует росту глубины проплавления шва и его ширины, хотя при этом длина дуги и соответственно нап-

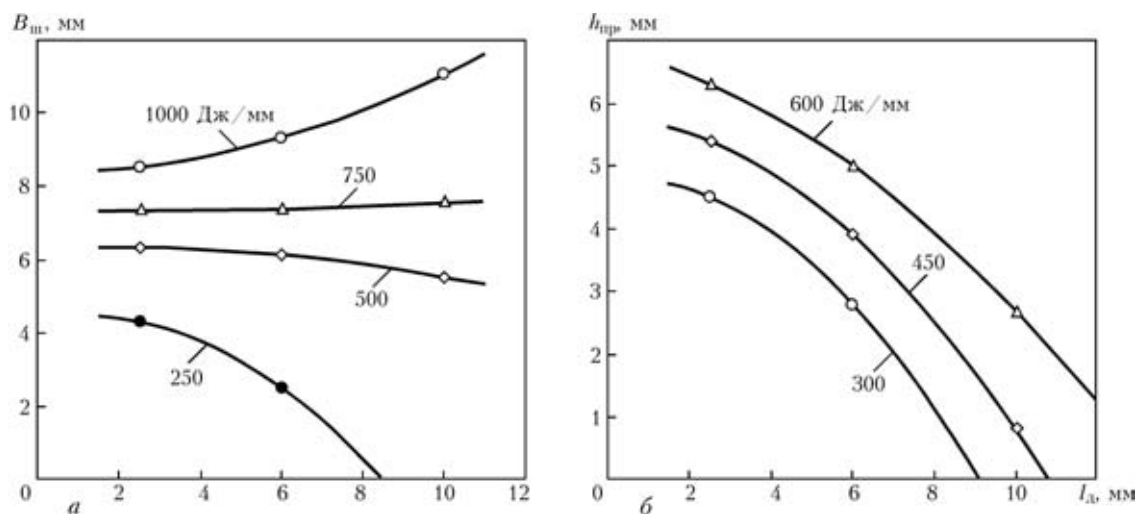


Рис. 8. Зависимость ширины шва $B_{ш}$ (а), глубины проплавления $h_{пр}$ (б) от длины дуги и погонной энергии сварки



ражение уменьшаются, что подтверждено экспериментально (рис. 7).

Помимо сосредоточенности теплового потока, на геометрические параметры шва также влияет погонная энергия [12] (рис. 8, а, б). Так, для нержавеющей стали при погонной энергии до 700 Дж/мм с ростом длины дуги ширина шва и глубина его проплавления уменьшаются. Причем с увеличением погонной энергии характер падающей кривой становится более пологим. При погонной энергии свыше 700 Дж/мм с ростом длины дуги (напряжением на дуге) изменение ширины шва характеризуется монотонно-возрастающей кривой (см. рис. 8, а).

Таким образом, основными параметрами, при помощи которых можно в широких пределах управлять формированием сварочной ванны и деформационным состоянием металла ЗТВ, являются сосредоточенность теплового потока и погонная энергия.

При сварке жаропрочных сплавов для увеличения стойкости к кристаллизационным трещинам процесс сварки необходимо осуществлять с невысокой погонной энергией и низкой сосредоточенностью теплового потока, тем самым обеспечиваются низкий градиент температур в ЗТВ и минимальное тепловложение в основной металл.

Выводы

1. При малоамперной АДС эффективный КПД нагрева изделия изменяется в пределах 70...85 % при $I_d = 20...120$ А.
2. Коэффициент сосредоточенности теплового потока при АДС в значительной степени зависит от тока и длины дуги и составляет $3...20$ см⁻².
3. Ширина шва и глубина проплавления при погонной энергии до 700 Дж/мм с увеличением длины дуги уменьшаются. При дальнейшем увеличении погонной энергии ширина шва возрастает.
4. При характерных параметрах режимов наплавки, малоамперные дуги при АДС отличаются

более высокой (в 3...5 раз) сосредоточенностью теплового потока по сравнению с дугами ПДН.

1. Влияние физических характеристик литых никелевых жаропрочных сплавов на развитие термомеханических процессов при сварке плавлением / В. С. Савченко, К. А. Ющенко, В. И. Махненко // Автомат. сварка. — 1993. — № 11. — С. 6–9.
2. Сорокин Л. И., Лукин В. И., Багдасаров В. И. Свариваемость литейных жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6 // Свароч. пр-во. — 1997. — № 6. — С. 12–17.
3. Особенности сварки высоконикелевых дисперсионотвердеющих жаропрочных сплавов и ремонта изготавливаемых из них изделий / В. С. Савченко, К. А. Ющенко, Н. И. Саволей, А. В. Шавель // Автомат. сварка. — 1993. — № 10. — С. 31–33.
4. Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т. II: Внутренние напряжения, деформации и фазовые превращения. — М.: Металлургия, 1976. — 600 с.
5. Демьянцев В. П., Михайлов Н. П. Исследование распределения тепла микроплазменной дуги при смещении центра пятна нагрева с оси стыка // Свароч. пр-во. — 1973. — № 6. — С. 1–3.
6. Гладкий П. В. Тепловые характеристики дуги наплавочных плазмотронов // Автомат. сварка. — 1999. — № 1. — С. 13–17.
7. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.
8. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. / Под ред. Н. А. Ольшанского. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 1. — 504 с.
9. Glickstein S. S., Frieman E., Yenischvich W. Investigation of alloy 600 welding parameters // Welding J. — 1975. — № 4. — P. 113–122.
10. Lee S.-Y., Na S.-J. A numerical analysis of a stationary gas tungsten welding arc considering various electrode angles // Ibid. — 1996. — № 9. — P. 269–279.
11. Исследование особенностей деформационных процессов при сварке никелевых сплавов с ограниченной свариваемостью / К. А. Ющенко, В. С. Савченко, Н. О. Червяков, Е. А. Великоиваненко // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. тр. междунар. конф., 16–20 сент. 2002 г., пос. Кацивели, Крым, Украина. — Киев: Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, 2002. — С. 127–132.
12. Eagar T. W., Tsai N.-S. Temperature fields produced by traveling distributed heat sources // Welding J. — 1983. — № 12. — P. 346–354.
13. Liu W., Tian X., Zhanc X. Preventing weld hot cracking by synchronous rolling during welding // Ibid. — 1996. — № 9. — P. 297–304.
14. Ющенко К. А., Калина П. П., Яровицын А. В. Особенности процесса микроплазменной порошковой наплавки // Автомат. сварка. — 2005. — № 4. — С. 9–15.

Energy and thermal characteristics of low-amperage arcs have been studied. It is established that the low-amperage arcs in argon-arc welding are characterized by a higher (3-5 times) concentration of the heat flow compared to arcs in plasma-arc cladding. Heat input and heat flow concentration are the main parameters, allowing control of weld pool formation and deformation condition of the metal in the HAZ in broad ranges.

Поступила в редакцию 17.02.2005



ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА МИКРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОВОЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. С. БОРИСОВ, д-р техн. наук, А. Н. КИСЛИЦА, С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Техника микроплазменного напыления покрытий обеспечивает малый размер пятна напыления (несколько миллиметров), отличается небольшими габаритами оборудования и низким уровнем шумовыделения. С целью использования проволоки как исходного материала для напыления покрытий сконструирован микроплазматрон с устройством для подачи проволоки. Исследованы структура и свойства покрытий, полученных микроплазменным способом с использованием проволоки из Mo, W, Ti, Ni-Cr, Cu, Al, латуни, Sn и стали. Результаты исследований свидетельствуют о возможности получения таким путем плотных покрытий при размере пятна напыления в пределах 3...8 мм.

Ключевые слова: микроплазменное напыление, плазматрон, механизм подачи проволоки, распыление проволоки, проволочные материалы, медь, вольфрам, покрытие, микроструктура

Одним из способов газотермического напыления является нанесение покрытий с использованием в качестве исходных материалов проволок. Напыление покрытий из проволочных материалов производят плазменным, газоплазменным способами и электродуговой металлization. Плазменный способ может реализовываться по схемам проволока — анод и нейтральная проволока. В качестве исходных материалов используют как сплошные проволоки из металлов и сплавов (медь, алюминий, железо, титан, никель, хром, молибден, вольфрам, различные сплавы и т. д.), так и порошковые различного состава [1].

Процесс плазменного напыления проволочных материалов характеризуется следующими особенностями:

все частицы, образующиеся при распылении проволоки, представляют собой капли расплава; точность и стабильность расхода распыляемого материала;

в схеме проволока — анод обеспечивается высокая производительность процесса напыления.

Благодаря перечисленным выше особенностям, покрытия, получаемые плазменным напылением из проволок, имеют плотную ламелярную структуру, низкую пористость, высокую прочность и твердость, малый разброс показателей микротвердости, низкое содержание оксидов в покрытии [2, 3]. До настоящего времени напыление с применением проволочных материалов проводили с помощью плазматронов достаточно большой мощности. Например, в установке УПУ-8М используется плазматрон мощностью до 40 кВт,

который может проводить напыление из проволочных материалов диаметром 0,8...1,2 мм. При нанесении покрытий на детали с толщиной стенок менее 1 мм возникает опасность местного перегрева и коробления изделия, а в случае необходимости напыления на узкие ребра или дорожки наблюдается большая потеря напыляемого материала.

За последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона создан новый вариант плазменного напыления — микроплазменное напыление [4–6]. Установка МПН-004 включает источник питания с панелью управления, плазматрон и специальное устройство для подачи порошка. Конструкция плазматрона защищена патентом Украины [7]. Параметры его работы обеспечивают формирование ламинарной плазменной струи, что обуславливает ряд особенностей процесса микроплазменного напыления:

уменьшение размера пятна напыления до 1...5 мм (угол раскрытия ламинарной плазменной струи составляет всего 2...6 вместо 10...18° для турбулентных плазменных струй, а диаметр сопла 0,8...2 мм);

возможность нанесения покрытий на изделия малых размеров и с тонкими стенками без локального перегрева и коробления (низкая тепловая мощность микроплазменной струи позволяет снизить нагрев основы);

низкий уровень звука ламинарной плазменной струи (30...50 дБ).

Характеристика установки МПН-004 для микроплазменного напыления покрытий

Рабочий газ	аргон
Защитный газ	аргон
Мощность, кВт	≤ 3,0
Сила тока, А	10...50
Напряжение, В	≤ 60
Расход плазмообразующего газа, л/ч	10...250
Расход защитного газа, л/ч	60...400
Габариты, мм	390×225×205
Масса, кг	14



В ИЭС им. Е. О. Патона разработан микроплазменный способ нанесения покрытий с использованием проволоочных материалов [8, 9]. Он позволяет реализовать преимущества проволоочного способа газотермического напыления в условиях микроплазменной струи. С этой целью создана специализированная приставка к плазматрону, входящая в состав установки МПН-004 для микроплазменного напыления (рис. 1). Приставка представляет собой компактный механизм подачи проволоки в межэлектродный участок плазменной струи. Подающий механизм имеет возможность регулировки скорости подачи проволоки путем изменения количества оборотов на валу электродвигателя. Приставка имеет малую массу и крепится на место порошкового дозатора.

Конструктивной особенностью плазматрона является выносной анод. Для стабилизации плазменной струи и защиты анода осуществляется подача защитного газа — аргона. Наличие защитной атмосферы в зоне плавления проволоки позволяет снизить степень окисления напыляемого материала, что особенно важно при напылении активных металлов таких, как вольфрам, молибден, титан, цинк, латунь.

Анализ условия отрыва капли в условиях плазменного распыления проволоки показал, что отрыв капли наступает, когда усилие, создаваемое струей F_c , будет равно или превысит силу поверхностного натяжения $F_{п.н.}$, удерживающую ее на торце [3]. Это условие может быть представлено следующим равенством:

$$F_c \geq F_{п.н.} \quad (1)$$

На образующуюся каплю в потоке действует сила лобового давления струи, которая может быть подсчитана по выражению

$$F_c = 0,5c_x \rho v^2 S, \quad (2)$$

где c_x — коэффициент лобового сопротивления струи, зависящий от числа Рейнольдса; ρ — плотность газа струи; v — скорость плазменной струи; S — площадь миделевого сечения капли расплава.

Как видно из формулы (2), F_c зависит от скорости потока v . Сила, удерживающая каплю на торце проволоки $F_{п.н.}$, пропорциональна диаметру проволоки d и силе поверхностного натяжения данного металла σ :

$$F_{п.н.} = \pi d \sigma. \quad (3)$$

Для распыления проволоки микроплазменной струей ($F_c > F_{п.н.}$) необходимо обеспечивать скорость плазменной струи более высокую, чем в условиях напыления порошков. Скорость плазменной струи в свою очередь зависит от диаметра сопла, расхода плазмообразующего газа и мощности плазматрона. Расход плазмообразующего

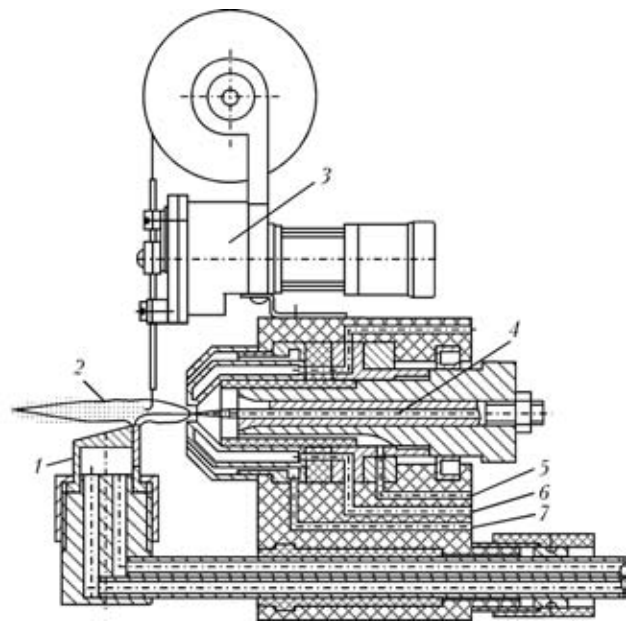


Рис. 1. Схема плазматрона для микроплазменного напыления проволоочными материалами: 1 — анод; 2 — плазменная струя; 3 — механизм подачи проволоки; 4 — катод; 5–7 — канал подачи соответственно плазмообразующего газа, воды и защитного газа

газа при распылении проволоки в 1,5...2 раза выше, чем при напылении порошковых материалов [5, 6].

Температура струи аргоновой плазмы в условиях микроплазменного напыления в результате большей мощности, приходящейся на единицу расхода плазмообразующего газа, превышает температуру аналогичной струи, получаемой в обычных плазматронах. Высокая температура струи дает возможность снизить силу поверхностного натяжения отрывающейся капли за счет перегрева расплава. Снизить силу, удерживающую каплю на торце проволоки $F_{п.н.}$, можно также путем уменьшения диаметра распыляемой проволоки d . В связи с этим проволоку из тугоплавких металлов предпочтительно выбирать меньшего диаметра. Например, для распыления вольфрамовой проволоки ($\sigma = 2,3 \text{ Дж/м}^2$) ее диаметр должен быть 0,2 мм, хотя стальная ($\sigma = 1,78 \text{ Дж/м}^2$) и медная ($\sigma = 1,35 \text{ Дж/м}^2$) проволоки хорошо распыляются при диаметре 0,3 мм.

Рассматривая равенство (1) при допущении, что c_x и ρ являются постоянными, можно найти зависимость относительной скорости струи (для алюминия она принята 1), необходимой для распыления проволоки, от поверхностного натяжения различных материалов (рис. 2). Видно, что для материалов с высоким значением поверхностного натяжения (вольфрам, молибден) скорость распыляющей струи должна быть гораздо выше, чем для материалов с низким значением поверхностного натяжения (алюминия, меди, титана).

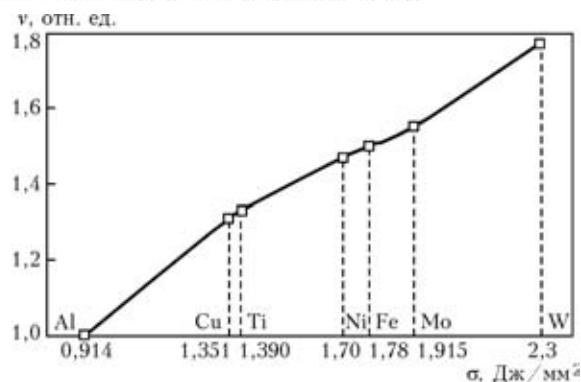


Рис. 2. Зависимость необходимой скорости плазменной струи от поверхностного натяжения разных материалов

Таким образом, при распылении проволоки в процессе микроплазменного напыления благоприятные условия создаются в результате сочетания следующих факторов: высокой удельной мощности (высокой энтальпии плазменной струи); высокой температуры плазменной струи; высокой скорости плазменной струи; использования проволок малого диаметра (0,3 мм).

В результате проведенных экспериментов установлено, что стабильный процесс распыления нейтральной проволоки микроплазменной струей с формирующим соплом диаметром 0,8 мм и рас-

ходом плазмообразующего газа до 300 л/ч наблюдается при использовании проволоки диаметром 0,2...0,4 мм. Проволока диаметром 0,2 мм используется для тугоплавких металлов таких, как вольфрам (3395), молибден (2620 °С), 0,3 мм — для стальной, медной, нихромовой, титановой и др., 0,4 мм — для легкоплавких металлов таких, как свинец (327), олово (232 °С) и др. Скорость подачи проволоки в межэлектродный участок плазменной струи зависит от количества теплоты, необходимой для плавления единицы объема проволоки, т. е. от ее диаметра и теплофизических свойств материала. Количество теплоты, необходимое для плавления 1 см проволоки, можно определить по формуле

$$Q_{\text{пл}} = [c_p(T_{\text{пл}} - T_0) + C] \rho \cdot 0,01 \pi d_{\text{пр}}^2 / 4. \quad (4)$$

Учитывая свойства используемых материалов и то, что $T_0 = 293 \text{ K}$, можно найти значения $Q_{\text{пл}}$ для каждого из материалов.

Результаты расчетов представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что для медной и титановой проволоки диаметром 0,3 мм ($Q_{\text{пл}} \approx 3,8 \cdot 10^2 \text{ Дж}$) оптимальные условия распыления достигаются при более высоких скоростях подачи проволоки

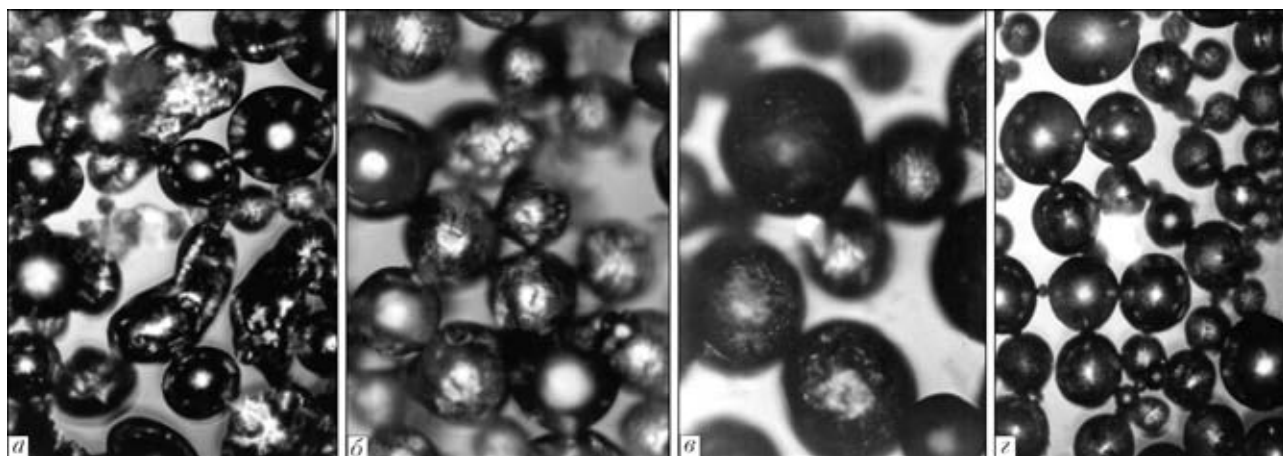


Рис. 3. Внешний вид частиц порошка, полученных распылением проволоки микроплазменной струей, $\times 200$: а — вольфрам; б — медь; в — нихром; г — сталь (0,65 % С, 1 % Мп)

Т а б л и ц а 1. Количество теплоты, необходимое для плавления 1 см проволоки диаметром $d = 0,3 \text{ мм}$ для разных материалов

Материал	Плотность материала ρ , кг/м ³	Температура плавления $T_{\text{пл}}$, К	Теплота плавления $C \cdot 10^{-5}$, Дж/кг	Удельная теплоемкость $c_p \cdot 10^{-3}$, Дж/(кг·К)	Количество теплоты, необходимое для плавления 1 см проволоки диаметром 0,3 мм, $Q_{\text{пл}} \cdot 10^{-2}$, Дж
Fe	7860	1811	2,48	0,45	5,173
Cu	8920	1353	2,06	0,38	3,838
Al	2710	933	4,01	0,91	1,884
Ni	8960	1728	2,98	0,46	6,068
Ti	4500	1941	3,59	0,52	3,868
Mo	10200	2890	3,82	0,25	7,435
W	19230	3660	1,92	0,13	8,559



Таблица 2. Параметры микроплазменного проволоочного напыления в зависимости от материала проволоки (экспериментальные данные)

Параметр	Материал проволоки						
	сталь	Cu	Ni-Cr	латунь	Ti	Mo	W
Диаметр проволоки, мм	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Скорость подачи проволоки, м/мин	5,0	6,0	4,5	5,5	5,5	8,0	9,0
Напряжение, В	30	32	32	25	25	32	32
Ток, А	45	48	48	20	30	48	50
Удельная мощность, Вт/л	13,5	17,1	15,4	3,3	5	14	13,3
Расход плазмообразующего газа, л/ч	100	90	100	150	150	110	120
Расход защитного газа, л/ч	180	200	200	400	350	300	300
Расход напыляемого материала, г/мин	2,75	3,7	3,3	2,7	1,6	2,6	2,2

по сравнению со стальной и никромовой того же диаметра ($Q_{пл} > 5 \cdot 10^2$ Дж). Установлено, что для обеспечения стабильного процесса микроплазменного напыления покрытий из молибдена и вольфрама следует использовать проволоку диаметром 0,2 мм, более высокие значения силы тока и расхода газов. Скорость подачи проволоки в данном случае достигала 10 м/мин, что в 3...5 раз выше по сравнению с традиционными способами плазменного напыления с использованием проволоочных материалов [10, 11].

Для определения фракционного состава порошков, полученных распылением проволоки микроплазменной струей, а также изучения формы частиц продукта распыления разных материалов проведен сбор порошка в воду. Режимы распыления проволоки соответствуют режимам, указанным в табл. 2. Все порошки собирали в ванну, наполненную водой, на расстоянии 300 мм от точки распыления и под углом 30° к поверхности воды. После удаления воды порошки просушивали в сушильном шкафу (рис. 3). Фракционный

Таблица 3. Фракционный состав порошков, полученных распылением проволоки микроплазменной струей

Материал проволоки	Размеры частиц порошка, мкм					
	0...20	20...45	45...63	63...80	80...100	100...160
Медь	15	30	40	10	5	—
Нихром	10	15	50	15	10	—
Сталь (0,65 % C, 1 % Mn)	29	15	20	15	10	1
Вольфрам	10	10	15	20	30	15

состав порошков определяли с помощью металлографического микроскопа (рис. 4). Результаты исследований продуктов распыления разных материалов представлены в табл. 3. Так, например, для частиц никрома преобладает фракция 45...63 мкм, а количество остальных фракций симметрично уменьшается. В случае порошка стали (0,65 % C, 1,0 % Mn) преобладает фракция 0...20 мкм, а количество остальных фракций уменьшается в сторону увеличения размеров частиц. При распылении вольфрамовой проволоки количество частиц разных фракций примерно одинаково и лишь некоторое увеличение наблюдается в диапазоне размеров 63...100 мкм.

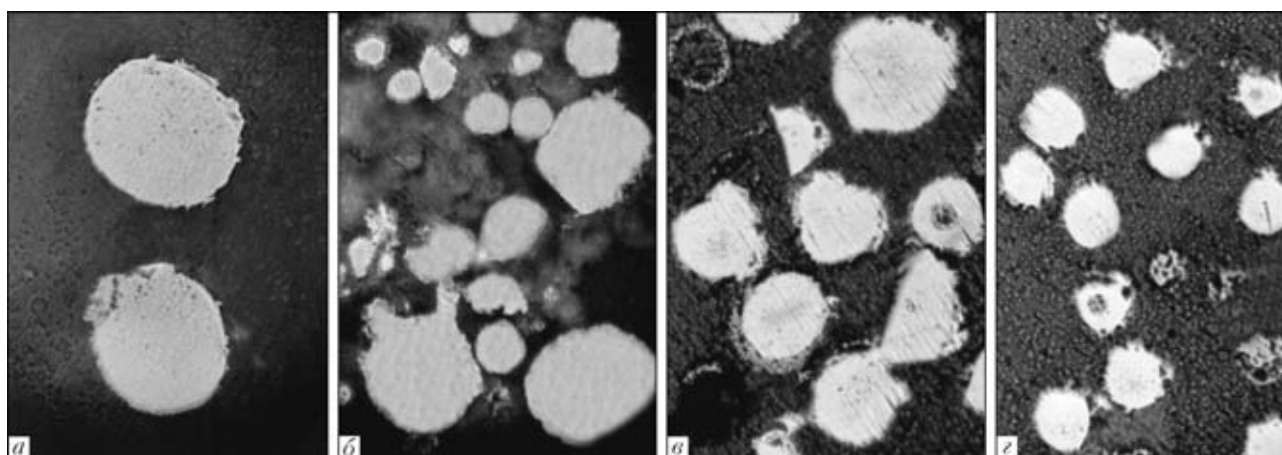


Рис. 4. Микроструктура поперечного сечения частиц порошка, полученных распылением проволоки микроплазменной струей: а — вольфрам, $\times 400$; б — медь, $\times 400$; в — никром, $\times 250$; з — сталь (0,65 % C, 1 % Mn), $\times 200$

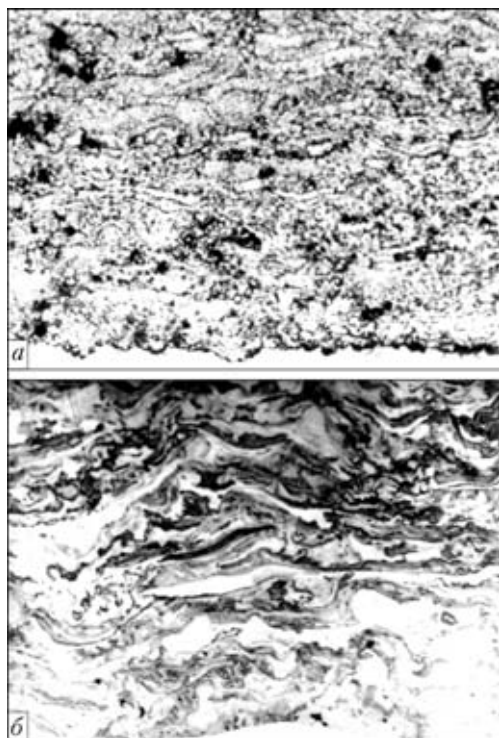


Рис. 5. Микроструктура (X200) плазменных покрытий, полученных методом микроплазменного распыления проволок из вольфрама (травленое) (а) и меди (нетравленое) (б)

В результате экспериментов по определению оптимальных условий микроплазменного напыления покрытий с использованием проволок из различных материалов и при разном диаметре проволоки установлены зависимости расходов плазмообразующего и защитного газов, напряжения и тока, диаметра и скорости подачи проволоки от материала проволоки. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

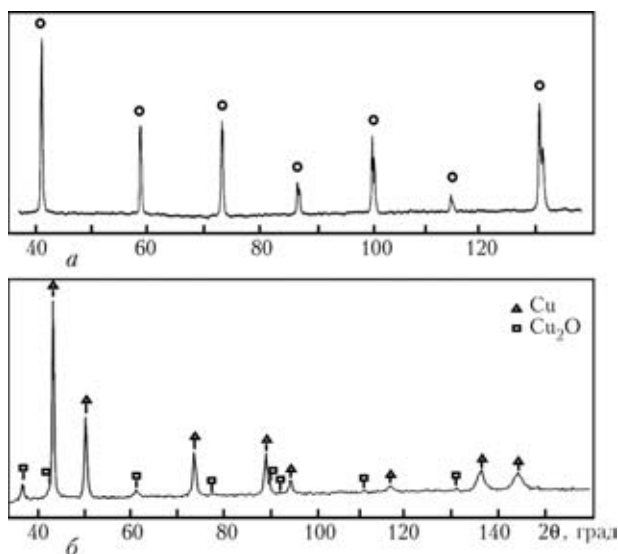


Рис. 6. Фазовый состав покрытий из вольфрама (а) и меди (б), полученных методом микроплазменного распыления проволок из материалов

Микроструктура плазменных покрытий, полученных при распылении проволок из вольфрама и меди, представлена на рис. 5.

Покрытие из вольфрама толщиной 1,0 мм имеет достаточно плотную структуру, без сколов и трещин, хорошо прилегает к основе. Структура lamellarная. Внутренняя структура lamелей мелкодисперсная, местами столбчатая. Толщина lamелей 5...10 мкм. Согласно данным рентгеноструктурного фазового анализа (рис. 6, а) покрытие содержит одну фазу — вольфрам. Микротвердость покрытия из вольфрама составляет 1880...2060 МПа.

Медное покрытие (рис. 5, б) толщиной 0,5 мм, как и вольфрамовое, имеет плотную структуру, без сколов и трещин, хорошо прилегает к основе. Структура lamellarная гетерогенная. Толщина lamелей 5...30 мкм. Основной фазой покрытий является медь (рис. 6, б), кроме того, имеются включения Cu_2O и области эвтектики $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$. Микротвердость покрытия из меди составляет 450...610 (медь), 870...910 (Cu_2O); 1000...1100 МПа (эвтектика $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$).

Выводы

1. Факторами, влияющими на процесс микроплазменного напыления с использованием проводочных материалов, являются сила тока, расход плазмообразующего газа, диаметр проволоки и скорость ее подачи. Анализ условий отрыва капли при микроплазменном распылении проволоки показал, что в этом случае необходимым является использование проволок малого диаметра (0,2...0,4 мм) и применение повышенных скоростей подачи проволоки (5...10 м/мин).

2. Расход плазмообразующего газа (аргона) связан с диаметром проволоки и поверхностным натяжением расплава металла. Установлена зависимость необходимой скорости плазменной струи, при которой обеспечиваются оптимальные условия образования капли расплава на торце проволоки и последующего дробления (диспергации), от поверхностного натяжения расплава разных металлов.

3. При распылении проволоки содержание частиц размером менее 63 мкм в случае меди составляет 85, стали и нихрома — 75, вольфрама — 35 мас. %. Форма частиц близка к сферической.

4. Анализ микроструктуры покрытий показал, что микроплазменное покрытие, полученное распылением проволоки, имеет плотную структуру (с толщиной lamелей 5...30 мкм) при невысокой степени окисления материала, что связано с применением защитного газа.

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская: Справочник. — Киев: Наук. думка, 1987. — 544 с.



2. Борисов Ю. С., Борисова А. Л. Плазменные порошковые покрытия. — Киев: Техніка, 1986. — 223 с.
3. Краснов А. Н., Шаривкер С. Ю., Зильберберг В. Г. Низкотемпературная плазма в металлургии. — М.: Металлургия, 1970. — 216 с.
4. Microplasma spraying / K. Yushchenko, Yu. Borisov, Yu. Pereverzev et al. // Proc. of the 14th Intern. thermal spray conf., Kobe, 1995. — P. 237–274.
5. Investigation of the microplasma spraying processes / Yu. Borisov, I. Sviridova, S. Voynarovich et al. // Proc. of the Intern. thermal spray conf., Essen, 2002. — P. 335–338.
6. Microplasma spraying of bioceramic coatings / V. Bobrik, S. Voynarovich, N. Ulianchich et al. // Proc. of the Intern. thermal spray conf., Orlando, 2003. — Vol. 1. — P. 553–558.
7. Пат. Украины 1848 В23К10/00. Плазматрон для напыления покрытий / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, А. А. Фомакин, К. А. Ющенко. — Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
8. Борисов Ю. С., Кислица А. Н. Микроплазменное напыление с использованием проволоочных материалов // Автомат. сварка. — 2002. — № 3. — С. 54–55.
9. Microplasma wire spraying / Yu. Borisov, A. Kislitsa, S. Voynarovich // Proc. of the Intern. thermal spray conf. and exposition ITSC 2004 «Thermal Spray Solutions Advances in Technology and Application», Osaka, Japan, 2004.
10. Образование частиц при плавлении проволоки в плазменном потоке / Г. В. Бобров, В. И. Привезенцев, Л. В. Умнова, Н. С. Суров // Порош. металлургия. — 1969. — 77, № 5. — С. 104–111.
11. К механизму плазменного распыления проволоки / В. А. Петруничев, В. В. Титков // Физ. и химия обработки металлов. — 1977. — № 1. — С. 14–16.

The technology for microplasma spraying of coatings provides a small size of the spraying spot (several millimetres), is characterised by small dimensions of the equipment involved and a low level of noise. Microplasmatron with a special wire feed device has been designed to utilise wire as a source material for spraying. Structure and properties of coatings produced by the microplasma method using Mo, W, Ti, Ni-Cr, brass, Al and steel wires have been investigated. The investigation results prove the possibility of utilising this method for production of dense coatings, the spraying spot ranging from 3 to 8 mm.

Поступила в редакцию 18.02.2005



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «КОРРОЗИЯ-2006»

6–8 июня 2006 г.

г. Львов

Организаторы: Европейская коррозионная федерация, Национальная академия наук, Министерство образования и науки, Министерство промышленной политики Украины, Украинская ассоциация коррозионистов, Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины

Тема выставки:

- оборудование для подготовки поверхности перед нанесением покрытий;
- технологии и оборудование для нанесения защитных металлических, полимерных и лакокрасочных покрытий;
- противокоррозионные и защитные материалы;
- оборудование для электрохимзащиты металлоконструкций;
- средства неразрушающего контроля и технической диагностики;
- приборы и методы для оценки коррозионной стойкости материалов;
- ингибиторы и биоциды;
- экологические аспекты противокоррозионной защиты

Одновременно с выставкой пройдет 8-я Международная научная конференция «Проблемы коррозии и противокоррозионной защиты конструкционных материалов».

Контактные телефоны: (0322) 63-15-77; 229 62 53; факс (0322) 63 15 77.
E-mail: pokhmurs@ipm.lviv.ua, kornii@ipm.lviv.ua



Республика Индия является к одной из крупнейших стран азиатского региона. Ее площадь превышает 3288 тыс. кв. км, население к середине 2005 г. составило 1081 млн чел. За последнее десятилетие Индия добилась существенных экономических достижений и по праву вошла в число ведущих стран мира, для которых характерно динамичное развитие экономики. Так, ежегодные темпы роста индийской экономики за период 1992–2004 гг. в среднем составили 6 %.

В 2004 г. внутренний валовый продукт (ВВП) Индии составил 735,6 млрд дол. Структуру ВВП в основном формируют три сектора, %: аграрный — 23,6, индустриально-промышленный — 28,4 и услуг (обслуживание) — 48,0. Именно оживление в сфере услуг (к которым, в частности, относят образование, научные исследования, информационные технологии, в том числе программные продукты) способствовало в 2004–2005 финансовом году (ф. г.) увеличению ВВП на 6,2 %. По прогнозам Немецкого института экономики, Индия в 2006 г. по темпам роста ВВП (6,5 %) по сравнению с 2005 г. выйдет на второе место в мире после Китая, для которого ожидаемый темп прироста ВВП составит 8,5 %. Для современной Индии характерен интенсивный приток внешних инвестиций; объем прямых иностранных инвестиций в индийскую экономику в 2004–2005 ф. г. возрос почти в 3 раза и составил 15 млрд дол. по сравнению с 2003–2004 ф. г. (5,6 млрд дол.).

Индия богата полезными ископаемыми, в том числе железной рудой и углем; в 2005 г. добыча железной руды составила 385 млн т, а угля — 74,5 млн т. Это предопределяет интенсивное развитие национальных черной металлургии, машиностроения и строительства. Производство стали в Индии в 1950 г. не превышало 2 млн т, а в 2005 г. индийская металлургия выпустила уже более 38 млн т стали и по этому показателю вошла в десятку крупнейших стран мира, заняв девятое место.

К 2020 г. планируется увеличить производство стали до 110 млн т. Рост экономики страны соответственно сопровождается увеличением потребления стальной металлопродукции; в 2004 г. оно уже превысило 32 млн т. По оценкам индийских аналитиков, прогнозируется устойчивый рост потребления стали, который примерно на 5 % в год будет опережать объемы ее внутреннего производства. Специалистам хорошо известно, что 60...70 % готового проката, потребляемого промышленностью и строительством, перерабатывается с применением сварки и родственных технологий при производстве сварных изделий, конструкций и сооружений. В соответствии с увеличением потребления стальной металлоконструкции развивается и наращивает мощности национальное сварочное производство Индии.

Учитывая растущий интерес специалистов-сварщиков к успехам Индии, редакция журнала «Автоматическая сварка» предложила президенту Индийского общества сварщиков г-ну М. Л. Гехани выступить на страницах журнала со статьей о сварочном производстве Индии, которая публикуется ниже.

От редакции

УДК 621.791.001.12/18

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИНДИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М. Л. ГЕХАНИ, президент Индийского об-ва сварщиков (г. Модинагар, Индия)

Приведены данные о современном состоянии сварочного производства в Индии, перспективах его развития и международного сотрудничества в области сварочного производства. Даны сведения об объемах производства и потребления стали, сварочных материалов, а также об основных технологических процессах сварки, применяемых в Индии, перспективах разработки и использования источников питания.

Ключевые слова: сварочное производство, потребление стали, потребление сварочных материалов, сварочные процессы, источники питания, новые технологии, области сотрудничества

Потребление стали. Развитие сварочного производства и промышленности в целом в Индии пока еще идет недостаточно быстро, но будущее выглядит многообещающим. Как известно, объемы

выпуска стали в любой стране напрямую связаны с потреблением этого материала. По имеющимся прогнозам, мировое потребление стали в будущем превысит 1000 млн т. Потребление стали в Индии в 2003 г. составило приблизительно 30,4 млн т, а в 2004–2005 гг. — около 32,5 млн т. С учетом того, что в Индии проживает примерно 16 % населения мира, потребление стали здесь равно приблизительно 3 % мирового. Потребление стали на душу населения в Индии составляет око-

ло 30 кг (в сельскохозяйственных районах — 2 кг), а в развитых странах — приблизительно 450 кг (в среднем 150 кг). При этом потребление стали на душу населения в Китае в 2003 г. равнялось 250 кг, а к 2004 г. возросло еще больше.

Индия располагает богатыми запасами железной руды и является одним из производителей наиболее дешевой низкоуглеродистой стали в мире. В 2004–2004 гг. эта страна экспортировала 5,3 млн т стали, что составляло 15 % ее производства. Из этого следует, что потребление стали в Индии будет непрерывно увеличиваться. Согласно существующим оценкам этот показатель в ближайшие годы будет колебаться от 6 до 7 %. Все основные производители стали в разных странах постоянно увеличивают свои мощности. В соответствии с существующей политикой в этой области прогнозируемые мощности в Индии к 2010 г. составят приблизительно 60 млн т, а к 2020 г. — 110 млн т. Министерство стали Индии прогнозирует потребление стали в стране к 2020 г. 100 млн т. В настоящее время два крупнейших мировых производителя, а именно «Миттал Стил Компани» и ПОСКО, готовятся к запуску в Индии заводов по производству стали. Таким образом, с большой долей вероятности можно предполагать, что потребление стали в Индии составит 6,5 %.

Основные факторы, влияющие на потребление стали. *Строительство.* В обзоре «Исследование глобального строительства в 2003 г.», составленном по данным 55 крупнейших строительных рынков мира «Глобал Инсайт Инк.» (США), приведены оценка и прогнозы до 2025 г. расходов строительной промышленности. Прогнозируется умеренный рост капиталовложений в строительство в различных странах мира до 2012 г., при этом в Индии ожидаются самые высокие (9,2 %) темпы роста среди стран с развитой экономикой, даже выше, чем в Китае. Предполагается, что Индия и Китай (именно в такой последовательности) обеспечат компаниям широкие возможности в строительной индустрии. Инициативы правительства Индии направлены на развитие инфраструктуры, строительство автомобильных и железных дорог, мостов и линий электропередач, что будет способствовать обеспечению темпов роста (10,6 %) в течение последующих пяти лет. Правительство также планирует выполнение проектов, связанных с развитием и модернизацией портов на восточном и западном побережьях Индии. Если в Индии будут реализовываться планы по соединению рек, то размах строительства увеличится еще больше.

Изготовление металлопродукции. В машиностроении и металлообработке, благодаря наличию специалистов, низкой стоимости рабочей силы, а значит, и изделий, Индия делает гигантские ша-

ги. Многие из крупных производителей, включая «Ларсен и Турбо», «Бхарат Хэви Электрикалз Лтд.», ИСГЕК и другие компании, получили контракты на изготовление сосудов давления, теплообменников, колонн, оборудования электрических установок и других изделий в разных странах, включая Китай.

Конкурентоспособность. Одна из ведущих бизнес-школ Европы ИМД (Швейцария) ежегодно в специальном «Ежегоднике» публикует отчет о конкуренции в мире. Как следует из представленных данных, в 2004 г. Индия поднялась с 50-го места, где находилась в 2003 г., на 34-е. Это самый крупный скачок по сравнению с любой из 60 стран, информация о которых включена в «Ежегодник», и, более того, самый высокий рейтинг, достигнутый Индией на сегодня. Такое значительное улучшение положения Индии обусловлено прогрессом по трем из четырех параметров, которыми измеряется конкурентоспособность — экономические показатели, эффективность бизнеса и работа правительства. Что касается четвертого параметра — инфраструктуры, здесь Индия по-прежнему находится у нижней черты. В прошлом она занимала 58-м месте, а за последние годы поднялась на 57-е.

Прочие факторы. В 2003 г. в Индии вступил в силу Закон об электричестве, введение которого, несомненно, повысит интерес инвесторов к производству и распределению электроэнергии; этой проблеме не уделялось должного внимания более десяти лет. В автомобильной промышленности в настоящее время наблюдается бум; в промышленности, производящей товары длительного пользования, положение постепенно улучшается.

Потребление сварочных материалов. Исходя из реального потребления стали в 2003–2004 гг. (30,4 млн т) общее количество наплавленного металла в эти годы составило 152 тыс. т (0,5 % производство стали). Промышленные предприятия, производящие сварочные материалы в Индии, очень раздроблены, причем приблизительно 1/3 общего объема выпуска сварочных материалов приходится на 100 малых предприятий. Поэтому чрезвычайно сложно определить долю различных сварочных процессов в потреблении металла. Тем не менее, на основании имеющихся данных можно предположить, что доля дуговых процессов сварки за 2003–2004 гг. составила ориентировочно для сварки плавящимся покрытым электродом 75 %, под флюсом 7 %, вольфрамовым электродом в защитных газах и других способов сварки 1 %.

Прогнозируется, что потребление стали в Индии возрастет на 6,5 %. По мере развития промышленности доля дуговой сварки плавящимся покрытым электродом уменьшится, а доля процесса дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах увеличится. Такое явление в нас-



тоящее время наблюдается во всех развитых и развивающихся странах. Предполагается, что доля дуговой сварки покрытыми электродами постепенно снизится (в настоящее время она составляет до 65 %), а доля дуговой сварки плавящимся электродом в активных газах в течение десяти лет, начиная с 2003 г. возрастет с 17 до 27 %.

Как это наблюдается и в развитых странах, доля дуговой сварки под флюсом значительно не изменится по сравнению с настоящей (7 %). Доля дуговой сварки вольфрамовым электродом в защитных газах и других сварочных процессов по-прежнему будет составлять 1 %.

Реальная и прогнозируемая картины применения основных процессов сварки и сварочных материалов в течение следующих восьми лет приведены в таблице.

По приблизительным оценкам потребление порошковой проволоки национальной и импортной за 2003 г. составило около 3000 т, что включает потребление проволок как для получения неразъемных соединений, так и наплавки. Характерно, что при использовании порошковых проволок обеспечивается высокое качество швов. В Индии существует несколько компаний, изготавливающих порошковые проволоки для сварки и высокотвердой наплавки. Однако их высокая стоимость сдерживает ее широкое применение. В ре-

зультате для дуговой сварки в защитных газах порошковой проволоки используется приблизительно только 10 % общего объема и менее 2 % общего объема металла, наплавленного электродами. Это очень низкие показатели по сравнению с развитыми странами, где приблизительно 25 % общего объема металла шва наплавляется с использованием порошковых и/или проволок с металлическим сердечником. Если цена на порошковую проволоку в стране снизится, дуговая сварка порошковой проволокой будет применяться значительно шире.

Источники питания. В плане источников питания для дуговой сварки Индия является страной контрастов — широко используются устаревшие сварочные трансформаторы сварщиками, выполняющими у обочины дорог работы по автосервису, что является обычным явлением для Индии. При этом имеет место значительный расход электроэнергии. На производстве и в строительстве наблюдается постепенный переход от устаревших выпрямителей к выпрямителям на кремниевых диодах (тиристорах), что экономит электроэнергию. Благодаря достижениям в области силовой электроники их стоимость значительно ниже, чем генераторов.

Несмотря на то, что в настоящее время Индия в основном импортирует инверторы, количество используемых инверторных источников питания непрерывно возрастает. Применение инверторов снижает потребление электроэнергии на 30...40 %, стоимость которой в Индии одна из самых высоких в мире. В связи с этим можно предположить, что использование инверторов в данной стране должно резко возрасти. Этому в значительной степени способствует наличие инверторных источников питания на рынке, а также создание соответствующих сервисных центров.

Новые технологии. В Индии начали внедрять такие процессы, как электронно-лучевая сварка, лазерная сварка и резка, лазерная пайка, гибридная лазерная + дуговая сварка, резка водной струей, двухдуговая сварка под флюсом в узкий зазор, автоматическая плазменная дуговая сварка прямой дугой, импульсная дуговая сварка плавящимся электродом (двумя проволоками), плазменная дуговая сварка, роботизированная сварка, сварка плазменной дугой при переменной полярности и сварка трением с перемешиванием. Эти новые технологии находят применение в аэрокосмической промышленности, атомной энергетике, при изготовлении сосудов давления, клапанов и др.

Можно предположить, что рост использования новых технологий будет возрастать по мере того, как Индия будет бороться за повышение конкурентоспособности на мировых рынках в сферах производства металлопродукции и строительства. Положительный эффект от проведения масштаб-

Современная и прогнозируемая структура применения основных процессов сварки и сварочных материалов

Период	Сварочный процесс				Всего, т
	покры- тым элек- тродом	в актив- ных за- щитных газах	под флюсом	другие	
2003–2004	<u>114000</u> 182400	<u>25840</u> 28420	<u>10650</u> 11700	<u>1520</u> 1670	<u>152000</u> 224190
2004–2005	<u>119880</u> 191810	<u>29160</u> 32080	<u>11340</u> 12470	<u>1620</u> 1780	<u>162000</u> 238140
2005–2006	<u>125850</u> 201360	<u>32760</u> 36040	<u>12070</u> 13280	<u>1720</u> 1890	<u>172400</u> 252570
2006–2007	<u>132190</u> 211500	<u>36720</u> 40390	<u>12850</u> 14130	<u>1840</u> 2020	<u>183600</u> 268040
2007–2008	<u>138820</u> 222110	<u>41050</u> 45150	<u>13680</u> 15050	<u>1950</u> 2140	<u>195500</u> 284450
2008–2009	<u>145600</u> 232960	<u>45760</u> 50340	<u>14560</u> 16020	<u>2080</u> 2290	<u>208000</u> 301610
2009–2010	<u>153060</u> 244900	<u>51010</u> 56110	<u>15530</u> 17080	<u>2200</u> 2420	<u>221800</u> 320510
2010–2011	<u>160620</u> 256990	<u>56690</u> 62360	<u>16530</u> 18180	<u>2360</u> 2600	<u>236200</u> 340130
2011–2012	<u>168570</u> 269710	<u>62900</u> 69190	<u>17610</u> 19370	<u>2520</u> 2770	<u>251600</u> 361040
2012–2013	<u>176820</u> 282910	<u>69650</u> 76610	<u>18750</u> 20630	<u>2680</u> 2950	<u>267900</u> 383100

Примечание. В числителе приведены объемы наплавленного металла, в знаменателе — сварочных материалов.

ных работ и необходимость уложиться при поставках в сжатые сроки послужат стимулами для достижения успехов во внедрении новых высокопроизводительных и надежных процессов сварки.

Возможности для сотрудничества. В области международного сотрудничества Индия имеет множество преимуществ:

- высокий уровень подготовки инженеров, техников и управляющих;

- хорошее знание английского языка у специалистов и владение информационными технологиями;

- достаточный и постоянно повышаемый уровень квалификации рабочих;

- низкая стоимость рабочей силы;

- стабильный рост доли применения простых технологий и технологий среднего уровня и практически неограниченные возможности в области внедрения новых сварочных технологий;

- хорошее знание национального рынка у индийских компаний;

- надежная система законодательства;

- благоприятная политика правительства и открытость рынка сварочного производства для прямых зарубежных инвестиций.

Многие ведущие сварочные компании (ЭСАБ, «Линкольн Электрик», «Эрликон», «Мигатроник» и др.) уже успешно работают в Индии. Здесь открываются большие возможности для сотрудничества, поскольку страна является производственной базой не только для внутреннего потребления, но и для экспорта.

Отмеченное выше в сочетании с возможными капиталовложениями создают перспективу для дальнейшего развития сварочного производства в Индии.

Предполагаемые области сотрудничества. В Индии имеется несколько учреждений, занимающихся прикладными исследованиями в области сварочных технологий, например Институт сварочных исследований в Тричурапали, ряд техно-

логических институтов и технических колледжей. Кроме того, ведущие производители сварочных материалов и оборудования имеют свои независимые исследовательские центры. Международные исследовательские институты и сварочные компании могут сотрудничать с талантливыми специалистами, работающими в указанных исследовательских организациях.

Большая часть производителей сварочных электродов в Индии внедряют технологии, соответствующие требованиям AWS и других международных стандартов. Однако многие новые марки сварочных электродов с малым количеством примесей (что соответствует требованиям, предъявляемым к сварочным электродам при использовании в энергетических установках, работающих при высоком давлении и температуре, нефтеочистных сооружениях и нефтехимическом оборудовании) в настоящее время импортируются в страну. Транснациональные сварочные компании имеют возможность совместно с индийскими партнерами основывать свои отделения в Индии.

Как упоминалось выше, в Индии существуют перспективы для расширения использования порошковой проволоки (или проволоки с металлическим сердечником) и особенно для получения соединений и восстановительной наплавки.

Что касается сварочных источников питания и оборудования, то здесь имеются большие возможности для внедрения недорогих систем автоматизации и инверторов.

В заключение следует отметить, что в настоящее время назрела необходимость того, чтобы ведущие международные компании укрепляли свои позиции в Индии для деятельности на национальном рынке сварочной техники, а исследователи и разработчики развивали международное сотрудничество в освоении новых технологий, оборудования и материалов.

Considered are the state-of-the-art and future prospects of welding production in India, as well as the current status of international cooperation in the field of welding. The data on volumes of production and utilisation of steel and welding consumables are given. Main welding processes applied in India are reviewed. Prospects of development and application of power supplied are considered.

Поступила в редакцию 27.10.2005



КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ*

Чл.-кор. РАН **В. А. ЛОПОТА**, **Г. А. ТУРИЧИН**, д-р техн. наук, **Е. А. ВАЛДАЙЦЕВА**, **П. Е. МАЛКИН**, инженеры
(С.-Петербург. гос. политехн. ун-т, РФ),

А. В. ГУМЕНЮК, д-р (Ин-т сварки и соединения материалов, г. Аахен, Германия)

Описана система инженерного компьютерного анализа лазерной, электронно-лучевой и гибридной сварки LaserCAD, позволяющая прогнозировать форму и размеры сварочной ванны, структуру и свойства металла шва и зоны термического влияния. Система базируется на физически адекватных численно-аналитических моделях процессов лазерной и электронно-лучевой обработки, содержит базы данных на материалы и оборудование, имеет удобный для пользователя интерфейс.

Ключевые слова: лазерная сварка, электронно-лучевая сварка, лазерно-дуговая сварка, математические модели, инженерный компьютерный анализ

Современный уровень развития промышленности предполагает активное внедрение и использование новых методов проектирования технологических процессов. Системы автоматизированного проектирования значительно ускоряют процесс разработки новых технологий и позволяют создавать все более сложные технические объекты.

В настоящее время существует множество систем различного вида — CAD—CAE—CAM, предназначенных для использования в различных отраслях промышленности, а также для исследовательской деятельности. Однако в области лучевых технологий наблюдается их явный недостаток.

Современная программа инженерного проектирования должна иметь необходимые свойства (использование адекватных физической и математической моделей технологических процессов, широкую информационную базу, скорость работы, удобный диалоговый интерфейс) для обеспечения компетентного проектирования на всех или отдельных стадиях разработки технологического процесса.

Система LaserCAD предназначена для решения различного рода инженерных задач: расчета геометрических параметров предполагаемого соединения, выбора оптимальных параметров режима обработки, подбора необходимого оборудования в соответствии с необходимыми параметрами, выбора материала в соответствии с предполагаемыми свойствами соединения. Она включает модели лазерной и электронно-

лучевой сварки с глубоким проплавлением, гибридной сварки с глубоким проплавлением и поверхностным оплавлением, многоуровневую базу данных по материалам, содержащую сведения о физических свойствах и химическом составе сплавов, базу данных по технологическому оборудованию, средства диалоговой оптимизации процессов лазерной, электронно-лучевой и гибридной сварки, удобный, диалоговый интерфейс (рис. 1).

Все перечисленные модели лучевой сварки представляют собой набор физически адекватных моделей процессов, протекающих при разных видах обработки. Модель лазерной сварки с глубоким проплавлением включает решение задач теплопереноса в металл в жидкой и твердой фазах, гидродинамики течения расплава, течения металлического пара и образования лазерно-индуцированной плазмы, а также взаимодействия плазмы с лучом.

Модель гибридной сварки, за исключением процессов, характерных для лазерной сварки, учитывает также нагрев от дополнительного тепло-



Рис. 1. Блок-схема системы LaserCAD лучевой сварки металлов

* Публикуется по материалам доклада, сделанного на II Международной конференции «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов». — Киев, 23–27 мая 2005, Кацевели, Украина.

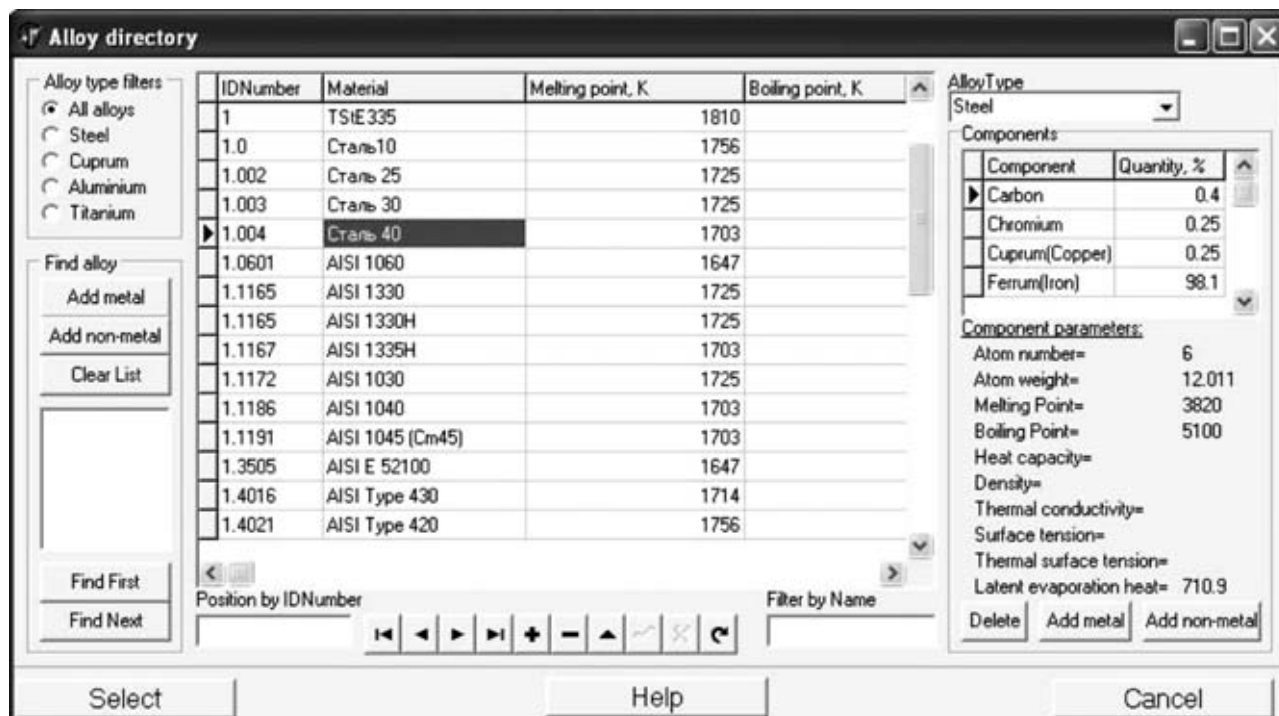


Рис. 2. База данных на свойства свариваемых материалов

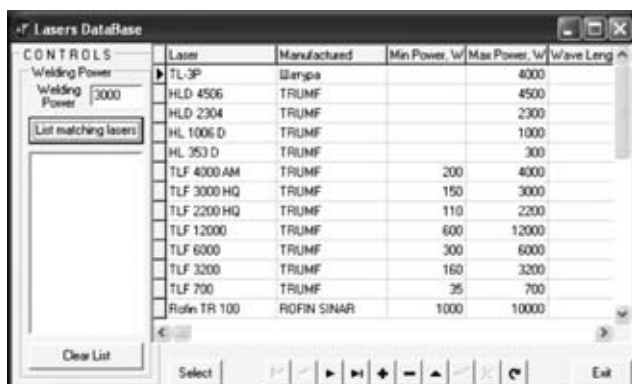


Рис. 3. База данных на лазерное оборудование

вого источника (дугового, плазменного или светового) при глубоком проплавлении и позволяет рассчитывать температурные поля при поверхностном оплавлении на основе численного решения трехмерной задачи нестационарной теплопроводности. Электронно-лучевая модель включает решение задачи тепломассопереноса, газодинамики и кинетики рассеяния паров металла в вакууме, и луча на парах металла при сварке с глубоким проплавлением.

Программа LaserCAD содержит многоуровневую комплексную справочную систему (рис. 2), включающую базу данных на свариваемый материал (сведения о физических свойствах металлов, неметаллов и сплавов, их химическом составе, структуре сталей, полученные на основе термокинетических диаграмм распада аустенита). На основе этих данных и расчетов, полученных с помощью указанных моделей, можно прогнозировать свойства металла шва и зоны термического

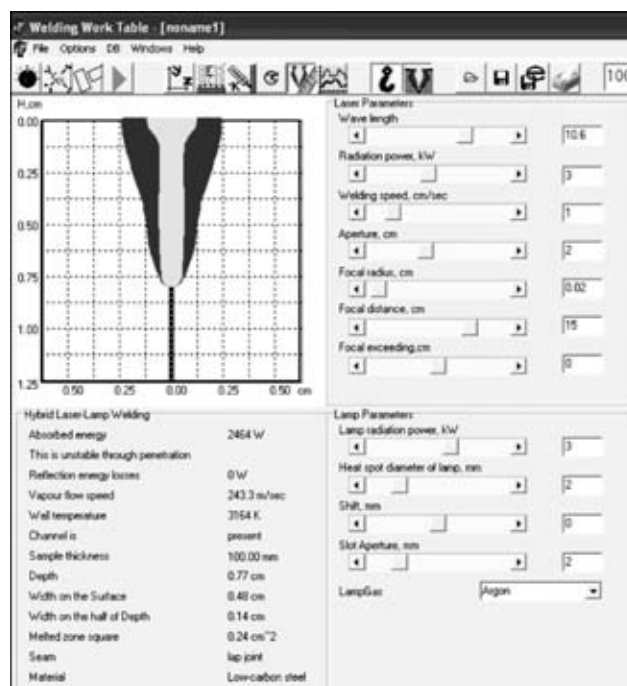


Рис. 4. Диалоговый оптимизатор для исследований

влияния. Справочная система содержит также сведения об обрабатываемом оборудовании, которое может быть выбрано в соответствии с требованиями к режиму обработки или условиями работы (рис. 3).

Базы данных открыты для редактирования и обновления, имеется также возможность прямого выхода в Интернет.

Программа LaserCAD отличается удобным интерфейсом, позволяющим работать в диалоговом режиме. Специальная функция «Ручной оптими-

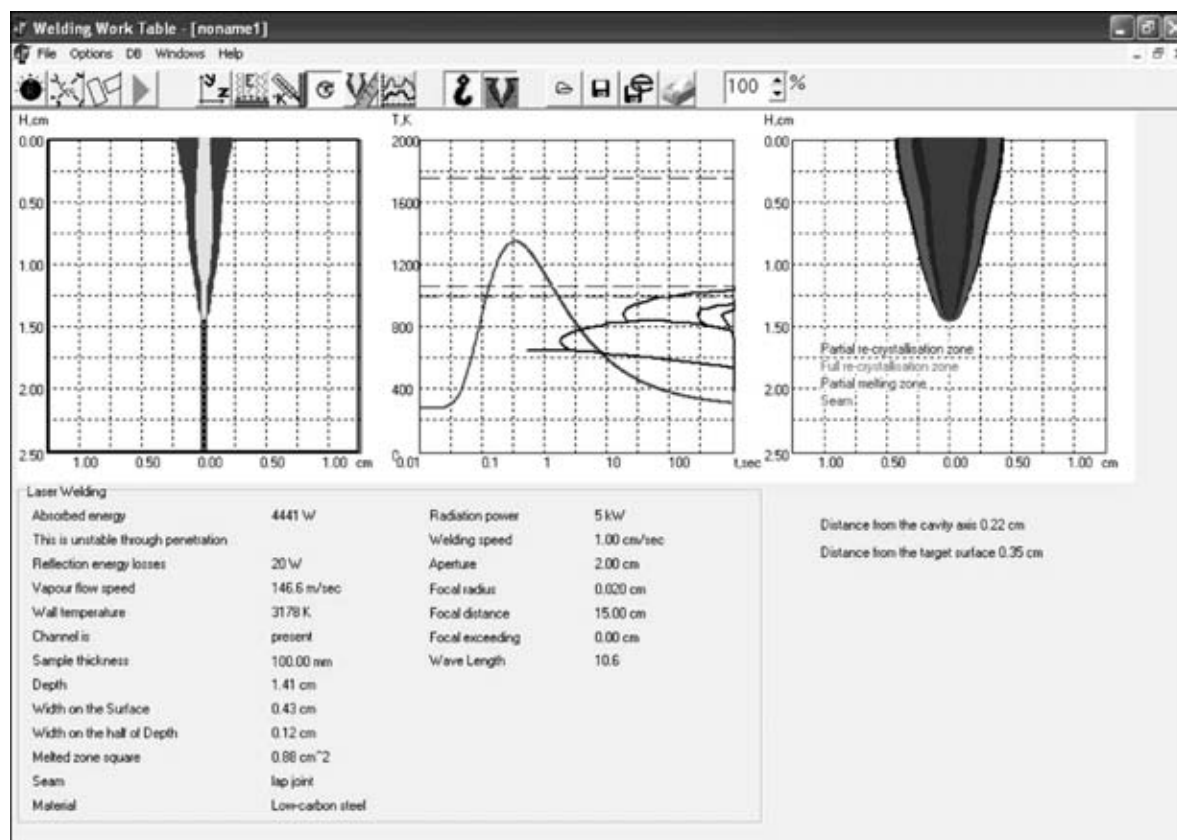


Рис. 5. Анализ структуры сварного соединения стали 30ХМ при лазерной сварке

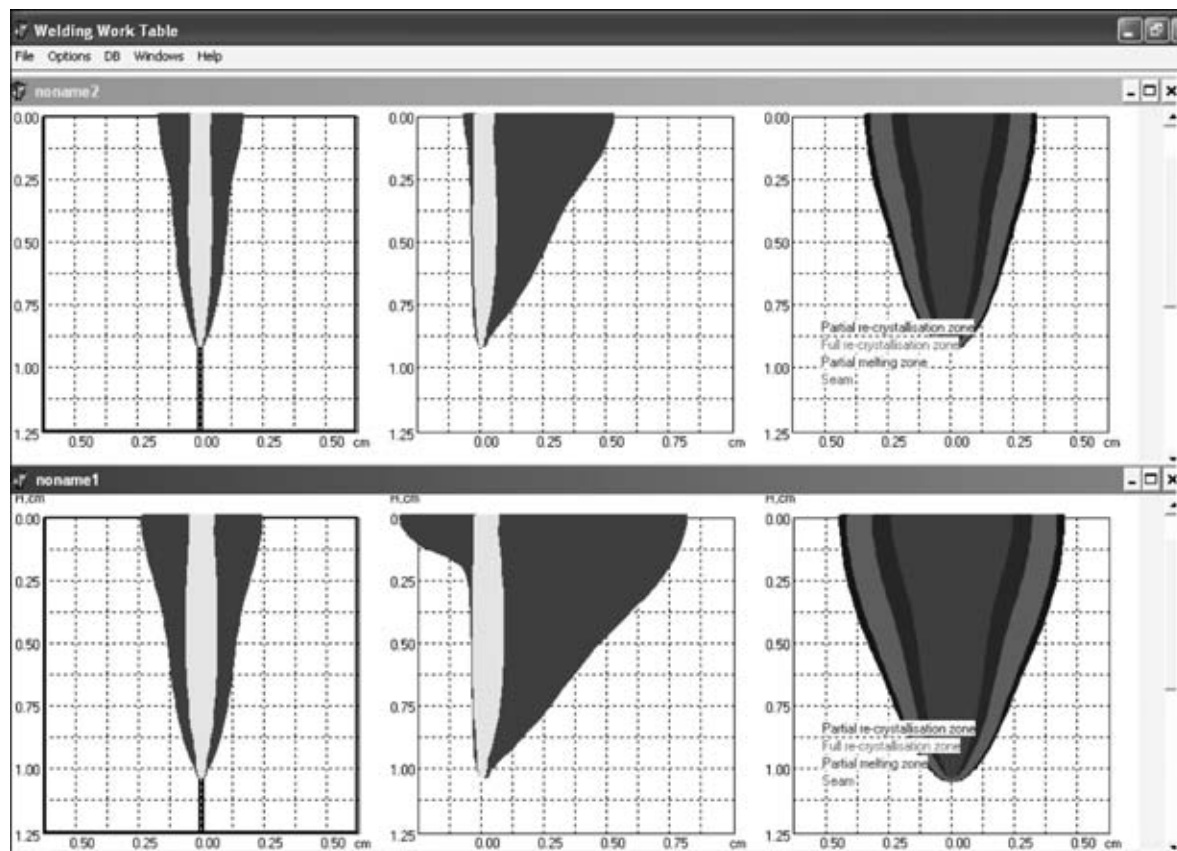


Рис. 6. Пример одновременной работы системы в многооконном режиме при лазерной и лазерно-световой сварке

затор» облегчает и ускоряет выбор режима обработки для достижения необходимого результата (рис. 4).

Система LaserCAD является средством инженерного компьютерного анализа САЕ процессов сварки металлов концентрированными потоками энергии. Она позволяет прогнозировать размеры и форму сварных соединений, структуру и свойства металла шва и зоны термического влияния, анализировать изменения, происходящие в химическом составе металла шва во время сварки (рис. 5).

Система организована по принципу MDI-программы и может работать в многооконном режиме (рис. 6), что дает возможность одновременно решать несколько задач по сравнению и анализу результатов.

Программа написана на языке Object Pascal в среде Delphi6 и разработана в соответствии с ос-

новными принципами построения современных систем CAD-CAM-CAE. Программа работает в операционной среде семейства Windows 95/98/2000/XP, минимальное системное обеспечение — Pentium III/700, 128 Mb RAM. Использование оптимизированных алгоритмов позволяет достичь скорости работы системы, необходимой для использования в производственной практике, расчет одного варианта режима сварки занимает не более 1 мин.

Система LaserCAD и ее аналоги успешно применяются в России (в ЦНИИРПТК и ЦНИИТС, Санкт-Петербург; МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва) и за рубежом в ряде институтов и компаний Германии (IWS, Weldaix, NMB, SLV Rostok). Она может использоваться не только для проектирования технологического процесса, но и обучения персонала в качестве программы моделирования лучевых технологий.

The paper presents a system of engineering computer analysis of laser, electron beam and hybrid welding LaserCAD, allowing forecasting of the weld pool shape and dimensions, structure and properties of weld metal and HAZ. The system is based on physically adequate numerical-analytical models of the processes of laser and electron beam treatment, incorporates data bases on materials and equipment and has a user-friendly interface.

Поступила в редакцию 30.01.2006



3-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ «СВАРКА»

24–26 мая 2006 г.

г. Томск

ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

- Оборудование и технологии для электродуговой сварки металлов (ручная, полуавтоматическая, автоматическая, роботизированная);
- Оборудование и технологии для плазменной, лазерной, газопламенной сварки, резки, наплавки (ручной, механизированной, роботизированной);
- Оборудование и технологии для сварки сопротивлением (контактной сварки);
- Оборудование и технологии для сварки пластмасс;
- Оборудование, материалы и технологии контроля качества сварных соединений и исходных материалов;
- Оборудование и технологии производства сварочных материалов;
- Оборудование для термической обработки материалов и сварных конструкций;
- Оборудование и технологии для пайки;
- Материалы для сварки, резки, наплавки, напыления, пайки (электроды, проволока, припой и т. п.);
- Средства и методы защиты от вредных производственных факторов (рабочая одежда, системы вентиляции, респираторы и т. п.);
- Инструменты и приспособления для сварки;
- Электронная элементная база и комплектующие для производства сварочного оборудования;
- Методы обучения и повышения квалификации сварочного персонала;
- Научные разработки и идеи;
- Реновация сварочного оборудования;
- Салон поддержанного и восстановленного сварочного оборудования.

По вопросу участия в выставке обращаться
в ОАО Томский Международный Деловой Центр «ТЕХНОПАРК».
www.t-park.ru



ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АСУТП СВАРКИ

Ф. Н. КИСИЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, **В. В. ДОЛИНЕНКО**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. Ю. НИКИФОРОВ, инж. (ГППО «ЮМЗ им. А. М. Макарова»)

Выполнен анализ состояния руководящих документов, касающихся разработки автоматизированных систем управления сваркой. Показана возможность применения объектно-ориентированного проектирования при разработке сложных АСУТП сварки.

Ключевые слова: АСУТП сварки, объектно-ориентированное проектирование, стадии и этапы создания АС, межгосударственные, государственные и отраслевые стандарты

Для эффективного функционирования сварочного производства в условиях рыночной экономики необходимо на предприятиях внедрять передовые технологии и автоматизированные системы управления. В связи с тем, что разработка новой автоматизированной технологии предприятия, как правило, связана с временным изъятием из оборотных средств значительных ресурсов, возникает необходимость выполнения проекта в минимальные сроки и с максимальным соответствием окончательного варианта автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) сварки техническим требованиям.

Как известно, разработка АСУТП сварки обычно осуществляется специализированными организациями (научно-инженерными фирмами, научно-

исследовательскими институтами и др.) и только в редких случаях — силами самого предприятия при наличии в его структуре соответствующего подразделения. В связи с этим особое значение приобретает эффективное взаимодействие между заказчиком и исполнителем. Существующие руководящие документы по стандартизации разработки и внедрению автоматизированных систем (АС) [1–6] предусматривают определенный состав и содержание работ, выполняемых на различных стадиях создания АС (табл. 1).

В соответствии с общими положениями руководящих документов известно, что «процесс создания АС представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединенных в стадии и этапы работ, выполнение которых необходимо и достаточно для создания АС, соответствующей заданным требованиям» [3, п.1.1]. К этому можно добавить, что финансирование разработки АС обычно ведется поз-

Таблица 1. Типовой состав работ при создании АС

№ п/п	Стадия	Этап
1	Формирование требований к АС	1.1. Обследование объекта и обоснование необходимости создания АС 1.2. Формирование требований пользователя к АС 1.3. Оформление отчета о выполненной работе и заявки на разработку АС (тактико-техническое задание)
2	Разработка концепции АС	2.1. Изучение объекта 2.2. Проведение необходимых научно-исследовательских работ (НИР) 2.3. Разработка вариантов концепции АС и выбор варианта, удовлетворяющего требованиям пользователя 2.4. Оформление отчета о выполненной работе
3	Техническое задание (ТЗ)	3.1. Разработка и утверждение ТЗ на АС
4	Эскизный проект	4.1. Разработка предварительных проектных решений по АС и ее частям 4.2. Разработка документации
5	Технический проект	5.1. Разработка проектных решений по АС и ее частям 5.2. Разработка документации 5.3. Разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования АС и/или технических требований (ТЗ) на их создание 5.4. Разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта объекта автоматизации

№ п/п	Стадия	Этап
6	Рабочая документация	6.1. Разработка рабочей документации на систему и ее части 6.2. Разработка или адаптация программ
7	Ввод в действие	7.1. Подготовка объекта автоматизации к вводу АС в действие 7.2. Обучение персонала 7.3. Комплектация АС поставляемыми изделиями (программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями) 7.4. Строительно-монтажные работы 7.5. Пусконаладочные работы 7.6. Предварительные испытания 7.7. Опытная эксплуатация 7.8. Приемочные испытания
8	Сопровождение	8.1. Выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами 8.2. Послегарантийное обслуживание

тапно и авансом. К моменту проведения приемочных испытаний, как правило, осваивается до 90 % выделенных ресурсов. В то же время на этапе опытной эксплуатации и приемочных испытаний иногда могут обнаружиться недочеты, которые требуют не только устранения неисправностей и внесения изменений в документацию, но и уточнения ТЗ.

Такие исключительные случаи, однако, имеют определенную причину. Это связано с тем, что при закрытии (приемке) очередного этапа работ при создании АС специалисты заказчика не всегда могут в полной мере оценить полноту и качество работ, выполненных исполнителем. Критерием оценки для них обычно являются результаты, полученные после выполнения сварки, — качество сформированного шва и наличие в нем дефектов. Поэтапное выполнение работ иногда приводит к тому, что самые серьезные проблемы обнаруживаются в конце осуществления проекта. Наблюдается следующая тенденция: чем сложнее процесс сварки, тем выше риск появления форс-мажорных обстоятельств на конечной стадии разработки АСУТП сварки.

В связи с изложенным выше возникает необходимость поиска других организационных форм управления проектом при создании сложной АСУТП сварки.

Специалистами ИЭС им. Е. О. Патона и ГППО «ЮМЗ им. А. М. Макарова» подготовлены предложения по применению объектно-ориентированного проектирования (ООП) при разработке сложных АСУТП сварки конструкций ракетносителей. Как известно, ООП имеет следующие отличительные свойства [7, 8]:

представляет собой возвратный процесс (возвратное проектирование);

в нем реализуется непрерывное моделирование результата (наличие многих версий АС);

используется эволюционный характер проектирования — от общих требований, предъявляемых к АС, к все более детальным;

требует использования выразительных (самодокументируемых) средств автоматизированного проектирования типа CAD (computer aided design).

Отличие ООП от традиционного подхода проектирования в упрощенном виде показано на рис. 1.

Таким образом, можно отметить, что в процессе разработки АС с помощью ООП создается ряд версий математического и программного обеспечения. В то же время аппаратное обеспечение (комплекс технических средств) совершенствуется, постепенно приближаясь к конечному варианту АС.

Примерами эффективного применения ООП в сварке могут быть разработка автоматической системы управления ТИГ сваркой сосудов и труб большого диаметра [9], а также комплексно-автоматизированных технологий дуговой сварки МИГ и ТИГ [10]. Такие разработки имеют ряд отличительных свойств: повышенную сложность задачи автоматизации; широкое использование компьютерной техники (системы управления ба-

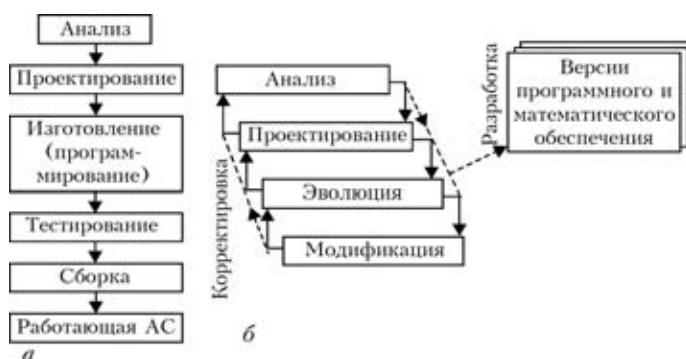


Рис. 1. Сравнение подходов к проектированию АС — традиционного (а) и ООП (б)

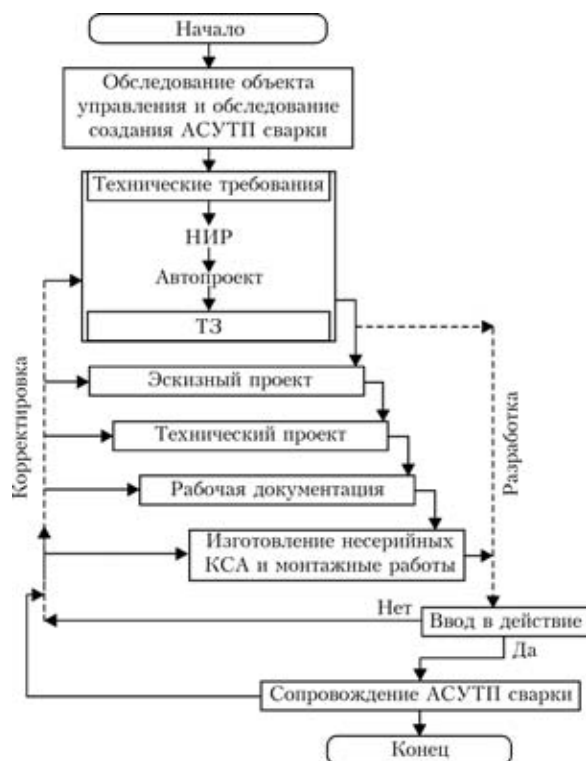


Рис. 2. Ориентировочная схема выполнения проекта по созданию АСУТП сварки с использованием ООП

зами данных, CAD/CAM — системы и т. д.) как на стадии моделирования АС, так и ее создания; использование математического моделирования процессов сварки и сборки (например, «виртуальная фабрика» в [9]); непрерывное проведение научно-исследовательских работ с целью повышения производительности сварки.

Формальным признаком ООП является введение версионности (или очередности) работающего прототипа АС. Например, теперь можно говорить об альфа- и бета-версиях АС (или первой очереди, второй и т. д.). Для каждой версии прототипа АС могут проводиться испытания и оцениваться степень соответствия ее ТЗ.

Ориентировочная схема выполнения проекта по созданию АСУТП сварки с использованием ООП приведена на рис. 2. Новым в данном подходе является то, что при обнаружении на одном из промежуточных этапов работ серьезного не-

достатка в реализации АС, разработка следующей версии может быть начата с этапа выполнения НИР и корректировки ТЗ.

В самом общем виде при использовании ООП разработка АС может включать выполнение параллельно нескольких работ: например, можно выполнять параллельно с НИР эскизный проект, разработку рабочей документации и изготовление несерийных компонентов средств автоматизации (КСА).

Понятно, что при такой организации работ необходимо приложить большие усилия по координации действий исполнителей, чем при традиционном подходе. Требуется также наличие более точных критериев оценки степени завершенности проекта. Последнее может быть выполнено путем «параметризации» при оценке готовности текущей версии АС. Такими параметрами могут быть показатели качества и/или эффективности функционирования АСУТП сварки, например, контуры автоматического регулирования (управление положением горелки относительно стыка, шириной сварного шва, глубиной проплавления, положением мундштука с присадочной проволокой и пр.), режимы функционирования (ручной, автоматический, тестовый и др.), циклограмма сварки («поджиг» дуги, сварка, заварка кратера), технологический регламент сварки (первый и второй проход, контроль качества сварного шва и т. д.), комплектность КСА и др. Система таких параметров может разрабатываться с привлечением специалистов заказчика, и поэтому будет им вполне понятна, поскольку относится к предметной области данного вида сварки. После того, как система параметров АС согласована, можно достаточно просто оценить степень готовности АС в процентах по каждому показателю качества.

Очевидно, что такой подход позволяет заказчику на любом этапе выполнения работ адекватно оценить состоятельность проекта и оперативно контролировать продвижение в выполнении проекта по тем или иным показателям. Еще одним преимуществом такого подхода является то, что в связи с периодическим проведением испытаний

Таблица 2. Ориентировочный календарный план работ, разработанный с использованием ООП

№ п/п	Стадия	Степень готовности по показателям функционирования, %					
		А	Б	В	Г	...	Я
1	Анализ технических требований и результатов обследования технологии сварки, разработка ТЗ	5	0	5	0	...	5
2	Разработка альфа-версии АСУТП сварки	25	10	25	0	...	10
3	Разработка бета-версии АСУТП сварки	50	25	50	75	...	75
4	Разработка окончательной версии АСУТП сварки	95	95	100	100	...	95
5	Проведение приемосдаточных испытаний	100	95	100	100	...	100
6	Сопровождение и устранение замечаний	100	100	100	100	...	100

промежуточных версий прототипов АС можно принять решение о начале опытной эксплуатации АСУТП сварки в усеченном режиме (например, в ручном режиме с работающим контуром автоматического направления горелки на стык).

Ориентировочная структура календарного плана работ в постановке такой задачи приведена в табл. 2.

Необычность формы календарного плана состоит в том, что в нем отсутствуют наименования некоторых стадий и этапов работ создания АС, которые оговорены в п. 2.1 [3]. В действительности они существуют, но в неявном виде. Выполнение того или иного этапа работ связано с достижением определенных уровней значений (степени готовности) группы показателей функционирования.

Анализ состояния руководящих документов межгосударственного значения (государственных стандартов) показал, что предложенная схема реализации проекта не противоречит их смыслу. Например, в том же документе [3] указано, что «в зависимости от специфики создаваемых АС и условий их создания допускается выполнять отдельные этапы работ до завершения предшествующих стадий, параллельное во времени выполнение этапов работ, включение новых этапов работ» (п. 2.2).

В связи с изложенным выше, можно считать, что, во-первых, в нашем случае некоторые этапы работ выполняются параллельно, и, во-вторых, добавлены несколько этапов работ (п. 2–4, табл. 2).

Анализ национальных руководящих материалов по разработке АС приводит к неоднозначному выводу в отношении возможности применения ООП при создании АСУТП сварки.

Можно отметить систему национальных стандартов [11–15], которые касаются разработки и постановки продукции на производство. Из п. 5.1.2 [12] следует, что АС относятся к сфере действия этих стандартов. Анализ содержания указанных документов показал, что использование ООП при разработке АС затруднительно, поскольку в силу наличия нормативных документов отдельно на выполнение НИР и ОКР приводит к невозможности реализации принципа возвратного проектирования. Однако в п. 5.3.5 [12] отмечается, что создание автоматизированных систем управления осуществляют в соответствии с комплексом стандартов и руководящих документов на АС. Последнее можно интерпретировать как ограничение действий данной системы национальных стандартов и расширение границ при-

менения межгосударственных стандартов по разработке АС.

В заключение следует отметить, что применение ООП при разработке АС обеспечивает следующие дополнительные преимущества: создаваемая АС отличается более открытыми свойствами (соответствует требованиям [2, 5]), в результате реализации проекта активизируются познавательные способности специалистов-разработчиков.

Таким образом, можно заключить, что существуют объективные предпосылки для использования ООП при разработке сложных АСУТП сварки.

1. *ГОСТ 24.104–85*. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. — Введ. 01.01.87.
2. *ГОСТ 24.703–85*. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Типовые проектные решения в АСУ. Основные положения. — Введ. 01.01.87.
3. *ГОСТ 34.601–90*. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. — Введ. 01.01.92.
4. *ГОСТ 34.602–89*. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. — Введ. 01.01.90.
5. *ГОСТ 24.702–85*. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Эффективность АСУ. Основные положения. — Введ. 01.01.87.
6. *РД 50-680–88*. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Руководящий документ по стандартизации. Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения. — Введ. 01.01.90.
7. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ / Пер. с англ. — М.: Бином, 2001. — 558 с.
8. Долиненко В. В., Кисилевский Ф. Н. Объектно-ориентированное программирование систем управления технологическим процессом сварки // Автомат. сварка. — 2001. — № 6. — С. 43–49.
9. Такано Г., Камо К. Полная автоматизация сварки сосудов и труб // Там же. — 2003. — № 10/11. — С. 138–144.
10. Усио М., Сугитани Ю. Разработка высокопроизводительных комплексов для дуговой сварки // Там же. — 2003. — № 10/11. — С. 204–210.
11. *ДСТУ 3973–2000*. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення. — Чинний з 01.07.2001.
12. *ДСТУ 3974–2000*. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення. — Чинний з 01.07.2001.
13. *Р88-001–99*. Організація та проведення науково-дослідних робіт. — Чинний з 01.01.2000.
14. *Р88-003.1–2001*. Організація та проведення дослідно-конструкторських робіт. Ч. 1: Розроблення ТЗ. — Чинний з 01.01.2002.
15. *Р88-003.2–2001*. Організація та проведення дослідно-конструкторських робіт. Ч. 2: Розроблення дослідного зразка. Загальні положення. — Чинний з 01.01.2002.

Analysis of the status of guidelines on development of automated welding control systems has been performed. Applicability of object-oriented design in development of complex CAD systems for welding processes is demonstrated.

Поступила в редакцию 07.09.2005



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

В. В. МАТВЕЕВ, директор ЗАО «Вилтранс» (г. Киев)

Проведена количественная оценка влияния различных факторов на эффективность восстановления профиля колеса наплавкой, и в частности, после отжига поверхности катания, упрочненной в процессе эксплуатации. Эффективность восстановления профиля колес повышается путем использования отжига поверхности катания, многоэлектродной наплавки и термообработки наплавленного и обточенного колеса.

Ключевые слова: эффективность, восстановление, вагонные колеса, дефекты поверхности катания, ТВЧ отжиг, многоэлектродная наплавка

По данным ВНИИКИ (г. Москва, Россия) в мире ежегодно производится 3...3,5 млн вагонных колес, из них 40...50 % выпускается и потребляется в странах СНГ, что свидетельствует об очень малом фактическом их ресурсе (хотя расчетный ресурс вагонных колес, изготавливаемых в СНГ, составляет 12 лет). Срок службы колес определяется главным образом обточками, при которых снимается значительно большее количество металла, чем в результате эксплуатации. Вагонные колеса, имеющие после эксплуатации изношенную поверхность катания (рис. 1), восстанавливают до исходного профиля (рис. 2, поз. 1) обточкой на колесотокарных станках по копиру [1], снижая толщину обода. К началу 1990-х годов в связи с интенсивным износом гребней и соответственно уменьшением толщины обода при обточке для восстановления профиля колес ресурс их сократился до четырех-пяти лет [2]. В 1994 г. средний срок эксплуатации колесных пар вагонов (между обточками), поступивших на текущий ремонт в связи с износом гребня, составлял 10,6 мес. Из них 4,6 % имели срок эксплуатации до 3 мес, 16,5 — от 3 до 6 и 17,8 — от 6 до 9 мес [3]. В результате мероприятий, направленных на улучшение условий работы (ужесточение нормативов содержания пути и эксплуатации подвижного состава, совершенствование технологии ремонта и содержания вагонов, лубрикация рельсов для криволинейных участков; использование профилей, оптимальных к профилю рельсов [2]), износ гребней колес (уменьшение толщины обода определяется на расстоянии 70 мм от внутренней грани колеса) и головок рельсов уменьшился в 2 раза. Наплавка гребней вагонных колес перед обточкой колес (рис. 2, поз. 2) позволила уменьшить толщину снимаемого с обода слоя [4, 5]. Однако адекватного увеличения службы колес не произошло.

Средний срок эксплуатации увеличился до шести-восьми лет [2].

На эффективность восстановления гребней наплавкой влияют не только уровень цен на новые колеса и затраты на их восстановление, но и степень износа гребня, глубина залегания дефектов на ободе, определяющая уменьшение толщины обода в результате обточек. В настоящее время наплавка гребней выполняется без предварительной обточки дефектов на поверхности катания, что резко уменьшает эффективность наплавки.



Рис. 1. Макрошлиф фрагмента колеса с изношенной поверхностью катания

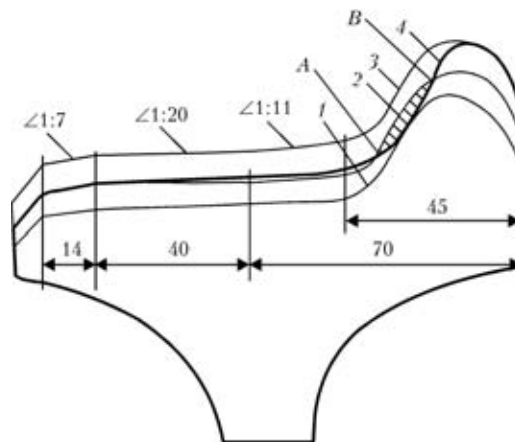


Рис. 2. Схема восстановления профиля колеса: 1, 2 — линии обточки после наплавки гребня (А — начало; В — окончание наплавки); 3 — линия обточки после восстановления колес наплавкой гребня и обода; 4 — линия изношенной поверхности колеса

Несмотря на уменьшение количества дефектов на поверхности катания толщина снимаемого слоя при обточке колес с дефектами по кругу катания не уменьшилась, кроме того, возникли проблемы при обточке колес повышенной твердости.

Сегодня в России, Казахстане и Украине вместе с производством колес повышенной твердости [6,7], активно пропагандируется идея производства литых колес [8], например, по технологии американской компании «Griffin Wheel» [9]. На первый взгляд, преимущество такой технологии связано со значительной экономией средств. При увеличении пробега до 1 млн км американских железных дорог дешевле исключить колеса из эксплуатации, чем производить их обточку. Однако она предусматривает многоступенчатую, дорогостоящую систему контроля в процессе производства и эксплуатации, необходимость частой замены дорогостоящих литейных форм (одна форма на 1000 колес). Самое главное, что литые колеса фирмы «Griffin Wheel» более хрупкие, поскольку изготовлены из стали с высоким содержанием углерода (0,67...0,77 %), что не исключает возможности возникновения поверхностных дефектов тормозного происхождения и распространения их вглубь колеса при эксплуатации на железных дорогах постсоветского пространства.

Техническое решение компании «Valdunes» (Франция), являющейся мировым лидером в разработке технологий производства железнодорожных колес, связано с применением средне- и низкоуглеродистых колесных сталей, содержащих 0,22 % углерода и легированных хромом, марганцем и кремнием [10]. Такой химический состав позволяет ограничить формирование мартенсита. В то же время на XXIII Международном конгрессе по колесным парам, состоявшемся в Риме в конце 2001 г., отмечено, что экономически более выгодна эксплуатация колес с нанесением покрытия низкоуглеродистой бейнитной сталью [11]. В этой стали, несмотря на образование ползунов, раковины и трещины не развиваются, что дает возможность уменьшить толщину снимаемого слоя при обточке колес и увеличить срок их эксплуатации. Нынешний период как в России, так и в Украине характеризуется значительным уменьшением объемов работ по восстановлению гребней колес наплавкой. Кроме того, технологии по восстановлению профиля вагонных колес наплавкой всей поверхности катания (рис. 2, поз. 3) с использованием низкоуглеродистой проволоки [5, 12, 13] при ремонте подвижного состава, выходящего на магистрали стран СНГ, не внедряются.

Целью настоящей работы является количественная оценка факторов, влияющих на эффективность восстановления профиля колеса наплавкой, и в частности, после отжига поверхности катания, упрочненной в процессе эксплуатации [14–16].

При восстановлении 1 мм изношенного гребня вагонных колес к стандартному профилю шириной гребня 33 мм (на расстоянии 18 мм от вершины гребня) необходимо уменьшить толщину обода на 2 мм. В таблице приведены данные по распределению 79235 колес, поступивших в 2003–2004 гг. на участки наплавки гребней в ЗАО «Вилтранс» вагоноремонтных заводов «Укрзалізниці» в зависимости от толщины гребней, а также уменьшения толщины обода этих колес при их восстановлении обточкой (рис. 2, поз. 1).

С учетом такого распределения параметров колес, подлежащих ремонту, наплавка гребней перед обточкой позволяет сохранить в среднем $13,3 \pm 55$ % диаметра обода колес, что соответственно должно увеличить их ресурс. Однако в связи с необходимостью обточки дефектов перед наплавкой гребней эффективность наплавки значительно уменьшается. Практически все колеса, поступающие в ремонт, имеют по 2...3 ползуна с глубиной не менее 2 мм. Статистика показывает, что около 25 % колес имеют ползуны с твердостью металла на поверхности катания вагонных колес не менее HRC 40...50. При восстановлении наплавкой гребня колес с дефектами на ободе эффективность восстановления заключается в сохранении 5...6 мм толщины обода, что составляет 38...46 % среднего сохранения толщины обода. Если допустить, что обточка колес выполняется раз в год, то средний срок эксплуатации колес с дефектами даже после использования наплавки изношенных гребней составит 6,5 года.

Определим эффективность восстановления наплавкой профиля колеса с изношенной поверхностью катания на примере реального колеса, поступившего в ремонт (рис. 2). Толщина обода колеса, измеренная в месте проката, составляет 27 мм. При этом толщина изношенного гребня на высоте 18 мм составляет 25 мм (износ 8 мм), а необходимое уменьшение толщины обода гребня при его восстановлении обточкой в точке измерения проката составит 13 (определяется линией 1), а толщина обода после обточки — 14 мм. После наплавки гребня необходимо произвести обточку изношенного колеса по профилю (линии 2 на рис. 2) от фаски в сторону гребня на глубину 4 мм в точке измерения проката (в том числе наплавленного гребня по линии между точками А и

Толщина гребня колес, поступивших в ремонт, мм	22...24	25...27	28...30
Необходимое уменьшение толщины обода колеса при восстановлении профиля обточкой, мм	22...18	16...12	6...5
Распределение колес, поступивших на наплавку гребней, в зависимости от толщины гребня, %	15 ± 5	68 ± 3	17 ± 12



Б). При этом толщина обода составит 22 мм. Эффективность наплавки данного гребня после обточки обода (без учета уменьшения обода при обточке дефектов) заключается в сохранении 7...8 мм толщины обода (53...61 % среднего значения сохранения толщины обода, равной $13,3 \pm \pm 5 \%$).

Колесо, приведенное на рис. 1, кроме изношенных обода и гребня, имеет дефект на ободе (ползун глубиной 1,5...2 мм с твердостью около HRC 50). После наплавки гребня и окончательной обточки колеса на 1 мм (рис. 2) толщина обода составит 17...18 мм. Колесо после восстановления непригодно к эксплуатации, поскольку в результате его обточки толщина обода становится меньше 22 мм (эффективность восстановления равна нулю, поскольку в эксплуатации допускаются колеса с толщиной обода не менее 22 мм).

Известно, что отжиг поверхности катания колес позволяет как минимум в 2,5 раза понижать твердость металла, что значительно уменьшает толщину стружки при их обточке [17, 18]. Эта особенность использована нами при восстановлении колес наплавкой поверхности катания. Растягивающие напряжения, которые возникают после ТВЧ отжига, способствуют выявлению и отбраковке «слабых» колес с микродефектами. С 1997 г. в результате отжига поверхности катания, обточки на глубину выявленных дефектов, отбраковки колес с трещинами на поверхности (0,2 % от поступивших в ремонт), последующей наплавки изношенных гребней на вагоноремонтных заводах Украины удалось восстановить для дальнейшей эксплуатации около 270 тыс. колес [15]. Отжиг упрочненного металла поверхности катания колес перед наплавкой способствует измельчению зерна металла и уменьшению вероятности образования холодных трещин в зоне, примыкающей к линии сплавления, что позволяет вести наплавку без обточки дефектов на поверхности катания, т. е. без потери ресурса колес [16, 17]. После отжига поверхности катания и обточки дефектов на ободе перед наплавкой гребня общий объем затрат (сварочные материалы, время, электроэнергия), необходимых для наплавки, сокращается на 30 %. Можно достичь значительной экономии средств на процессе нагрева колес (перед наплавкой) благодаря использованию одной установки для отжига (до 60 колес за восьмичасовую смену). Введение контроля толщины гребня и толщины ободьев колес после обточки дефектов позволяет оценить затраты и эффективность наплавки гребней для каждого колеса.

Эффективность восстановления профиля колеса наплавкой изношенного гребня определяется соотношением цены сохраненного обода и величины затрат на восстановление профиля колеса (отжиг поверхности катания и наплавка износов,

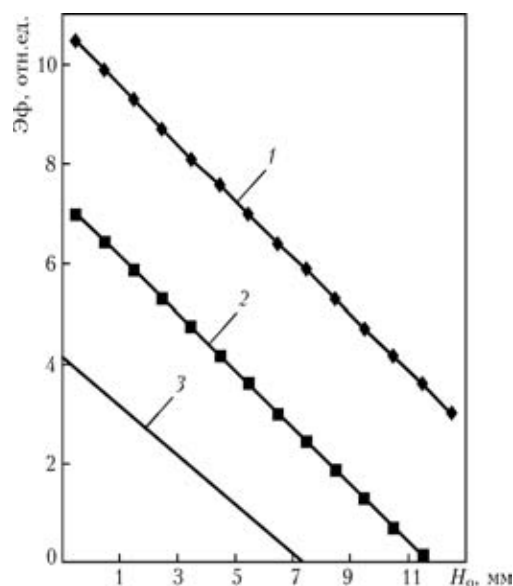


Рис. 3. Зависимость эффективности восстановления наплавкой гребней колес от уменьшения обода при обточке износов и дефектов: 1 — $H_r = 23$; 2 — 26; 3 — 29 мм

обточка и др.) и рассчитывается согласно приведенной ниже формуле:

$$\text{Эф} = [(H_0 - H_{\text{од}})C_k - C_{\text{н.о}}]/C_{\text{н.о}}, \quad (1)$$

где $H_0 = 2(33 - H_r)$ — уменьшение обода при обточке колеса без наплавки, мм; H_r — толщина изношенного гребня на высоте 18 мм от вершины, мм; $H_{\text{од}}$ — уменьшение обода при обточке дефектов, мм; C_k — приведенная стоимость 1 мм обода, грн./мм; $C_{\text{н.о}}$ — цена наплавки и отжига ($C_{\text{н.о}} = C_n + C_o$), грн.

Восстановление профиля колеса изношенного гребня наплавкой выгодно при выполнении условия $[(H_0 - H_{\text{од}})C_k - C_{\text{н.о}}] \geq 0$ и $\text{Эф} \geq 1$.

Зависимости эффективности восстановления колес с различной изнашиваемостью гребня при толщине гребня 23, 26, 29 мм от уменьшения обода при обточке износов и дефектов приведена на рис. 3.

Исходные данные для расчета эффективности восстановления колес наплавкой гребней при постоянных значениях C_k (1\$ = 5,05 грн.) следующие: цена нового колеса на 01.09.2005 г. без НДС — 2650 грн.; полезный ресурс обода — 52 мм; $C_k = 51,0$ грн.; $C_n = 72,67$ грн.; $C_o = 16,25$ грн.; $C_{\text{н.о}} = 88,92$ грн.

Наплавка гребней колес толщиной 29 мм перестает быть выгодной при уменьшении толщины обода в результате обточек на более 4, толщиной 26 — более 10 мм и т. д.

При восстановлении профиля колеса обточкой по линии 2 (рис. 2) последующей наплавкой изношенных обода и гребня толщина обода уменьшается на 1...2 мм и не зависит от уменьшения толщины обода колеса при обточке. Если не учитывать повышение износостойкости наплавленно-

го слоя, можно поставить обратную задачу (1) определения средней цены восстановления колес, поступающих в ремонт с толщиной гребня 23, 26, 29 мм и получить соответствующие зависимости от эффективности восстановления при постоянных значениях стоимости нового колеса:

$$C_B = [(H_0 - H_{00})C_K] / (Эф + 1), \quad (2)$$

где C_B — цена восстановления профиля колеса наплавкой изношенного гребня и обода; H_{00} — уменьшение толщины обода при окончательной обточке наплавленного колеса по профилю ($H_{00} \leq 2$ мм).

Например, если $C_K = 51$ грн., восстановление колес эффективно, т. е. $Эф \geq 1$, при $C_B \leq 302$ грн. (около 10 % стоимости нового колеса). Для примера, приведенного на рис. 2, после восстановления колеса с толщиной обода менее 27 мм, подлежащего распрессовке в металлолом (рис. 1), толщина обода составит более 32 мм, что дает возможность эксплуатировать колесо как минимум до первой обточки.

В работе [16] показано, что высокая эффективность восстановления профиля колеса после наплавки изношенного гребня и обода может быть достигнута в результате использования:

отжига поверхности катания колес на ТВЧ установке с частотой 10 кГц на глубину около 2,5 мм, обеспечивающего возможность увеличения расходящихся напряжений, выявления дефектов и отбраковки колес, снижения вероятности возникновения трещин после наплавки, уменьшения толщины наплавляемого слоя, необходимого для восстановления;

шлифовки мест залегания глубоких трещин на глубину более 3 мм вместо обточки по кругу катания;

многоэлектродной одно- или двухслойной наплавки [19] на обод колеса [20] десятью электродами в одну сварочную ванну легированной проволокой, обеспечивающей высокую производительность и качество наплавленного металла (балл зерна в участке крупного зерна металла ЗТВ не менее № 6–8);

наплавки изношенных гребней;

термообработки наплавленных и обточенных колес на ТВЧ установке, обеспечивающей уровень их расходимости после разрезания не более $\pm 3,5$ мм.

Наплавка низкоуглеродистого металла с повышенными износостойкими характеристиками позволит уменьшить развитие дефектов на поверхности катания во время эксплуатации, уменьшить толщину снимаемого слоя во время обточек колес и уве-

личить их ресурс. Восстановление тонкоободных колес с толщиной обода менее 30...35 мм, ранее отправляемых в металлолом, позволит увеличить срок их службы не менее чем в 2 раза.

1. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429. — М.: Транспорт, 1977. — С. 54–57.
2. Богданов В. М., Захаров С. М. Современные проблемы системы рельс-колесо // Ж.-д. транспорт. — 2004. — № 1. — С. 57–62.
3. Богданов В. М., Козубенко И. Д., Ромен Ю. С. Техническое состояние вагона и износ гребней колес // Там же. — 1999. — № 3. — С. 23–25.
4. Аснис А. Е., Гутман Л. М. Восстановление изношенных гребней бандажей наплавкой // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1948. — С. 281–298.
5. Наплавка гребней вагонных колесных пар / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, И. Е. Бызова, А. И. Рассоха // Ж.-д. транспорт. — 1993. — № 7. — С. 37–40.
6. Пашолок И. Л., Цюренко В. Н., Самохин Е. С. Повышение твердости колес // Там же. — 1999. — № 7. — С. 41–43.
7. Цюренко В. Н. Эксплуатационная надежность колесных пар грузовых вагонов // Там же. — 2002. — № 3. — С. 24–28.
8. Ябиров Х. Ф. Система «колесо – рельс»: оптимальное взаимодействие // Евразия Вести. — 2004. — № 6.
9. Кулагин А. Проверка на прочность // Эксперт. — 2003. — № 26.
10. Stevenot G., Damilly F. L'innovation dans les roués ferroviaires et l'évolution des marches // Rev. Gen. des Fer. — 2002. — № 5. — P. 33–39.
11. Cassidy Ph. Wrought materials may prolong wheel life-wheel sat technology // Int. Railway J. — 2001. — № 12. — P. 40–41.
12. Сварка под флюсом при ремонте локомотивов / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, В. П. Степенко, В. А. Чумаченко. — М.: Трансжелдориздат, 1958. — С. 65–79.
13. ESAB delivers engineered automatic welding station to Ghana in Africa for build-up welding of worn railway wheels // Svetsaren. — 2001. — № 1. — P. 20–21.
14. Пат. 44373 Україна. Спосіб відновлення поверхні кочення коліс рейкового транспорту / В. В. Матвеев. — Опубл. 15.02.2002, Бюл. № 2.
15. Матвеев В. В. Наплавка гребней вагонных колес после отжига поверхности катания на вагоноремонтных заводах Украины // Автомат. сварка. — 2005. — № 6. — С. 42–47.
16. Матвеев В. В. Восстановление вагонных колес наплавкой с предварительным отжигом поверхности катания // Там же. — 2005. — № 11. — С. 36–40.
17. Иванов И. А., Урушев С. В. О повышении ресурса цельнокатанных колес // Ж.-д. транспорт. — 1998. — № 7. — С. 25–26.
18. А. с. 433222, C21d9/34, 1/32. Способ восстановления профиля катания колес / С. В. Алехин, Ф. Я. Богданов, А. Ф. Богданов и др. — Заявл. 26.05.72; Опубл. 25.06.74, Бюл. № 23.
19. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка. — М.: Машиностроение, 1988. — 40 с.
20. Пат. 61794. Україна. Спосіб відновлення профілю поверхні обода колеса рейкового транспорту / В. В. Матвеев, В. І. Ольшевський. — Опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.

Quantitative evaluation of the influence of various factors on the effectiveness of wheel profile restoration by cladding, and, in particular, after annealing of the rolling surface hardened in operation. Effectiveness of wheel profile restoration is increased by applying annealing of the rolling surface, multielectrode cladding and heat treatment of the clad and turned wheel.



ЭФФЕКТИВНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

В. Ф. КВАСНИЦКИЙ, д-р техн. наук, **А. М. КОСТИН**, канд. техн. наук
(Нац. ун-т кораблестроения им. Адмирала Макарова, г. Николаев),
Н. П. РОМАНЧУК, канд. техн. наук (ОАО «Дамен Шипардс «Океан», г. Николаев),
С. К. ЧЕРНОВ, канд. техн. наук (НПКГ «Заря-Машпроект», г. Николаев)

Описаны положительный опыт создания и эффективные формы работы регионального центра подготовки специалистов сварочного производства для судостроения в Украине.

Ключевые слова: сварочное производство, судостроение, подготовка кадров, организационные структуры, эффективность

Украина активно участвует в процессах интеграции в Европейское Сообщество, в том числе, с учетом международного опыта и отраслевой практики внутри страны. Это в полной мере относится и к области подготовки специалистов сварочного производства [1]. Так, Национальный университет кораблестроения (НУК) им. Адмирала Макарова в 1996 г. совместным Приказом Министерства образования и науки и Министерства промышленности Украины был утвержден ведущей организацией по подготовке кадров сварочного производства всех уровней для судостроения. В этой связи в 1996 г. кафедрой сварочного производства НУК совместно с судостроительными заводами юга Украины создано объединение «Судостроительный учебный центр сварочной техники» (СУЦСТ). Организаторами объединения СУЦСТ являются ОАО «Дамен Шипардс «Океан», НПКГ «Заря-Машпроект», «Херсонский судостроительный завод», «Завод им. 61 Коммунара», «Черноморский судостроительный завод» и НУК. Объединение является самостоятельной юридической организацией, деятельность которой построена на принципах хозяйственного расчета и самоуправления. Высшим органом управления СУЦСТ является Опекунский совет. Для расширения практической подготовки инженеров и их адаптации к производству кафедра организовала два филиала на ведущих предприятиях города — ОАО «Дамен Шипардс «Океан» и государственном предприятии «Научно-производственный комплекс газотурбостроения (НПКГ) «Заря-Машпроект». Заведующими филиалов кафедры являются главные сварщики предприятий Ю. В. Солониченко и Ю. В. Бутенко. Указанные предп-

рия являются также базовыми для проведения всех видов практики студентов.

Создание объединения СУЦСТ позволило кафедре существенно расширить спектр выполняемых работ и сотрудничество с промышленными предприятиями. В 1997 г. СУЦСТ совместно с Немецким союзом сварщиков земли Мекленбург-Форпоммерн (SLV) в рамках международной программы «Трансформ» провели переподготовку согласно европейским нормам группы ведущих специалистов сварочного производства судостроительных и машиностроительных предприятий юга Украины в количестве 24 человек с выдачей сертификата «Европейский сварочный инженер». В 2000 г. в рамках совместного сотрудничества с SLV проведена подготовка главных сварщиков судостроительных заводов по программе «Международный сварочный инженер». Осуществление этой программы позволило преподавателям кафедры повысить свою квалификацию и получить соответствующие сертификаты [2].

СУЦСТ осуществляет подготовку и аттестацию сварщиков в соответствии с ДНАОП 0.00-1.16-96 (Дозвіл № 019.05.48.80.42.0) и правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС) (Свидетельство о сертификации предприятия № 01.030.160). Подготовка и аттестация осуществляется на допуск к выполнению работ, связанных с производством различных типов конструкций, которые включают изготовление, монтаж, реконструкцию и ремонт объектов и оборудования в соответствии со всеми действующими в Украине нормативными документами (ДНАОП, СНиП, ДБН, ДСТУ), а также объектов, поднадзорных РМРС. Для этих целей в СУЦСТ создана постоянно действующая аттестационная комиссия, председателями которой являются Ю. В. Бутенко (гл. сварщик НПКГ «Заря-Машпроект», г. Николаев), Ж. Г. Голобородько (гл. сварщик Херсонского судостроительного завода), Ю. М.

Конашук (гл. сварщик СиЭнЖиЭс Инжиниринг, г. Симферополь), А. М. Костин (доцент НУК). В 2004 г. была осуществлена подготовка и аттестация более 100 сварщиков, что существенно облегчило организационную работу отделов главного сварщика предприятий южного региона. СУЦСТ осуществляет также подготовку специалистов первого и второго уровней по неразрушающим методам контроля сварных швов.

Опыт работы СУЦСТ показал, что предприятиям экономически выгодно проводить аттестацию сварщиков на объединенной базе, имеющей значительный материальный и научный потенциал. При этом кафедра помогает решать существующие производственные проблемы, способствует привлечению денежных средств на практическую подготовку студентов, ремонт и модернизацию оборудования, учебных классов, аудиторий и т. д. Например, с 1996 г. все расходные материалы (металл, электроды, спецодежда, маски и т. д.) для обучения студентов рабочей профессии электросварщика приобретаются за счет СУЦСТ. Часть студентов при этом сдают квалификационные экзамены и получают базовые удостоверения электросварщика, что позволяет им во время производственных практик работать непосредственно по профессии.

В рамках работы по подготовке и аттестации сварщиков кафедра проводит семинары и консультации по сварочным материалам с привлечением ведущих отечественных и зарубежных фирм, что позволяет специалистам предприятий обмениваться опытом работы и получать новые знания.

Специалисты кафедры как независимые эксперты систематически оценивают качество изготовления отдельных узлов и объектов, технологий (ДСТУ 3951–2000), сборочно-сварочных производств в целом. При этом появляется возможность совместной научной работы и внедрения передовых технических решений в производство. Наиболее показательным в этом отношении является пример совместной разработки НУК и НПП «УкрТермМаш» машин термической резки нового поколения типа «Кристалл — ТМ МПлК» с компьютерной системой управления, которые внедрены на более чем 20 предприятиях Украины и ближнего зарубежья [3].

СУЦСТ взял на себя функции регионального координатора и консолидировал усилия предприятий в области подготовки кадров всех уровней для сварочного производства, что расширяет сферы деятельности кафедры, укрепляет связи коллектива преподавателей с успешно действующими предприятиями.

В последние годы установлено плодотворное сотрудничество с нашими постоянными партнерами такими, как «СЭЛМА», «КЗЭСО», СиЭнЖиЭс Инжиниринг, ОАО «Дамен Шипардс «Океан», НПКГ «Заря-Машпроект», Херсонский судостроительный завод и др. Эти предприятия не только приглашают на работу наших выпускников, но и направляют на заочное обучение своих работников. За последние три года часть дипломных проектов, выполненных по заказу предприятий, составляет 53,6...78,9 %. Представители предприятий присутствуют на защите и участвуют в определении лучших дипломных проектов, на конкурсной основе отбирают лучших выпускников. За последние годы существенно увеличилась потребность в специалистах сварочного производства. Сейчас спрос превышает предложение и все студенты специальности трудоустраиваются.

С выпускниками, работающими на предприятиях Николаева, Симферополя, Керчи, Херсона, Одессы и многих других городов, кафедра поддерживает постоянные связи, приглашает для участия в конференциях научной молодежи, привлекает к сотрудничеству при решении актуальных задач производства, приглашает на учебу в аспирантуру. Появилась реальная возможность совместной научной деятельности и профессионального роста сотрудников предприятий.

Существенную материальную помощь СУЦСТ оказывают КЗЭСО (г. Каховка), СЭЛМА (г. Симферополь), ГП НПКГ «Заря-Машпроект» и ОАО «Дамен Шипардс «Океан». За последние годы кафедра получила новое оборудование, материалы и спонсорскую помощь на сумму более 70 тыс. грн.

Опыт показывает, что комплексный подход к проблеме подготовки кадров на основе тесного сотрудничества с предприятиями различных форм собственности, создания филиалов кафедры на ведущих промышленных предприятиях, организации регионального центра подготовки кадров обеспечивает расширение сферы деятельности кафедры, модернизацию материально-технической базы качественной подготовки специалистов сварочного производства всех уровней для нужд промышленности.

1. Журавський В. С., Згуровський М. З. Болонський процес: головні принципи входження в Європейський простір вищої освіти. — К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. — 200 с.
2. Корсак К. В. Світова вища освіта. Порівняння і визнання закордонних кваліфікацій і дипломів / За заг. ред. проф. Г. В. Щокіна. — К.: МАУП-МКА, 1997. — 208 с.
3. Разработка высокоскоростной машины для термической резки / Е. Н. Верещаго, В. Ф. Квасницкий, Г. Ф. Романовский, О. Ф. Просянов // Автомат. сварка. — 2004. — № 8. — С. 7–11.

The paper deals with positive experience of establishment and effective forms of activity of a regional center for training welding fabrication specialists for shipbuilding in Ukraine.

Поступила в редакцию 01.12.2005



ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ НАПЛАВКИ СЛОЯ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ

И. А. КОНДРАТЬЕВ, И. А. РЯБЦЕВ, Я. П. ЧЕРНЯК, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана порошковая проволока ПП-АН204, обеспечивающая получение наплавленного металла типа мартенситностареющей стали системы легирования Fe–Ni–Mn–Si–Mo. Твердость металла после наплавки *HRC* 29...30, что позволяет без затруднения производить обработку резанием, а после отпуска его твердость возрастает до *HRC* 50. Наплавленный металл после отпуска имеет высокую горячую твердость, термостойкость и износостойкость при трении металла по металлу при повышенных температурах, что позволяет рекомендовать его для упрочнения рабочих поверхностей штампового инструмента сложной формы.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавленный металл, мартенситностареющая сталь, порошковая проволока, горячая твердость, износостойкость, термостойкость

Стали и сплавы с эффектом вторичного твердения в результате отпуска в определенном температурно-временном диапазоне достаточно широко применяются в различных отраслях промышленности [1, 2]. Подобные материалы (в частности, мартенситностареющие стали) предлагалось использовать и в наплавочном производстве в основном для восстановления и упрочнения инструментов горячего деформирования металлов [3–5]. Однако ввиду того, что у большинства этих материалов увеличение твердости составляет всего *HRC* 10...15, они не нашли широкого применения в промышленности. Кроме того, некоторые из них имели значительную первоначальную твердость *HRC* свыше 40 или высокую стоимость, так как были легированы дорогостоящими элементами (вольфрамом, кобальтом, молибденом), общее содержание которых достигало 20 % и более.

В работе [6] показано, что у экономнолегированного наплавленного металла системы Fe–Ni–Mn–Si–Mo наблюдается значительный эффект

вторичного твердения (твердость после наплавки *HRC* 29...30, после отпуска *HRC* 50...52) и такой материал является перспективным для восстановления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металлов. В данной работе приведены результаты исследования влияния многослойной наплавки на распределение твердости на границе сплавления соседних валиков и слоев, а также износостойкости, термической стойкости и горячей твердости наплавленного металла этой системы легирования.

При многослойной наплавке мартенситностареющих сталей в металле ЗТВ у границы сплавления соседних валиков и слоев в результате нагрева до температур 480...500 °С, обеспечивающих вторичное твердение, может наблюдаться неравномерность в распределении твердости, что ухудшит эксплуатационные свойства наплавленного металла и затруднит его механическую обработку.

Для исследования этих явлений провели многослойную наплавку пластин из стали Ст3 размерами 20×50×200 мм опытной самозащитной порошковой проволокой, обеспечивающей получение наплавленного металла типа мартенсит-

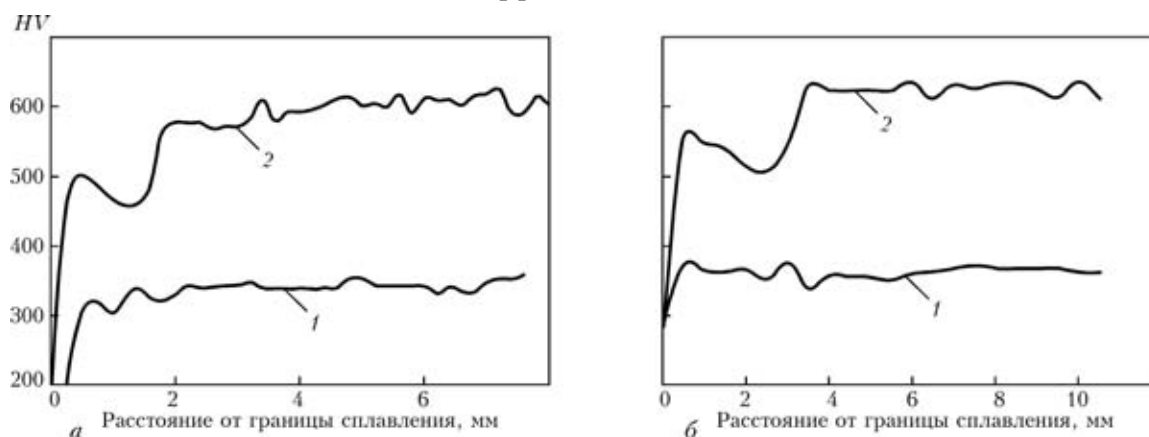


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине слоя мартенситностареющего наплавленного металла: а — перекрытие 30; б — 60 %; 1, 2 — соответственно до и после отпуска

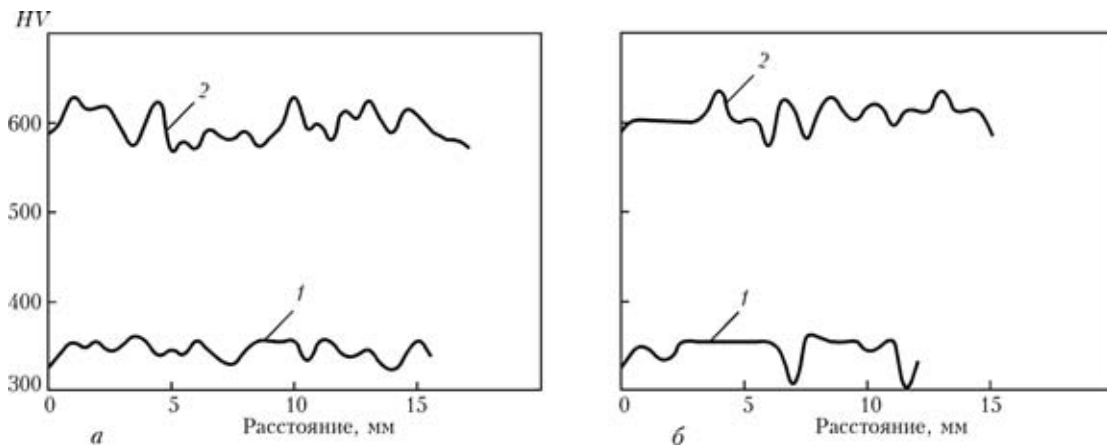


Рис. 2. Распределение микротвердости в поперечном направлении в четвертом слое наплавленного мартенситностареющего металла: а — перекрытие 30; б — 60 %; 1, 2 — соответственно до и после отпуска

ностареющей стали заданной системы легирования. Наплавку проводили проволокой диаметром 2,0 мм на следующих режимах: ток 300 А, напряжение 24...26 В, скорость наплавки 20 м/ч, шаг наплавки 9...11 (перекрытие ~ 30 %) и 7...8 мм (перекрытие ~ 60 %). Из наплавленных пластин поперек наплавленных валиков вырезали темплеты, из которых изготавливали микрошлифы для исследований. На шлифах проводили замеры микротвердости (нагрузка $P = 1$ кг, шаг 0,5 мм) по глубине многослойного наплавленного металла (рис. 1) и в четвертом наплавленном слое поперек наплавленных валиков (рис. 2) до и после старения.

Перекрытие наплавленных валиков не оказывает существенного влияния на распределение микротвердости по глубине наплавленного металла. Вне зависимости от перекрытия непосредственно после наплавки микротвердость по глубине наплавленного металла колеблется в пределах $HV 10...20$ и достигает значений, характерных для наплавленного металла заданного состава (рис. 1, а, б, кривые 1) уже в третьем слое. После старения разброс твердости наплавленного металла остается в тех же пределах — $HV 10...20$ (рис. 1, кривые 2).

На распределение твердости поперек наплавленных валиков шаг наплавки влияет значительно, хотя разброс микротвердости на границе соседних валиков несколько выше (рис. 2, кривые 1, 2). Тем не менее, значительного увеличения твердости здесь не наблюдается (вследствие относительно небольшого по продолжительности времени температурного воздействия) и ее колебания и в этом случае находятся в приемлемых пределах.

Испытания термической стойкости проводили на установке для комплексной оценки свойств наплавленного металла, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона [7]. Из заготовок, наплавленных опытной порошковой проволокой, вырезали образцы размером 40×40×40 мм. Термостойкость оценивали по количеству циклов нагрев-охлаждение

шлифованной поверхности наплавленного образца до появления сетки разгара в пятне нагрева, видимой невооруженным глазом. Нагрев образца проводили газовой горелкой до температуры 650...700 °С с последующим охлаждением водой до 60...70 °С. В среднем, по результатам испытания трех образцов, сетка разгара на поверхности образца мартенситностареющего наплавленного металла появляется после 40 циклов нагрев-охлаждение (рис. 3). Как видно из приведенных данных, по этому показателю опытный мартенситностареющий наплавленный металл превосходит известные типы наплавленного металла (35В9ХЗСФ, 150ХНМ и т. д.), которые успешно применяются для наплавки инструментов для горячего деформирования металла.

Испытания на износостойкость при трении металла по металлу при повышенных температурах (схема испытаний вал-плоскость) проводили на той же установке [7] при следующих условиях: удельное давление в месте контакта 80 МПа; скорость трения 11...12 м/мин; температура кольца-контртела 800 ± 30 °С; температура на поверхности испытуемого образца в контактной зоне 500...550 °С; время испытания 1 ч. В качестве источника нагрева истирающего кольца использовали пламя газовой горелки. Размеры кольца-конт-

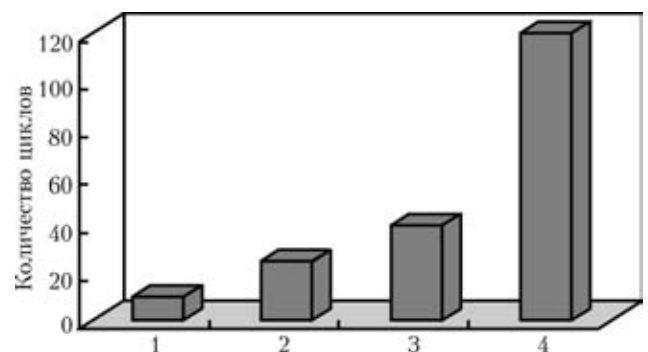


Рис. 3. Термостойкость наплавленного металла: 1 — 150ХНМ; 2 — 35В9ХЗСФ; 3 — опытная мартенситностареющая сталь; 4 — 25Х5ФМС

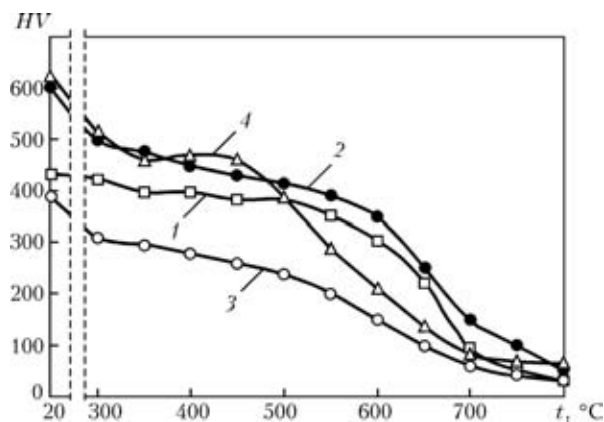


Рис. 4. Горячая твердость наплавленного металла: 1 — 25Х5ФМС; 2 — 35В9ХЗСФ; 3 — 150ХНМ; 4 — опытная мартенситностареющая сталь

ртела, изготовленного из закаленной стали 45, следующие: диаметр 110 мм, ширина 30 мм, толщина 20 мм; размеры образца 10×20×40 мм. Для сравнения в качестве эталона испытывали также образцы из закаленной стали 45. Сопротивление изнашиванию оценивали по потере массы ΔG испытуемого образца и истирающего кольца до и после изнашивания. Как показали эксперименты по износостойкости, опытный мартенситностареющий наплавленный металл превосходит закаленную сталь 45 в 3,5...4,0 раза.

Исследовали горячую твердость опытного наплавленного металла в сравнении с наплавленным металлом типа известных инструментальных сталей (рис. 4). Образцы нагревали в специальном индукторе в вакууме, замеры твердости проводили при нагрузке 1 кг и выдержке 60 с. Из приведенных данных видно, что горячая твердость мартенситностареющего наплавленного металла находится на одном уровне с горячей твердостью хромомолибденовой и хромовольфрамовой штамповых сталей, наплавленных соответствующими порошковыми проволоками.

Металлографические исследования опытного мартенситностареющего наплавленного металла

показали, что его структура до старения состоит из феррита, небольшого количества мартенсита и нитридов титана (рис. 5, а). После старения доля мартенсита значительно увеличивается, встречаются участки мелкоигольчатого и пакетного мартенсита, повышается содержание нитридов (рис. 5, б). Микротвердость матрицы до старения составляет HV 283, после старения HV 489; микротвердость нитридов HV 1206. Рентгеноструктурный анализ, проведенный на установке «Дрон-3», подтвердил, что вторичное твердение опытного наплавленного металла объясняется образованием значительных количеств мартенсита.

Для наплавки слоя мартенситностареющей стали системы легирования Fe–Ni–Mn–Si–Mo разработана самозащитная порошковая проволока, получившая условное наименование ПП-АН204. Исследованы сварочно-технологические свойства новой проволоки. Использованная в порошковой проволоке газшлакообразующая система $\text{CaF}_2 + \text{TiO}_2 + \text{CaCO}_3$ обеспечивает высокую стабильность горения дуги и минимальное разбрызгивание. Коэффициент набрызгивания находился в пределах 12...14 %. Расход проволоки на 1 кг наплавленного металла составляет 1,25...1,27 кг. При диаметре проволоки 2,0 мм коэффициент наплавки составил 15...17 г/(А·ч). В наплавленном металле отсутствуют поры и трещины, а также обеспечивается минимальное количество шлаковых включений.

В заключение следует отметить, что разработанная самозащитная порошковая проволока ПП-АН204 обеспечивает получение наплавленного металла типа экономнолегированной мартенситностареющей стали. Наплавленный металл этого типа имеет высокие износостойкость (в условиях трения металла по металлу при повышенных температурах), термостойкость и горячую твердость. По результатам исследований порошковая проволока ПП-АН204 может быть рекомендована для восстановления и упрочнения инструментов для

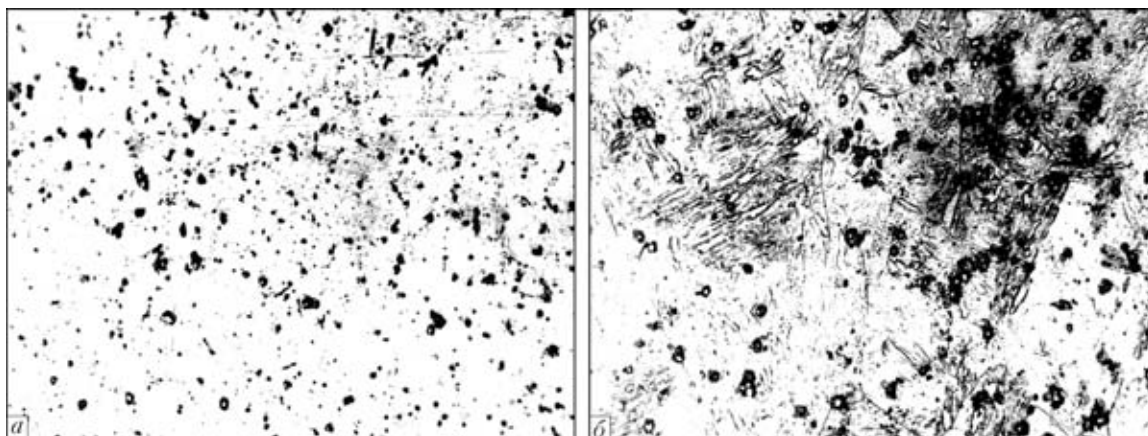


Рис. 5. Микроструктура опытного мартенситностареющего наплавленного металла (×400) до (а) и после старения (б). Травление электролитическое в 20 %-й хромовой кислоте



горячего деформирования металла, в первую очередь инструментов сложной формы, требующих больших затрат на механическую обработку.

1. Перкас М. Д., Кардомский В. М. Высокопрочные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1971. — 224 с.
2. Бирман С. Р. Экономнолегированные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1974. — 207 с.
3. Бармин Л. Н., Королев Н. В., Пряхин А. В. Свойства мартенситностареющих сплавов для наплавки инструмента горячего и холодного деформирования металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 57–61.

Described is a new flux-cored wire PP-AN204 that provides deposited metal of the type of maraging steel with the Fe-Ni-Mn-Si-Mo alloying system. Hardness of the as-deposited metal is HRC 20-30, which allows its easy cutting, while after tempering its hardness grows to HRC 50. After tempering, the deposited metal is characterised by high hot hardness, thermal stability and wear resistance in friction of metal on metal at increased temperatures. Therefore, it can be recommended for hardening of working surfaces of complex-configuration die tools.

Поступила в редакцию 09.09.2005

УДК 621.791.75.039-229.61

СОВРЕМЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ В АППАРАТАХ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, С. И. ПРИТУЛА, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены современные разработки механизмов подачи электродной проволоки применительно к оборудованию для сварки, наплавки и резки сталей и сплавов алюминия, дана классификация их основных типов. Особый интерес для специалистов представляют механизмы, осуществляющие подачу электродной проволоки с управляемым нестационарным характером движения (прерывистая подача, модулированная и импульсная). Рассмотрены достоинства и недостатки некоторых оригинальных конструкций импульсных механизмов подачи электродной проволоки.

Ключевые слова: механизированное дуговое оборудование, электродная проволока, механизмы подачи, классификация, способы подачи, управление нестационарным процессом

При производстве сварных металлоконструкций, ремонте с целью повышения ресурса работы машин и механизмов, а в последнее время и резке обоснованный выбор оборудования (полуавтоматов для осуществления дуговых механизированных процессов) является ведущим звеном организации сварочного производства, особенно если ставится задача обеспечения минимальных энерго- и ресурсозатрат. При этом разработчики, конструкторы и производители дугового механизированного оборудования постоянно сталкиваются с необходимостью выбора механизма подачи электродной проволоки.

В настоящей работе рассматриваются современные разработки механизмов подачи электрод-

4. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситностареющие стали для наплавки штампов // Сварочн. пр-во. — 2003. — № 2. — С. 35–37.
5. Кальянов В. Н., Багров В. А. Новый материал для восстановления штампов горячей штамповки // Тез. докл. междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций». — (Киев, 27–28 нояб. 2003). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — С. 30–31.
6. Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Исследование свойств наплавленного металла типа мартенситностареющих сталей // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 16–18.
7. Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В. Блочная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–19.

ной проволоки при сварке, наплавке и резке сталей и сплавов алюминия.

Механизм подачи электродной проволоки в современной конструкции сварочного полуавтомата может иметь несколько основных функций: перемещение проволоки; инструмент влияния на технологический процесс; совершенствование конструкций полуавтоматов.

Классификация механизмов подачи электродной проволоки в полуавтоматах разной степени сложности, предназначенных для работы в различных условиях и решения разнообразных технологических задач, представлена в виде схемы на рис. 1. В данной классификации механизмы для прерывистой и импульсной подачи электродной проволоки рассматриваются как самостоятельные; они уравниваются с основным типом механизмов. Количество разработок механизмов, сообщающих проволоке нестационарный характер движения, постоянно возрастает. Они совершенствуются в



Рис. 1. Классификация основных типов механизмов подачи электродной проволоки

техническом отношении, с их помощью можно решать актуальные задачи сварочного производства, однако редукторный механизм для плавной подачи проволоки с парами роликов остается основным для полуавтоматов любого типа и назначения.

В последнее время широкое распространение получили системы подачи электродной проволоки с двумя парами подающих и прижимных роликов. Это подтверждено фактом производства во всем мире такого дугового механизированного оборудования, где практически во всех конструкциях полуавтоматов в качестве подающего механизма применяются механизмы с двумя парами роликов, что стало своеобразным модным решением, однако, не всегда оправданным. Работа такого механизма может быть осложнена тем, что подающие ролики имеют разные угловые скорости вращения, что вызывает их проскальзывание относительно проволоки и приводит к необходимости повышения мощности приводных электродвигателей.

Одним из наиболее эффективных способов устранения данного явления может быть использование механизмов с подающим роликом большого диаметра и несколькими прижимными роликами меньшего диаметра [1]. В таком механизме диаметр ролика не влияет на скорость подачи электродной проволоки и не создает дополнительной нагрузки по моменту сопротивления ее подаче. Нам представляется, что такие системы необходимо внедрять в конструкторскую практику более широко.

Актуальны также задачи создания устройств прижима для механизмов подачи электродной проволоки. При этом предпочтительнее устройства с тарированием усилия прижима, например, гамма полуавтоматов ПШ107В [2].

Механизмы подачи с планетарными роликами имеют определенные технические и технологические достоинства (снижение сопротивления при подаче электродной проволоки в направляющем канале; стабилизация процесса сварки; уменьшение габаритов полуавтомата; повышение точности направления проволоки на стык за счет ее правки) и получили распространение в полуавтоматах и роботизированных сварочных комплексах [3]. Однако применение планетарных механизмов связано с рядом трудностей: необходимы электродные проволоки с практически идеальной геометрией; происходит образование забивающего канал мелкодисперсного порошка материала проволоки. Частично эти задачи решаются при использовании механизма с планетарными роликами, установленными на перекрещивающихся и дополнительно наклоненных осях (рис. 2). Имеются и другие технические и технологические решения, позволяющие обеспечить надежность работы указанных механизмов.

Особый интерес представляют механизмы, осуществляющие подачу электродной проволоки с управляемым нестационарным характером движения. Механизмы с прерывистой и модулированной подачей электродной проволоки работают в диапазоне частот от нескольких долей до единиц герц. Для импульсной подачи электродной проволоки ха-



Рис. 2. Планетарный механизм подачи электродной проволоки



рактен диапазон частот в несколько десятков герц и достаточно большие значения ускорения, которыми следует управлять [4].

Что касается подачи электродной проволоки при сварке с модуляцией режимов, более эффективно использование технических решений, с помощью которых регулируется частота вращения вала приводного электродвигателя с учетом инерционности и частотных характеристик электропривода.

Обеспечение прерывистого характера движения электродной проволоки может реализовываться разными способами, но все существующее разнообразие технических решений сводится к профилированию подающих роликов [5] (по опыту ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона, является наиболее оптимальным вариантом), использованию дополнительных устройств, прерывающих подачу электродной проволоки (отвод и подвод роликов, создание запаса проволоки или возвратное перемещение подающего механизма к зоне сварки и др.).

Большое разнообразие технических решений импульсной подачи электродной проволоки мы связываем со стремлением разработчиков к их упрощению с получением при этом определенных технологических преимуществ. Наиболее простыми среди существующих являются механизмы импульсной подачи с односторонним захватом. В них широко применяют устройства, в которых захваты совершают возвратно-поступательное движение. Менее известны механизмы, в которых захваты неподвижны, а проволока при принудительном колебании импульсно перемещается между ними.

Пример успешной реализации такого технического решения представлен на рис. 3. Исходя из имеющегося опыта считаем, что механизм с неподвижными захватными элементами более эффективен в плане надежности заклинивания, независимости шага подачи проволоки от усилия ее сопротивления движению, чем с движущимися односторонними захватами.

Механизмы для импульсной подачи электродной проволоки с использованием односторонних захватов могут использоваться в определенных случаях (решение локальных задач, небольшие по объему работы, применение приводов для выполнения прерывистого движения, например электромагнитов). Здесь основные усилия конструкторов направлены на создание надежных захватов, точно воспроизводящих заданные параметры движения. В последнее время создан ряд таких разработок, а в ближайшем будущем следует ожидать появления новых конструкций механизмов подачи электродной проволоки на основе односторонних захватов, например по типу, представленному в работе [6].

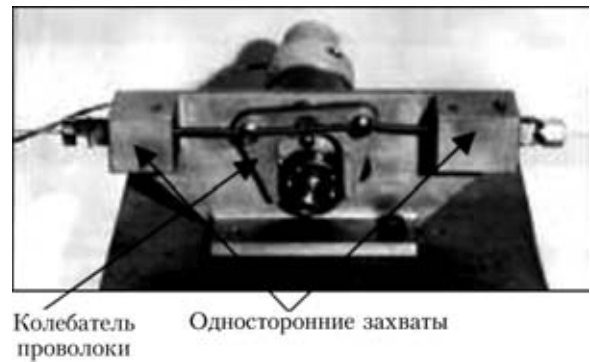


Рис. 3. Механизм подачи с неподвижными захватными элементами

Для решения задач, связанных с обеспечением надежности серийного оборудования, влияния на технологический процесс сварки, наплавки, повторяемости его результатов, целесообразнее использовать механизмы с импульсным вращением подающего ролика. С помощью этого нового типа механизмов с квазиволновым преобразователем (КВП) [7] можно регулировать ускорение движения электродной проволоки для управляемого переноса электродного металла. Однако достижение желаемых результатов сопряжено с трудностями получения необходимых параметров ускорения. Требуется оптимизировать геометрические размеры (ограничить длину) направляющего канала во избежание изменения параметров движения электродной проволоки, предотвратить проскальзывание роликов, увеличить вибрацию всего узла подачи. С учетом этого нами разработан и предложен способ сварки с импульсной подачей электродной проволоки, при котором по определенным алгоритмам механическое импульсное воздействие дополняется воздействием электрического импульса от источника питания дуги. При экономном, с точки зрения энергозатрат, режиме работают как импульсный механизм подачи, так и импульсный источник питания. При выбранных алгоритмах такого совместного воздействия достигается необходимое управление переносом электродного металла.

Характерная картина переноса электродного металла при механизированной сварке в углекислом газе проволокой типа Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на вертикальной плоскости с определенными алгоритмами импульсного механизма подачи и источника питания с генератором си-



Рис. 4. Перенос электродного металла на вертикальную плоскость при комбинированном воздействии импульсного механизма подачи и импульсного источника питания [4] (получено при съемке телекамерой)



нусоидальных импульсов представлена на рис. 4. Исследование сварки с комбинированным управлением позволяет сделать вывод о значительном его влияние на процесс дуговой сварки.

Из приведенных примеров становится очевидным, что для достижения полного управления процессом механизированной дуговой сварки следует более тщательно подходить к выбору системы и механизма подачи электродной проволоки, при этом для получения большего эффекта возможны комбинированные решения с использованием управляемых нестационарных процессов, что способствуют получению большего эффекта.

1. Лебедев В. А., Пичак В. Г. Новый подход к конструированию механизма подачи электродных проволок // Автомат. сварка. — 2000. — № 4. — С. 35–38.

Considered are current developments in the field of electrode wire feed mechanisms for welding, surfacing and cutting of steels and aluminium alloys. Classification of the main types of feed mechanisms is given. Of particular interest for welding specialists are the mechanisms that feed electrode wire with controlled non-stationary character of movement (intermittent, modulated or pulsed feed). Advantages and drawbacks of some ingenious designs of the pulsed mechanisms are considered.

Поступила в редакцию 28.12.2005

НОВОСТИ

Сварка трением с перемешиванием проникает все глубже и глубже

Отделение Британского Института сварки «TWI Ltd.», специализирующееся в области соединения материалов, в своем Технологическом центре в Йоркшире, используя имеющееся оборудование и накопленные знания, стремиться к достижению новых успехов в совершенствовании сварочных технологий. Сварку трением с перемешиванием — новый процесс соединения, разработанный в Британском институте сварки, использовали для соединения за один проход двух алюминиевых листов толщиной 75 мм (3 дюйма). Это феноменальный шаг вперед по сравнению с предыдущим пределом 50 мм, а также уровнем, который в начале 1990-х годов, когда процесс был изобретен, считался далеким будущим. Однако последняя программа развития все еще находится на стадии становления, и специалисты TWI уверены, что они смогут еще больше раздвинуть границы показателей процесса. Институт уже является лидером в разработке методов сварки трением с перемешиванием для материалов больших толщин, работает над одним из наиболее значительных проектов, связанных с герметизацией медных контейнеров для хранения отработанного ядерного топлива по заказу шведской фирмы SKB, спе-

циализирующейся на захоронении отходов атомной промышленности. Контейнеры данного назначения имеют диаметр 1 м и толщину стенок 50 мм.

Планируется, что оборудование, на котором были получены швы, будет установлено в Технопарке перспективных технологий — новом предприятии TWI в Йоркшире. Здесь возможности установки будут расширены посредством добавления второй сварочной головки, которая будет расположена непосредственно под существующей головкой, что позволит сваривать детали одновременно с двух сторон. При данном уровне знаний это позволит сваривать за один проход материал толщиной 150 мм, но кто знает, где находится предел возможностей?

Джонатан Мартин, руководитель отделения сварки трением с перемешиванием в TWI в Йоркшире, комментирует это таким образом: «Это только начало наших исследований пределов сварки трением с перемешиванием материалов больших толщин с использованием нашей новой установки. Надеемся раскрыть много уникальных характеристик установки и расширить возможности процесса».

Все заинтересованные в данной информации могут связаться с Джонатаном Мартином в отделе TWI в Йоркшире по тел.: 0114 269 9046 или по электронной почте: jonathan.martin@twi.co.uk



Инновационные технологии фирмы «СКАНСОНИК» в области соединений лазером

Интегрированная сенсорика для автоматизации контроля поверхности шва при лазерной сварке. Новый «Golf 5» является одним из немногих типов автомобилей, при производстве которого применяют самые современные технологии. Лазерная техника повышает не только продуктивность, но и более прочно соединяет отдельные детали кузова, что в свою очередь существенно повышает жесткость конструкций в целом. Лазерная техника помогает также дизайнерам внедрять в производство самые сложные и разнообразные контуры кузовов.

Более трети всех лазерных головок, применяемых при производстве автомобилей в г. Вольфсбурге, произведены на предприятии «Скансоник» в г. Берлине.

Как же получилось, что молодое, инновационное предприятие, основанное в 2000 г., за короткий срок быстро достигло столь серьезных успехов в довольно непростой области промышленности?



В этот период велись поиски новых инновационных технологических процессов соединения деталей. Использование лазерной техники, с одной стороны, давало очень хорошие и желаемые результаты, а с другой — практическое применение этой техники в автоматизированном промышленном процессе постоянно сталкивалось с различными проблемами. Например, было сложно запрограммировать управление роботом так, чтобы лазерный луч повторно проходил место соединения детали при каждом новом элементе конструкции. Поэтому приходилось ограничиваться простыми сварными швами в доступных местах конструкции.

Дополнительная проволока в качестве управляющего узла. В 1999 г. группой инженеров во главе с Игорем Хашке был разработан новый спо-

соб, позволяющий существенно расширить область применения методов лазерного соединения деталей в промышленном производстве. Ключевым звеном процесса было точное ведение лазерного луча с помощью так называемой проволоки, которая, с одной стороны, является связующим материалом для пайки двух листов, а с другой — служит управляющим механизмом (щупом) для точного направления лазера в место соединения.

Успешное развитие и актуальность нового метода привело к тому, что «Скансоник» менее чем за один год с начала теоретических разработок приступил к промышленному производству своих систем. Это было в 2000 г. — году «рождения» предприятия «Скансоник» под руководством Игоря Хашке.

Произведенные этим молодым инновационным предприятием приборы лазерной оптики с управлением качества формирования шва (АЛО 1) доказали промышленности их пригодность и незаменимость. Поступило множество заказов и уже в 2001 г., имея всего 17 сотрудников, предприятие достигло торгового оборота в 1,5 млн евро.

Методика, разработанная на заказ для лазерной пайки, была успешно перенесена и доработана для лазерной сварки.

Дополнительная проволока как механический щуп — адаптивная лазерная оптика (АЛО). Типичная задача в промышленном производстве: два листа стали необходимо соединить под углом 90° с помощью лазерной техники. Качественно это удастся выполнить только тогда, когда лазерный луч расплавляет проволоку точно в месте углового соединения обоих листов. Тоже можно отнести и к другим формам стыка деталей.

При пайке проволока выступает в роли металлического «клея» для обоих компонентов конструкции. При сварке проволока «связывает» детали и три компонента становятся единым целым. Дополнительно проволока поддерживает безопасность всего процесса и повышает возможность обработки конструкций с большим зазором между отдельными деталями.

Для достижения необходимой стабильности элементов конструкции и безошибочного соединения двух деталей лазерный луч должен расплавлять проволоку точно в





месте их соединения (стыка).

Ранее это было наиболее сложной проблемой управления процессом. С одной стороны, сложно запрограммировать точное прохождение луча по трехмерным контурам, с другой — программирование проводили на заданную, определенную форму и величину. Робот выполнял только конкретно запрограммированную задачу, несмотря на возможно встречающиеся отклонения. Такие отклонения, так называемая толерантность элемента конструкции, могут возникать из-за неточного закрепления деталей, но небольшие отклонения от идеальной формы возможны уже при выходе деталей из-под пресса. Такие отклонения приводили ранее к тому, что фокус лазера располагался не точно в месте стыка деталей. Как следствие этого: неправильные, некачественные швы. Щели и отверстия снижают стабильность и качество продукции. Все это ведет к доработкам, которые дорого стоят.

«Скансоник» решил эту проблему! Лазерная головка управляется не с помощью программирования, а проволокой. В этом случае дополнительная проволока и лазерная оптика представляют единое целое. Эта система функционирует следующим образом: при изменении хода шва из-за отклонений в элементе конструкции проволока меняет свое положение; фокус лазера следует точно за проволокой к новой позиции, абсолютно не влияя при этом на сам процесс соединения. Таким образом, спай получается точно в месте необходимого стыка деталей. Результат — ровные швы, прочно соединенные листы и оптимальные профили швов.

Разнообразие дизайна благодаря применению метода «Скансоник». Лазерные головки «Скансоник» применяются также там, где необходимо соединять части на видимой поверхности конструкций. Теперь стыки деталей, которые ранее необходимо было зачищать, уменьшать и покрывать специальными средствами, благодаря применению АЛО, выполняются настолько чисто и аккуратно, что не нуждаются в последующей обработке, а могут быть оставлены в оригинальном виде. Хорошим примером является применение на протяжении нескольких лет этого метода для лазерной пайки частей крыши и боковин, а также сложной дизайнерской конструкции задней двери в производстве кузовов некоторых марок автомобилей.

Метод применения дополнительной проволоки в качестве механического щупа лазерной головки, разработанный предприятием «Скансоник», приносит предприятиям, использующим головки «Скансоник», ряд преимуществ:

- позволяет выполнять сложные, нетрадиционные швы, например, при трехмерных контурах,

которые ранее были сложно или почти не выполняемы из-за дорогостоящего программирования роботов. Благодаря методу управления формированием шва дополнительной проволокой расширились области применения и возможности внедрения современного промышленного дизайна;

- позволяет обрабатывать малые радиусы конструкций. Это указывает на то, что лазерная техника получила возможность использования в тех областях промышленности, где ранее применение ее технически было не возможно;

- отсутствует необходимость в компенсации опережения, имеющая место при применении оптических датчиков;

- процесс механического тестирования дополнительной проволокой высокоустойчив к различным помехам таким, как загрязнения, высокие температуры и неровности обрабатываемых поверхностей, которые обычно являются нарушающими факторами при оптическом управлении шва;

- возможность визуального слежения за прохождением и обработкой шва.

Резюме

В настоящее время ни один метод не может сравниться с качеством формирования угловых и кромочных швов, выполненных техникой «Скансоник». И эти достоинства высоко оцениваются различными предприятиями. Спрос на продукцию «Скансоник» высок. Многие производители систем управления автоматизированных производственных процессов применяют продукцию «Скансоник» в своих установках.

Поэтому «Скансоник» является кооперационным партнером таких известных предприятий, как «KUKA сварочная аппаратура», «Thyssen Krupp Drauz», «FFT техника автоматизации», «EDAG», «TMS», «COMAU» и др. Интенсивная совместная работа с этими предприятиями ведет к тому, что продукция «Скансоник» еще на ранней стадии планирования различных сложных комплексов аппаратуры для автоматизации промышленного производства становится неотъемлемой частью технологического процесса.





С помощью техники «Скансоник» собраны такие марки автомобилей, как: VW Golf 5, VW Touran, VW Caddy, VW Beetle, Audi A3, Skoda Octavia, Seat, Mercedes SL, Renault.

И, так как эти автомобили производятся в настоящее время не только в Германии, предприятие «Скансоник» имеет мировую известность. Лазерные головки «Скансоник» успешно работают в Сан Пауло и Куритибе (Бразилия), в Пуэбле (Мексика), Познани, Братиславе, Брюсселе, Шанхае и Чан-Чунге, Южной Африке и Корее.

Инженеры предприятия «Скансоник» постоянно работают над расширением возможностей применения методики. На протяжении ряда лет «Скансоник» сотрудничает с австрийским предприятием «Инокон», производящим сварочную аппаратуру на основе плазматрона[®]. Метод управления шва дополнительной проволокой «Скансоник» при сварке и пайке успешно применяется в промышленном производстве не только с лазерными головками, но и с плазматроном[®].

<http://www.scansonic.de>

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Ю. Э. Рудой (ИЭС) защитил 1 марта 2006 г. кандидатскую диссертацию на тему «Разработка градиентных теплозащитных покрытий и электронно-лучевой технологии их осаждения на лопатки газовых турбин»

В работе определены условия осаждения на подложке теплозащитного покрытия с градиентом химического состава и структуры по толщине с внешним керамическим слоем, включающие электронно-лучевой нагрев и испарение смеси металлов (сплавов) и оксидов с различным давлением пара при температуре испарения в виде спрессованной таблетки, расположенной на торце керамического слитка из стабилизированного диоксида циркония.

Представлены результаты исследования структуры и функциональных свойств градиентных теплозащитных покрытий металл – керамика с переходной зоной на базе систем $\text{Al-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$, $\text{Al-Pt-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ и $\text{Al-Y-ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$, полученных одностадийным процессом нанесения. Показана возможность регулирования структуры градиентных покрытий путем изменения химического состава испаряемых смесей. Оптимизация химического состава испаряемой таблетки позволяет получать долговечное градиентное теплозащитное покрытие с высокой термостойкостью на воздухе.

Диссертантом исследованы закономерности изменения химического состава и структуры переходных зон металл – керамика осаждаемых градиентных покрытий как функции технологических параметров процесса осаждения.

Разработан оптимальный температурный режим осаждения за один технологический цикл металлургического связующего слоя, градиентной переходной зоны и внешнего керамического слоя, а также режим последующей термообработки в вакууме градиентных теплозащитных покрытий.

Рассмотрен механизм формирования градиентных структур, получаемых путем электронно-лучевого испарения композиционного керамического слитка на основе диоксида циркония. Представлены результаты исследований химического состава, структуры и свойств рекомендуемых теплозащитных градиентных покрытий $\text{NiCoCrAlY} + \text{AlCr/ZrO}_2(7\text{Y}_2\text{O}_3)$ и $\text{Me}_x\text{C}_y + \text{NiAl/ZrO}_2(7\text{Y}_2\text{O}_3)$, осаждаемых из паровой фазы на поверхность жаропрочных сплавов.

Проведены термостойкие испытания стандартных и градиентных теплозащитных покрытий на различных жаропрочных сплавах, которые показали преимущество градиентных теплозащитных покрытий со связующим слоем типа $\text{Me}_x\text{C}_y + \text{NiAl}$ и $\text{NiCoCrAlY} + \text{AlCr}$, за счет их более высокой термической стабильности вследствие формирования градиентных переходных зон на границе связующий слой/жаропрочный сплав и связующий слой/керамический слой.

Одностадийная электронно-лучевая технология, базирующаяся на испарении композиционного керамического слитка, позволяет осаждать градиентные теплозащитные покрытия на лопатки газовых турбин с более высоким уровнем надежности и долговечности при снижении стоимости покрытий по сравнению с существующими многостадийными технологическими процессами получения теплозащитных покрытий.



ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ восстановления изношенных поверхностей стальных деталей, отличающийся тем, что нагружение детали осуществляют с предварительным определением предела текучести металла и соответствующей ему нагрузки, при которой осуществляют электродуговую наплавку изношенной поверхности и снимают нагрузку, благодаря чему снижают напряжения растяжения в упомянутых участках, а после естественного охлаждения производят дополнительное изгибающее нагружение детали с выдержкой и нагрузкой, необходимой и достаточной для формирования сжимающих напряжений в критических участках наплавляемой детали, в которых возможна наибольшая вероятность разрушения. Патент РФ 2264280. Г. Р. Арсланова, Р. М. Салахутдинов, К. С. Селиванов (Уфимский ГАТУ) [32].

Устройство для сварки модулированным током, отличающееся тем, что модулятор установлен в разрыв цепи управления сварочным током между системой автоматического управления и источником постоянного тока, при этом модулятор состоит из коммутатора, схемы управления им и делителя, причем коммутатор выполнен с одним выходом, который является и выходом модулятора, и с тремя входами, один из которых является управляющим и подключен к выходу схемы управления коммутатором, второй вход подключен к системе автоматического управления, а третий — к делителю. Патент РФ 2264896. С. Р. Аманов, А. Р. Шишкин, А. В. Каргин, Д. Ю. Копылов (ОАО «АВТОВАЗ») [33].

Способ дуговой сварки с активизирующим материалом, при котором в зону горения дуги подают ленту, изготовленную из материала, нейтрального по отношению к свариваемому металлу, отличающийся тем, что на поверхность ленты наносят активизирующий материал, состоящий из смеси активизирующего флюса и полимера, при следующем соотношении компонентов, мас. % доли смеси: 5...80 активизирующего флюса; 20...95 полимера. Патент РФ 2264897. С. Г. Паршин, Ю. В. Казаков [33].

Способ сварки давлением разнородных металлов на воздухе, отличающийся тем, что усилие сжатия в процессе сварки не поддерживают, зону стыка нагревают петлевым индуктором до температуры сварки, после чего нагрев отключают на 1...2 с и подают дополнительный импульс нагрева до температуры сварки — 0,8...0,9 температуры плавления. Патент РФ 2264898. А. В. Губарев, В. В. Губарев, В. В. Губарев, В. И. Юдаков [33].

Устройство для восстановления деталей электрошлаковой наплавкой, отличающееся тем, что весовой механизм выполнен в виде уравнивающей трособлочной системы, включающей стойку, на которой размещена направляющая, связанная посредством троса с приспособлением для крепления кокиля и детали и с уравнивающим грузом. Патент РФ 2264899. В. В. Вашковец (Хабаровский ГТУ) [33].

Устройство для восстановления деталей электрошлаковой наплавкой, содержащее привод вертикального перемещения электродов, состоящий из винта и грузовой гайки, связанной с вертикально подвижной кареткой, расположенной на направляющей колонне, отличающееся тем, что грузовая

гайка выполнена разъемной и дополнительно содержит механизм для вывода ее из контакта с винтом, а каретка через трособлочную систему связана с противовесом. Патент РФ 2264900. В. В. Вашковец (То же) [33].

Способ сварки световым лучом разнотолщинных и разнородных материалов, отличающийся тем, что детали, обладающие различными теплофизическими свойствами или толщинами, сваривают световым лучом лазерного излучения, на котором установлены два стекла с различными теплофизическими свойствами. Патент РФ 2265901. А. П. Будник, Е. В. Мищенко, Д. П. Соколов (Воронежский ГТУ) [33].

Источник питания для дуговой сварки, отличающийся тем, что первая и вторая вторичные обмотки состоят из трех секций, из которых третья секция является общей для обмоток, причем первая вторичная обмотка состоит из первой и третьей секций, соединенных последовательно и согласно, а вторая вторичная обмотка состоит из второй и третьей секций, соединенных последовательно и согласно, при этом один конец каждой секции подсоединен к общей точке, а несоединенные концы трех секций подключены к диагоналям переменного напряжения двух мостов, состоящих из шести вентилях, два из которых являются общими для двух мостов. Патент РФ 2265504. О. И. Сахно, Л. И. Сахно, П. Д. Федоров, А. И. Комарчев (С.-Петербургский ГПУ) [34].

Способ сварки изделия из суперсплава на основе никеля, при котором предварительно нагревают всю зону сварного шва и область, примыкающую к зоне сварного шва изделия, до температуры максимальной пластичности, которая выше температуры старения и ниже начальной температуры плавления для упомянутого суперсплава, и поддерживают такую температуру во время сварки и твердения сварного шва, увеличивают температуру сварного изделия до температуры снятия механических напряжений и охлаждают сварное изделие до температуры ниже диапазона дисперсного твердения первичной гамма-фазы со скоростью, эффективной для уменьшения выделения первичной гамма-фазы. Патент РФ 2265505. М. Фостер, К. Апдегроув (Хромэллоу ГЭЗ Тербайн Корпорейшн, США) [34].

Способ изготовления электродов для контактной точечной сварки, при котором матрицу заполняют электродным материалом и штампуют пунсоном, отличающийся тем, что электродный материал, состоящий из отработанных электродов и 0,2...0,5 мас. % хрома, расплавляют до температуры плавления, после остывания которого до температуры 900...950 °С штампуют пуансоном, затем проводят закалку электрода. Патент РФ 2265506. А. П. Рукосуев, Ю. Г. Новосельцев, О. А. Рукосуев, Д. В. Антонов (Красноярский ГТУ) [34].

Способ термомеханической резки, при котором на материал воздействуют направленной сверхзвуковой струей продуктов сгорания твердого топлива, отличающийся тем, что между зарядами твердого топлива размещают пиролизующийся материал, а также наносят слой такого же материала на поверхность стенки соплового блока, направляющей струю, причем используют пиролизующийся органический материал не более 10 % массы твердого топлива с содержанием 2...5 мас. % металлических порошков размером частиц 50...250 мкм и плотностью 5...8 г/см³. Патент РФ 2266178. Г. В. Кузнецов, Т. Н. Немова (НИИ прикладной математики и механики при Томском ГТУ) [35].

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2005 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



Робот для электродуговой сварки зоны рельса, содержащий горелку электродуговой сварки, имеющую возможность перемещения для выполнения сварки рельса, и средство управления перемещением, отличающийся тем, что средство управления перемещением включает первое средство для управления перемещением горелки электродуговой сварки по периметру подлежащей сварке зоны так, чтобы геометрические места сварки на упомянутой зоне считывались с помощью средства считывания, соединенного со средством запоминания для введения в память данных об упомянутых геометрических местах сварки, полученных на рельсе при считывании, и второе средство автоматического управления перемещением горелки электродуговой сварки вдоль подлежащей сварке зоны в границах упомянутого считывания и как функции геометрических мест сварки, в соответствии с находящимися в памяти данными. Патент РФ 2266179. Ж. Сорон, Ж. Гон (Сосьете Жозеф Соран Матерьерль Эндюстриель 3. И. Ле Борд, Франция) [35].

Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки, отличающееся тем, что в корпусе проволокоподающего механизма по оси канала подачи проволоки установлены выравнивающие втулки в количестве $2n + 1$, где $n = 1, 2, 4, 8$, причем втулки равноудалены друг от друга. Патент РФ 2266180. Н. Машрабов (Челябинский ГТУ) [35].

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки, отличающийся тем, что преобразователь постоянной подачи в импульсную установлен на выходе из сварочного шланга и состоит из электромагнита с толкателем на якоре и шарикового захвата, имеющего подпружиненный упор и выполненного отдельно от электромагнита, при этом преобразователь выполнен с возможностью регулирования зазора между толкателем и упором. Патент РФ 2266181. О. Г. Брунов, В. Т. Федько, А. В. Крюков и др. (Томский политехнический университет) [35].

Устройство для шовной ультразвуковой сварки краев труб внахлест, содержащее концентратор, ролик, закрепленный на конце концентратора, другой конец которого связан с вибратором, отличающееся тем, что концентратор выполнен в виде ступенчатого волновода, при этом диаметр первой ступени волновода для конца концентратора, предназначенного для связи с вибратором, выбран большим, чем диаметр второй ступени волновода для конца концентратора, на котором закреплен ролик, причем диаметр ролика выбран равным диаметру второй ступени волновода на конце концентратора.

Патент РФ 2266182. Е. Ю. Бухарев, А. М. Мирзоян, Н. Н. Рыжов (ЗАО НПП «Маяк-93») [35].

Способ получения плоских многослойных заготовок и листов из разнородных титановых сплавов, отличающийся тем, что используют катаные листовые прослойки из технически чистого титана, при этом диффузионное соединение слоев пакета и прослоек осуществляют в вакуумной камере гидравлического пресса при разрежении пространства камеры $(6,67...13,3)10^3$ Па, температуре нагрева пакета, составляющей $(0,53...0,6)$ температуры плавления титана, отношении среднего давления сжатия пакета к пределу текучести титана $(1,5...3,0)$ и длительности выдержки пакета под давлением $1...2$ ч. Патент РФ 2266183. Н. Д. Лукашин, Я. Л. Соломоник, А. Я. Винокуров (Московский ГВМИ) [35].

Способ сборки кондуктора для сборки-сварки кузова автомобиля, включающий установку на направляющие рельсы базовыми элементами центральной части кондуктора с установленными и выверенными кондукторными узлами, состоящими из кондукторных плит и рабочих блочков, закрепление центральной части кондуктора фиксаторами, подведение корпусов боковых воротин, налаживание узлов взаимной фиксации. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2266184. В. А. Носов, А. Е. Хабаров (ОАО «ГАЗ») [35].

Способ неразъемного соединения деталей, отличающийся тем, что используют припой в виде наночастиц, при этом соединяемые поверхности предварительно обрабатывают до степени шероховатости не более 10^3 нм. Патент РФ 2266801. Ф. П. Демидов, В. Б. Лапшин, А. А. Палей, М. Ю. Яблоков [36].

Устройство для контактной лазерной обработки, содержащее оптическую лазерную головку, шуп, датчик перемещения, отличающееся тем, что датчик выполнен в виде источника цифровых сигналов, имеющего две подпружиненные относительно друг друга дискретные пластины, а шуп снабжен регулируемым по высоте штоком, посредством которого он связан с одной из пластин, причем одна пластина подпружинена установленными на штоке пружинами обратного действия, а другая пластина подпружинена установленным на головке ходовым винтом. Патент РФ 2266802. С. В. Усов, Ю. А. Белобратов, М. М. Кокоулин (ОАО АК «Туламашзавод») [36].



По зарубежным журналам*

SCHWEISS- & PRUEFTECHNIK (Австрия) 2005. — № 4 (нем. яз.)

Gerlach K.-H., Wasle G. Полностью механизированное производство сосудов из алюминия для грузовых транспортных средств, с. 51–55.

Новые достижения в сварке алюминия, с. 55.

Высокая производительность — процесс сварки в четырехкомпонентном защитном газе (T.I.M.E.) с оцифровкой па-

раметров повышает производительность при работе вручную, с. 56.

Новые виды компактных шлифовальных машин мощностью менее 4 кВт, с. 57.

Nova — новая компактная машина для проявления рентгеновских пленок в промышленности, с. 58.

SCHWEISS- & PRUEFTECHNIK (Австрия) 2005. — № 5 (нем. яз.)

Trieb F. Резка водяной струей — состояние техники и инновационное применение, с. 67–70.

Мелкие партии, короткое время производства, высокая эффективность, с. 71.

Роботизированная сварка МАГ CrNi-стали с помощью защитного газа CRONIGON He 50 — повышение производительности благодаря оптимальному применению защитного газа, с. 72.

PHOENIX RC — оптимальная автоматическая система МИГ/МАГ сварки, с. 73.

Роботизированная ячейка для сварки мелких массовых деталей, с. 74.

Крупная роботизированная установка для производства строительных машин в Бельгии, с. 75.

Свежий ветер в области робототехники, с. 76–77.

Huppertz P. H. Мюнхен: сварка в аппарато- и сосудостроении, февраль 2005 г. — передача знаний, с. 77–78.

SCHWEISS- & PRUEFTECHNIK (Австрия) 2005. — № 6 (нем. яз.)

Friedlbinder L. Применение сварочных роботов в изготовлении рельсового подвижного состава с точки зрения пользователя, с. 85–86.

Новый ультразвуковой нот-бук для пользования в производственных условиях, с. 90.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2005. — № 3 (нем. яз.)

Рост поступления заказов на промышленные роботы, с. 62–63.

Hartman G. F. Больше сварочных машин для азиатского рынка, с. 63–64.

Международная конференция ITSC по термическому напылению в мае 2005 г. в Базеле, с. 63.

Kosterman H. Год со дня основания координационного комитета по сварочной технике в области надземных сооружений, с. 64–65.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заявкам (заказ по тел. (044) 287-07-77, НТБ ИЭС).



Системы роботизированной сварки для бельгийских производителей строительных машин, с. 66.

Одна установка, выполняющая плазменную и автогенную резку, с. 66–67.

Сервоприводы для контактной сварки, с. 67–68.

Изготовление сварочных агрегатов в Лейпциге, с. 68.

Weib E. Обусловленные сваркой факторы влияния при определении прочности сосудов давления, с. 71–94.

Wesling V. Исследования разработки присадочных материалов на основе меди и никеля для процесса плазменно-прошковой пайки, с. 95–96.

Jerzembec J. 9-я сварочная выставка «Сварка и резка-2004» в Пекине, с. 105–106.

Leuschen B. 19-я конференция по контактной сварке в Дуисбурге в мае 2004 г., с. 106–111.

Xu P. Успехи в области контактной сварки. 3-й Международный семинар в ноябре 2004 г. в Берлине, с. 112–113.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2005. — № 4 (нем. яз.)

Hartmann G. F. Капитальные затраты немецких предприятий, с. 122–123.

DVS приглашает на сварочную выставку в Эссен, с. 123.

Blum P. Использовать преимущества местоположения предприятия в Германии, с. 123–124.

«Виртуальный музей техники соединения» на компакт диске, с. 125.

Повышение производительности роботизированной сварки МАГ, благодаря оптимизированному применению защитного газа, с. 126.

Интервью Александра Калавритиноса, специалиста по термическому напылению, с. 127–128.

Trommer G. Новое программное и материальное обеспечение при сварочном процессе с переносом холодного металла (CMT — Cold-Metal-Transfers), с. 128.

Kremsner F. et al. Термическое напыление установок внутреннего сгорания, с. 134–136.

Zwatz R. Управление качеством в области сварочной техники. Заседание комитета CEN/NC 121/SC4 в ноябре 2004 г. в Берлине, с. 113–114.

Gerlach K.-H., Wasle G. Полностью механизированное производство сосудов из алюминия для грузовых транспортных средств, с. 51–55.

Новые достижения в сварке алюминия, с. 55.

Высокая производительность — процесс сварки в четырехкомпонентном защитном газе (T.I.M.E.) с оцифровкой параметров повышает производительность при работе вручную, с. 56.

Новые виды компактных шлифовальных машин мощностью менее 4кВт, с. 57–58.

Nova — новая компактная машина для проявления рентгеновских пленок в промышленности, с. 58–59.

Lugscheider E. et al. Актуальные направления развития техники термического напыления (краткий обзор), с. 137–140.

Heinrich P. et al. Стандарты DIN и рекомендации DVS по термическому напылению — определить последовательное использование, с. 141–147.

Hohle H.-M. Напыление аппаратами для скоростного газопламенного напыления с использованием горючих газов и жидкостей — философия и факты, с. 148–151.

Grasme D. Низкотемпературное газопламенное напыление в серийном производстве, с. 152–155.

Krommer W., Heinrich P. Современное газоснабжение при термическом напылении, с. 156–158.

Steinhage M., Jerzembeck J. Определение предельных величин для монооксидов азота на рабочем месте, с. 161–164.

Mubmann J., Zwatz R. Глобальное значение стандартов по аппаратам давления, с. 169–170.

Zwatz R. Технические требования к сооружению стальных несущих конструкций, с. 170–171.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2005. — № 5 (нем. яз.)

Финансирование исследований в Европе, с. 179–180.

Baumgart P. Алюминиевые и магниевые присадочные материалы для роботизированной сварки, с. 182–184.

Эффективная защита слуха облегчает применение новых европейских стандартов, с. 184.

Легированный металлический порошок для твердых слоев, с. 184–185.

Staniek G. et al. Оксиды в алюминиевых сплавах, сваренных трением с перемешиванием, с. 189–197.

Vollertsen F. et al. Улучшение свойств сварных швов лазерным переплавом, с. 198–204.

Adamiec P., Gawrysiuk W. Свойства расплавленных швов с литой структурой хрома, с. 205–211.

Anders J. Ручная лазерная сварка, с. 217–218.

Dilthey U. et al. Интеграция техники соединения в производстве, с. 218–221.

SUDURA (Румыния) 2005. — Vol. XV, № 3 (рум. яз.)

Petrica A., Milos L. Количественный микроанализ слоев, выполненных термическим напылением на внутренние цилиндрические поверхности. Ч. 2. Результаты количественного микроанализа нанесенных слоев, с. 5–10.

Parvu M., Diaconu M. Эргономическое оборудование для подводной резки и сверления с использованием кислородного копья, с. 11–16.

Dumbrava D. et al. Экспериментальные исследования и аналитическая оценка остаточных деформаций при сварке алюминия. Ч. 1. Первоначальный анализ и подготовка к экспериментальному исследованию, с. 17–21.

TWI CONNECT (Англия) 2004. — № 136 (May/June) (англ. яз.)

Применение сварки трением с перемешиванием в мет-рополитене Лондона, с. 1–3.

Испытания на критическое раскрытие трещины, с. 4–5.



WELDING and CUTTING (Германия) 2005. — № 3 (англ. яз.)

Hardwick R. Новый толстолистовой материал, плакированный титаном и цирконием — переворот в области технологии плакирования, с. 114–118.

Jessop T. J. Национальная и международная аттестация персонала по сварке, с. 120–123.

Jenicek A., Cramer H. Приварка втулок к изделиям из алюминиевых сплавов — будущая разработка для соединения небольших полых тел с помощью дуги, вращающейся в магнитном поле, с. 126–130.

Schirmacher A., Sutter E. Коэффициент пропускания инфракрасного излучения в фильтрах для глаз, с. 135–142.

Killing R. Плазменная высокотемпературная пайка — преимущества и недостатки по сравнению с пайкой способом МИГ, с. 147–149.

Sicking R. Высокотемпературная пайка алюминиевых теплообменников, с. 150–159.

WELDING JOURNAL (США) 2005. — Vol. 84, № 5 (англ. яз.)

Villafuerte J. Напыление без подогрева — новая технология, с. 24–29.

Cortina P. Сплошная проволока по сравнению с порошковой проволокой с металлическим сердечником — какая из них должна использоваться для оптимизации роботизированного процесса?, с. 30–32.

Mossman M. Информация по присадочным материалам, которую можно найти на сайте, с. 33–35.

Tuthill A. H. Коррозионные испытания сварных изделий из аустенитной нержавеющей стали, с. 36–40.

Johnsen R. Обелиск, воздвигаемый в честь почетных героев, с. 68–70.

Neilson A. R. Репутация школы зависит от успеха ее студентов, с. 71–73.

Wiswesser R. K. Сравнение методов определения температуры, с. 74–79.

Vandenberg M. Выбор правильного типа портативного устройства для подачи проволоки, с. 77–79.

Song O. et al. Экспериментальное исследование для определения электроконтактного сопротивления при контактной сварке, с. 73–76.

Klingensmith S. et al. Микроструктурные характеристики двустороннего шва, выполненного сваркой трением с перемешиванием на сверхаустенитной нержавеющей стали, с. 77–85.

WELDING JOURNAL (США) 2005. — Vol. 84, № 6 (англ. яз.)

Brunning A. Подводная сварка труб с использованием метода сбалансированного давления, с. 26–32.

Orlowski J. et al. Орбитальная сварка титановых труб — применение на бразильско-китайском авиационном предприятии, с. 34–37.

Bruckner J. Перенос металла в холодном состоянии в будущих соединениях стали с алюминием, с. 38–40.

Sammons M. Основы технологии прецизионной ручной дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде защитного газа, с. 42–43.

Still J. R. et al. Изготовление палубных консольных конструкций морских платформ, с. 44–48.

Campbell K. Двух- и четырехгодичное обучение по специальности техник и инженер-сварщик в государственном университете г. Ферриса, с. 50–53.

Jenkins N. T., Eagar T. W. Химический анализ частиц дыма и паров при сварке, с. 87–93.

Ozden H., Gursel K. T. Срок службы вольфрамовых электродов при сухой подводной сварке в условиях повышенного давления, с. 94–99.

ZVARANIE-SVAROVANI (Словакия) 2005. — R. 54, № 3 (слов. яз.)

Brziak P. et al. Ремонтная сварка сосудов давления из стали SQV2A без последующей термообработки швов. Ч. 3. Примеры использования разных режимов сварки, с. 63–67.

Pechna J. et al. Сварка мартенситной стали P92 в энергетике, с. 68–76.

Kalna K. Требования к качеству сварных конструкций и причины их повреждения, с. 77–81.

Sebro P. et al. Будущее бессвинцовой пайки, с. 82–84.

ZVARANIE-SVAROVANI (Словакия) 2005. — R. 54, № 4 (слов. яз.)

Bernasovsky P., Holec V. Новые сверхмартенситные стали и их сварка, с. 95–99.

Halla P. Выбор оптимального типа вольфрамового электрода для сварки ТИГ, с. 99–101.

Zatko M., Eckhardt E. Методы измерения твердости материалов и принципы выбора портативных измерительных приборов, с. 101–105.

Pesek L. Испытание на измерение твердости вдавливанием шарика и определение местных механических свойств материалов, с. 106–112.

Kucik P. Практические примеры использования ультразвуковых датчиков на основе «фазовой решетки» в энергетике, с. 112–115.

ПЕРЕВОДЫ СТАТЕЙ ИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

Вневакуумная электронно-лучевая сварка легких тонколистовых металлов и стальных листов / Бах Ф. В., Желяговски А. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 13 с. — Пер. из журн.: Welding in the World. — 2003. — Vol. 47. — № 3/4.

Спектральная диагностика многокомпонентной плазмы дуги / Сонг Ю., Ли Ж. — К.: ИЭС, 2005. — 8 с. — Пер. из журн.: China Welding. — 1998. — Vol. 7. — № 1.

Соединение алюминиевого сплава с низкоуглеродистой сталью лазерной сваркой с применением давления / Нисимото К., Фудзии Х. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 8 с. — Пер. из



журн.: Quarterly Journal of the Japan Welding Society. — 2004. — Vol. 22. — № 4. — P. 572–579.

Система слежения по шву в реальном масштабе времени для автоматизированной дуговой сварки плавлением / Де А., Парль Д. — К.: ИЭС, 2005. — 15 с. — Пер. из журн.: Science and Technology of Welding and Joining. — 2003. — Vol. 8. — № 5.

Адаптивное управление обратным валиком при сварке в V-образную разделку без сварочной подкладки / Ямане С., Ямамото Х. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 15 с. — Пер. из журн.: Science and Technology of Welding and Joining. — 2004. — Vol. 9. — № 2.

PULSVEC — новая технология и оборудование для пайки алюминия / Нисимура М., Карэко М. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 6 с. — Пер. из журн.: J. of Light Metal Weld. & Construction. — 2003. — Vol. 41. — № 8. — P. 12–18.

Современные направления исследований в области пайки алюминия / Такэмото Т. — К.: ИЭС, 2005. — 17 с. — Пер. из журн.: Journal of Japan Institute of Light Metals. — 1991. — Vol. 41. — № 10. — P. 639–649.

Система адаптивного управления для контроля изменения зазора между свариваемыми кромками при роботизированной сварке в узкий зазор / Шариф Л. Г., Ямане С. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 14 с. — Пер. из журн.: Welding International. — 2003. — Vol. 17, № 8. — P. 605–614.

Сварка корневых валиков на стали P91 / Патрик Ч., Фергюссон Т. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 7 с. — Пер. из журн.: Welding Journal. — 2004. — № 7.

Сварка полых конструкций из высокотемпературных материалов / Дилтай У., Озе П. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 6 с. — Пер. из журн.: Schweissen und Schneiden. — 2004. — № 1. — S. 11–15.

Применение гибридных технологий соединения тонких листов с низким тепловложением / Хан В., Виббке Е.-М. — К.: ИЭС, 2005. — 9 с. — Пер. из журн.: Schweissen und Schneiden. — 2004. — № 11. — S. 593.

Диффузионная сварка соединений титан-алюминий и титан-сталь / Вильден И., Бергман Ж.П. — К.: ИЭС, 2005. — 8 с. — Пер. из журн.: Schweissen und Schneiden. — 2004. — № 5. — S. 199–207.

Технологические и металлургические аспекты при сварке гибридных соединений / Хайнеман Г., Келлер Г. и др. — К.: ИЭС, 2005. — 6 с. — Пер. из журн.: Schweissen und Schneiden. — 2004. — № 12. — S. 170.

Новая система управления сварочной головкой на базе оценки интенсивности эмиссии дуги при импульсно-дуговой сварке алюминия / Раймерс И. Д. — К.: ИЭС, 2005. — 6 с. — Пер. из журн.: DVS 225. — S. 9–13.

НОВАЯ КНИГА

Вышел из печати сборник трудов II Международной конференции «**Лазерные технологии в сварке и обработке материалов**» / Под ред. акад. Б. Е. Патона и проф. В. С. Коваленко. — Киев, ИЭС 2005. — 208 с., формат 200×290 мм, мягкий переплет), язык англ.

В сборник включено свыше сорока докладов ученых и специалистов Украины, России, Германии, Польши, Китая и Финляндии, Беларуси, США, Швейцарии, Бельгии, Сирии.

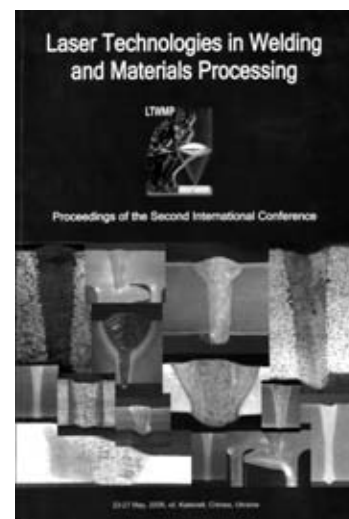
Содержание сборника включает следующие разделы:

- Пленарные доклады
- Оборудование
- Термообработка
- Моделирование
- Быстрое макетирование
- Наплавка
- Сварка

По вопросу приобретения сборника просьба обращаться в редакцию журнала «Автоматическая сварка».

Тел./факс: (044) 529 26 23, 528 34 84

E-mail: journal@paton.kiev.ua





11-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛЕОТЕСТ-2006»

С 13 по 17 февраля 2006 г. в Карпатах в Славском Львовской области состоялась 11-я Международная научно-техническая конференция «ЛЕОТЕСТ-2006. Электромагнитные и акустические методы неразрушающего контроля материалов и изделий», на которую собрались специалисты по неразрушающему контролю Украины и России. Организаторами этой ежегодной конференции выступили Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики, Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины (г. Львов), Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Научно-производственная фирма «Ультракон-Сервис» (г. Киев), Научно-производственная фирма «Специальные научные разработки» (г. Харьков), Центр «Леотест-Медиум» (г. Львов).

Открыл конференцию Председатель Оргкомитета, руководитель лаборатории ФМИ им. Г. В. Карпенко, канд. техн. наук В. Н. Учанин. Было зачитано поздравление Председателя Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики проф. В. А. Троицкого к участникам и организаторам конференции.

Как обычно, наибольшее количество докладов внесли на суд коллег научные работники ФМИ им. Г. В. Карпенко:

- В. Н. Учанин «Вихретоковые мультидифференциальные преобразователи и их применение»;
- З. Т. Назарчук, В. Г. Рыбачук, Б. С. Филошин «Прибор для измерения интегрального значения коэрцитивной силы»;
- Р. М. Джала, Л. П. Дикмаров, С. Ф. Савула, В. Л. Вербенец, О. Й. Винник, А. Р. Гайдук, П. М. Хлипняк «Определение компонент переходного сопротивления на участке подземного трубопровода»;
- В. Р. Джала, Л. И. Капля «Измерение комплексного коэффициента отражения в радиоволновом диапазоне длин волн»;
- О. Е. Левицкий, А. Б. Лозинский «К вопросу моделирования структурных шумов»;
- О. П. Осташ, И. М. Андрейко, В. Н. Учанин, Ю. В. Головатюк «Оценка деградации алюминиевых сплавов методом вихретоковой структуроскопии»;
- О. П. Осташ, И. М. Андрейко, В. Н. Учанин, Ю. В. Головатюк «Оценка влияния деградации сплава Д16 на характеристическую зону предразрушения по изменению термоэлектродвижущей силы»;
- О. Р. Берегуляк, Р. А. Воробель, И. М. Журавль, И. Б. Ивасенко, Н. В. Опир, К. В. Сущик «Компьютеризированная система «Образ-Д2» ввода, обработки и анализа результатов капиллярного контроля качества изделий»;

• В. Н. Учанин, И. И. Кириченко и научные работники ГKB «Южное» им. М. К. Янгеля В. Г. Тихий, М. В. Хомченко, Ю. С. Ткаченко «Исследование вихретоковых преобразователей для выявления дефектов сварных швов тонкостенных элементов космических конструкций».

Большой интерес и живую дискуссию вызвали доклады гостей из Санкт-Петербурга (ЛЭТИ и Ассоциация «ТЕСТРОН») и Москвы (НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана):

- Н. Н. Егоров, В. Г. Агузумян, М. О. Калинина «Эффективные методы и средства ультразвукового контроля магистральных трубопроводов в трассовых условиях»;
 - Н. Н. Егоров, О. Г. Грудская, И. Э. Махов, С. В. Титов, К. Э. Тоом «Ультразвуковой контроль заготовок поршней разных модификаций для дизельных двигателей»;
 - П. Б. Стрелков, Г. А. Бигус, Н. О. Быстрова «Исследование акустико-эмиссионных свойств материалов контура многофазовой принудительной циркуляции атомного реактора»;
 - А. Г. Андреев, В. В. Шемякин, О. Л. Рябов «Специализированный стенд для обучения и практического экзамена по акустико-эмиссионному методу»;
 - А. Г. Андреев, Г. А. Бигус, Н. О. Быстрова, Т. В. Мохова «Порядок и процедура аттестации экспертов, осуществляющих экспертизу промышленной безопасности опасных производственных объектов Российской Федерации».
- От ИЭС им. Е. О. Патона интересный доклад, посвященный ультразвуковому контролю сварных труб большого диаметра, представили В. Л. Найда, А. А. Мозжухин, И. Ф. Ефремов, А. П. Копылов (два последних соавтора — специалисты Выксунского металлургического завода) «О тенденциях развития систем для автоматизированного ультразвукового контроля продольных сварных соединений труб».
- Несколько докладов представили сотрудники различных университетов Украины:
- О. М. Карпаш, И. И. Цюцк (ИФНТУНТ, г. Ивано-Франковск) «Методы и средства повышения технологической безопасности нефтегазового оборудования и инструмента»;
 - О. М. Карпаш, И. С. Кисиль (ИФНТУНТ, г. Ивано-Франковск) «Метрологическая оценка результатов контроля физико-механических характеристик материалов металлоконструкций»;
 - О. М. Карпаш, О. Ф. Казак (ИФНТУНТ, г. Ивано-Франковск) «Разработка методов экспресс-контроля состава технологических жидкостей»;



- С. В. Серебряников, О. И. Сириков (КГТУ, г. Кировоград) «Выбор информативных параметров для контроля загрязненности высоковольтных изоляторов»;

- Т. И. Доминюк, И. П. Микитин, Б. И. Стадник (НУ «Львовская политехника») «Методика исследований изменений состояния термоэлектронного материала по мгновенным значениям термоэлектродвижущей силы»;

- В. Я. Прохоренко, С. В. Прохоренко, С. Ф. Филоненко, Р. Гузек, П. Легутко (НУ «Львовская политехника», Национальный авиационный университет и Жечувский университет в Польше) «Комплексный контроль процессов пластической деформации и плавления-кристаллизации металлов методом акустической эмиссии».

О своих исследованиях в разработке дефектоскопов и автоматизированных установок рассказали представители ряда предприятий, которые давно предлагают свою продукцию на рынке Украины:

- О. А. Никоненко (НПФ «Ультракон-Сервис», г. Киев) «Разработки НПФ «Ультракон-Сервис»;

- О. М. Самусенко (Компания «Сперанца», г. Желтые Воды) «Контроль качества защитного покрытия и материала»;

- А. В. Джаганян, Г. Г. Луценко, В. Н. Учанин (НПФ «Ультракон-Сервис», г. Киев) «Разработка нового универсального вихревого дефектоскопа ВД-89НМ (ОКО-01)»;

- А. В. Свистун (НПФ «Ультракон-Сервис», г. Киев) «Малогабаритный ультразвуковой дефектоскоп общего назначения типа УД 3-71»;

- С. Г. Галкин (Институт сцинтилляционных материалов, г. Харьков) «Разработка многоэлементных детекторов для рентген-диагностических систем».

На круглом столе по проблемам неразрушающего контроля присутствующих заинтересовали неформальные выступления руководителей подразделений НК предприятий Украины, которые рассказали об основных задачах, решение которых позволит значительно повысить качество продукции: В. Г. Тихий (ГКБ «Южное» им. М. К. Янгеля, г. Днепропетровск); Г. В. Варуха (ПО «Южмаш», г. Днепропетровск); С. А. Александров (КБ «Ивченко-Прогресс», г. Запорожье); В. Ю. Цыганов (АО «Мотор-Сич», г. Запорожье) и др.

Доклады конференции были изданы отдельным сборником.

В холле конференц-зала проходила выставка средств неразрушающего контроля и технической диагностики. В ней принимали участие: НПФ «Ультракон-Сервис», г. Киев; НПФ «Промприбор», г. Киев; НПФ «Интрон-СЕТ», г. Донецк; компания «Сперанца», г. Желтые Воды; ЗАО «Тестрон», г. С.-Петербург; НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва; Центр «Леотест-Медиум», г. Львов.

Конференция прошла в деловой и доброжелательной атмосфере. Участники конференции проживали в пансионате «Бойківщина», который расположился на окраине Славска среди многолетних сосен, елей и пихт, близ горнолыжных трасс. Свободное время участники могли посвятить отдыху на горных лыжах на склонах горы Тростян (8 подъемников), горы Кремень (2 подъемника), горы Полгар (2 подъемника), горы, которая получила название от подъемника — «Варшава», и горы Пысана, где впервые в этом году принял отдыхающих новый отель «Захар Беркут» и наилучшие в Славске горнолыжные трассы, парнокресельная канатная дорога и два бугельных подъемника.

В. Н. Учанин, канд. техн. наук,
Ю. Н. Посыпайко, инж.

Более 13 лет на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы



тел. (380612) 33 1058,34 3623,
13 2269,(38061) 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua

**Электромашино-
строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»**



ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



60 лет в мире сварки

95000, г. Симферополь, Украина
ул. Генерала Васильева, 32А
Тел.: (0652) 48-65-37, 48-18-62
E-mail: sales@selma.crimea.ua

www.selma.ua



маски
катоды
флюсы
горелки
редуктора
проволоки
электроды
выпрямители
плазматроны
клемы массы
трансформаторы
сварочные трактора
керамические сопла
держатели электрода
сварочные полуавтоматы
установки для автоматизированной плазменной резки
оборудование для газоплазменной резки, наплавки, напыления
установки для контактной сварки
установки для микроплазменной сварки
гарантийное и сервисное обслуживание
установки очистки и фильтрации воздуха
установки для автоматической сварки в среде защитных газов всех видов металла
оборудование для антикоррозионной защиты
установки для автоматической сварки под флюсом
композиционные металлополимерные материалы

ТОРГОВИЙ ДІМ ЗВАРЮВАННЯ 03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав. №21, тел./факс: (+380 44) 526-93-70, 526-93-76, 526-93-75, 526-92-16, e-mail: igor@welding.kiev.ua, house@welding.kiev.ua

Разработка, производство, внедрение

Порошковые проволоки для сварки, наплавки и напыления

- Производство порошковых проволок ПП-АН, ПП-Нн;
- оборудование для наплавки; Welding Alloys;
- наплавочные установки Welding Alloys;
- порошковые проволоки Welding Alloys;
- проволоки сварочные Hyundai Welding;
- внедрение новых технологий;
- техническое сопровождение;
- разработка новых проволок;

**HYUNDAI**
WELDING CO., LTD.

ООО НПФ "Элна"
ул. Горького, 69, г. Киев, 03680
тел. (044) 200-80-25, 200-85-17
факс (044) 200-85-17
e-mail: info@elna.com.ua



г. Киев, 03150,
ул. Боженько, 11
www.gefest-sv.com.ua
gefest-sv@kievweb.com.ua

тел./факс: (38044) 200-88-33

Производство высококачественных электродов для:

- Сварки высоколегированных сталей
 - ОЗЛ-4
 - ЦА-11
 - ЭА-48М/22
 - АНЖР-1
 - АНЖР-2
 - ЦТ-15
- Сварки теплоустойчивых сталей
 - ЦУ-5
 - ЦА-39
 - ТМУ-21У
 - ТМА-1У
 - ТМА-3У
- Наплавки слоев со специальными свойствами
 - ЦН-12М
 - ЦН-6А
 - НИИ-48Г
 - Т-590
 - НР-70
 - ЦЧ-4
 - Гефест-6 (ОЗН-6)
 - ЦНИИ-4

А также множество других марок
на заказ

ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ СОЗДАВАТЬ!**Вся продукция СЕРТИФИЦИРОВАНА****ЭЛЕКТРОДЫ
ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ
ФЛЮСЫ**

Электроды для сварки углеродистых, низколегированных сталей и чугуна (АНО-21, АНО-6у, МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, УОНИ-13/45, АНО-27, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ/60, ЦУ-5, ЦЧ-4)

Порошковые проволоки для сварки, наплавки, резки (в том числе под водой) ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН8, ПП-АН29, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН69, ПП-АН19Н, ПП-АНВ2у, ППС-ЭК1, ПП-ЭК2, ПП-Нп-30Х20Мн, ПП-Нп-12Х14Н13, ПП-Нп-200Х15С1ГРТ, ПП-Нп-30Х12СМТ, ПП-Нп-60Х9С3ГТ, ПП-Нп-200ХГР, ПП-Нп-Х25Г14Н3Т, ПП-Нп-80Г15Н4, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

Флюсы плавные и керамические, для сварки и наплавки (АН-72, АН-М13, АНК-40, АНК-565, АНК-57, АНК-47А. По отдельным заказам изготавливаем флюсы других марок)

Опытный завод сварочных материалов
ИЭС им. Е.О. Патона
04112, г. Киев, ул. Е. Телиги, 2
Тел.: (044) 456 63 69
Факс: (044) 456 50 01

Лидер производства порошковых проволок в Украине**ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"**

Порошковые проволоки для наплавки
по ГОСТ 26101-84

-80Х20 РЗТ, 35В9Х3СФ, 25Х5ФМС, 18Х1Г1М и др.

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК

-ВЕЛТЕК Н200 - Н620

Порошковые проволоки для сварки

-АН1, АН8, АН39, АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ

-ТМВ3, ТМВ6, ТМВ7, ТМВ11, ТМВ14, ТМВ29 и др

Диаметрами от 1,0 до 6,0 мм., производство до 5000 т/год
разработка, адаптация к условиям заказчика.

ул. Полеская, 24, офис 504

03056, Киев, Украина

тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485

e-mail: weldtec@iptelecom.net.ua www.weldtec.com.ua

**ПРОИЗВОДСТВО
ПРОДАЖА
СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ**

- Малогабаритное, высокоэффективное энергосберегающее сварочное оборудование на токи 110-300 А с ограничением холостого хода до 12 В



- Автономные мобильные сварочные комплексы на базе резонансных преобразователей



Сварочные инверторы для MMA и TIG сварки на токи 80-300А

"ИЭС - ЭПС"

Украина, 03150, г. Киев, ул. Горького, 94-96, к. 14,
тел./факс: (38044) 271 20 36, 271 21 02
Специализированный магазин: "ИНПАТ-СЕРВИС",
тел.: (044) 220 92 89



Машины для термической резки "Комета М"

Машины для микроплазменной резки "Метер"

Переносные газорезущие машины "Радуга"

Машины для фигурной газокислородной резки "АСП - 70М"

Капитальный ремонт и модернизация МТР

Поставка источников плазменной резки,

насосов, теплообменников и газисных частей

к криогенному оборудованию

oaozont@zont.com.ua
www.zont.com.ua

т. +38048 717-00-50
ф. +38048 715-69-50

65104, Украина, пр. Маршала Жукова, 103

Завод автогенного оборудования
г. Краматорск

Сертифицированная продукция!

РЕЗКИ

Резаки Р1 "Донмет"	- 54 грн.
Горелки газосварочные Г2 "Донмет"	- 46 грн.
Горелки для кровли ГВ "Донмет"	- 23 грн.
Керосинорезы РК-200	- 115 грн.
Бачки керосиновые БГ-08 "Донмет"	- 123 грн.
Редуктор БПО "Донмет"	- 37 грн.
Редуктор БКО "Донмет"	- 73 грн.

АСП-10, баллоны, вентили баллонные,
рукава резинотканевые, манометры, карбид...

Тел./факс (0626) 44-26-85, (06264) 5-77-13

E-mail: svarka@donmet.com.ua

<http://www.donmet.com.ua>



СпецСплав www.spetssplav.dp.ua



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

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

тел.: (380562) 32-26-22
т/ф: (380562) 32-37-99
sp@spetssplav.dp.ua

ЗАРЕЗЕРВИРУЙТЕ место
для Вашей рекламы
в следующих номерах.

Звоните:
(044) 529 26 23, 287 63 02

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ВОДОРОДНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ «ВОМ-2007»

5-я Международная конференция

21-25 мая 2007 г.

г. Донецк, Украина

Генеральные направления ВОМ-конференций — водородная экономика и материалы: эффективность и безопасность современных водородоемких производств и проблемы перехода к водородной цивилизации будущего.

Конкретные задачи ВОМ-конференций — организовать широкий обмен информацией и личное общение представителей водородного сотрудничества стран СНГ и мирового водородного движения, инициирующих новое видение

- проблем перехода к водородной экономике и долгосрочных задач выявления бифуркационных точек на пути к водородной цивилизации;
- задач и путей решения современных производственных проблем, связанных с водородной деградацией материалов и обостряющихся в связи с окончанием сроков проектной службы конструкций, коммуникаций и аппаратов многих водородоемких и водородобезопасных производств в странах СНГ;
- перспективных задач ближайшего будущего в области физики, химии и физической химии систем водород-конденсированное вещество, в области водородной, термической и пластической обработки конструкционных и функциональных материалов для обеспечения безопасности и эффективности их использования в промышленности, на транспорте и в быту в период коммерциализации водородной экономики.

Контакты:

E-mail: goltsov@physics.donetsk.ua

Научно-технические журналы ИЭС им. Е. О. Патона <http://www.nas.gov.ua/pwj>

«Автоматическая сварка», 12 номеров в год, издается с 1948 г. В журнале представлена разнообразная научно-техническая информация по сварке, наплавке, резке, пайке и нанесению защитных покрытий; производственный опыт применения современных технологий для соединения материалов и восстановления изделий; сведения о новых книгах и патентах; обзорная информация о профильных выставках и конференциях; банк производителей товаров и услуг на рынке сварочного производства Украины и России.

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«Техническая диагностика и неразрушающий контроль», 4 номера в год, издается с 1989 г. В журнале представлены последние достижения в области технической диагностики и неразрушающего контроля (акустическое излучение, магнитные, радиоволновые, термические, оптические, радиационные и другие методы). Широко освещаются методики оценки и прогнозирования разрушений в сварных конструкциях.

Тел.: (38044) 271-23-90, 529-26-23

«Современная электрометаллургия», 4 номера в год, издается с 1985 г. В журнале освещаются разработки в области электрошлаковой, электронно-лучевой и плазменно-дуговой технологий, вакуумно-дугового переплава и индукционной плавки, а также в области внепечной обработки стали, энерго- и ресурсосберегающих металлургических технологий и др. До 2002 г. журнал издавался под названием «Проблемы специальной электрометаллургии».

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

«The Paton Welding Journal», 12 номеров в год. Полный перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка».

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«Advances in Electrometallurgy», 4 номера в год. Полный перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия».

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

На официальном сайте журналов www.nas.gov.ua/pwj приведены рефераты опубликованных статей с 2000 г.

Подписка по каталогам подписных агентств, а также через редакцию

Адрес редакций журналов:
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Тел./факс: (38044) 271-24-03, 529-26-23,
528-04-86
E-mail: journal@paton.kiev.ua



ПОДПИСКА – 2006 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	150 грн.	300 грн.	1980 руб.	3960 руб.	78 дол. США	156 дол. США

*В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

Если Вас заинтересовало наше предложение по оформлению подписки непосредственно через редакцию, заполните, пожалуйста, купон и отправьте заявку по факсу или электронной почте.

Телефоны и факсы редакции журнала «Автоматическая сварка»: тел.: (38044) 287-63-02, 271-24-03, 529-26-23, факс: (38044) 528-34-84, 528-04-86, 529-26-23.

Подписку на журнал «Автоматическая сварка» можно также оформить по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия)

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200 г. по

200 г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190 мм) — 500 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 400 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) — 300 \$

Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) — 500 \$

Полноцветная (200×145 мм) 150 \$

Черно-белая (170×250 мм) — 80 \$

Черно-белая (170×125 мм) — 50 \$

Черно-белая (80×80 мм) — 15 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу.

• Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади.

• При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000 \$, предусмотрена гибкая система скидок.

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм.

• В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов, необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации.

Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 5.0

• Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi.

• К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются).

Подписано к печати 20.03.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 2 цв. вклейки.

Цена договорная.

Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.