



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, 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)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
В. И. Лысак (Россия)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Г. А. Туричин (Россия)
Чжан Янмин (Китай)
Д. фон Хофе (Германия)

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623
Факс: (38044) 528 3484, 529 2623
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина
Электронная верстка:
И. С. Баташева, Л. Н. Герасименко,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков,
А. И. Сулима

Свидетельство о государствен-
ной 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

- Ланкин Ю. Н.** Автоматическое управление процессом сварки плавя-
щимся электродом в CO_2 с периодическими короткими замыканиями
дугового промежутка (Обзор) 3
- Кулик В. М., Савицкий М. М.** Новая методика оценки стойкости свар-
ных соединений закаливающихся сталей против образования холодных
трещин 11
- Назаренко О. К., Ланбин В. С.** Аналоговое и микропроцессорное
управление током сварочного электронного пучка 18
- Лабур Т. М., Покляцкий А. Г., Гринюк А. А.** Повышение сопротив-
ления разрушению соединений сплава 1420, полученных аргонодуговой
сваркой неплавящимся электродом с принудительными колебаниями
сварочной ванны 23
- Дядин В. П.** Влияние предварительного деформирования на ударную
вязкость образца Шарпи при разрушении 28

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Шелягин В. Д., Хаскин В. Ю., Сиора А. В., Бернацкий А. В.,
Гончаренко Е. И., Чижская Т. Г.** Лазерная и лазерно-дуговая сварка
сталей в защитных газах 34

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- Кучук-Яценко С. И., Радько В. П., Казымов Б. И., Зяхор И. В.,
Никольников А. В.** Особенности обнаружения дефектов при ультра-
звуковом контроле соединений труб, выполненных контактной стыковой
сваркой оплавлением 39

ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.** Сварочное производство и
рынок сварочной техники в современной экономике 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Сидорец В. Н., Жерносеков А. М.** Компьютерное моделирование
импульсно-дуговых систем 49
- Савицкий М. М., Савиченко А. А., Кулик В. М., Лупан А. Ф.,
Мельничук Г. М., Черторыльский Л. А., Голуб Н. А., Супруненко
В. А.** Облегченные сварные баллоны для автотранспорта 52
- Новости 54
- Диссертация на соискание ученой степени 55
- Патенты в области сварочного производства 56
- По зарубежным журналам 59
- Новые книги 61

ХРОНИКА

- Липодаев В. Н., Зельниченко А. Т.** WELDEX/Россварка-2006 63
- Наши поздравления — И. К. Походне, Г. И. Лескову, А. Я. Ищенко,
А. А. Мазуру, А. К. Царюку, Ф. Блуме 65

ИНФОРМАЦИЯ 72

- Календарь конференций и выставок в 2007 г.
(сварка и родственные технологии) 74

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 1 (645)
January 2007
Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

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,
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)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Diltthey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
V. I. Lysak (Russia)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
G. A. Turichin (Russia)
Zhang Yanmin (China)

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

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, L. N. Gerasimenko,
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

Lankin Yu. N. Automatic control of consumable electrode CO ₂ welding process with periodic short circuits of arc gap (Review)	3
Kulik V. M., Savitsky M. M. New method of assessment of resistance of welded joints of hardened steels against cold crack formation	11
Nazarenko O. K., Lanbin V. S. Analog and microprocessor control of current of welding electron beam	18
Labur T. M., Poklyatsky A. G., Grinyuk A. A. Increase in fracture resistance of alloy 1420 joints, made by argon arc non-consumable electrode welding with forced oscillations of welding pool	23
Dyadin V. P. Effect of preliminary deformation on value of impact strength in fracture	28

INDUSTRIAL

Shelyagin V. D., Khaskin V. Yu., Siora A. V., Bernatsky A. V., Goncharenko E. I., Chizhskaya T. G. Laser and laser-arc welding of steels in shielding gases	34
--	----

NDT OF WELDED JOINTS

Kuchuk-Yatsenko S. I., Radko V. P., Kazymov B. I., Zyakhov I. V., Nikolnikov A. V. Specifics of detection of defects in UST of pipe joints made by flash butt welding	39
--	----

ECONOMY OF WELDING PRODUCTION

Bernadsky V. N., Makovetskaya O. K. Welding production and market of welding equipment in modern economy	44
---	----

BRIEF INFORMATION

Sidoretz V. N., Zhernosekov A. M. Computer modeling of pulsed-arc systems	49
Savitsky M. M., Savichenko A. A., Kulik V. M., Lupan A. F., Melnichuk G. M., Chertorylsky L. A., Golub N. A., Suprunenko V. A. Light-weight welded cylinders for automobile transport	52
News	54
Thesis for scientific degree	55
Patents in the field of welding	56
Review of foreign journals	59
New books	61

NEWS

Lipodaev V. N., Zelnichenko A. T. WELDEX/Rossvarka — 2006	63
Our congratulations to I. K. Pokhodnya; A. Ya. Ishchenko; A. A. Mazur; G. I. Leskov; A. K. Tsaryuk; F. Blums	65

INFORMATION	72
--------------------------	----

Calendar of exhibitions and conferences for 2007 (Welding and allied technologies)	74
--	----

*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.*



УДК 621.791.754:661.9

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В CO_2 С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ КОРОТКИМИ ЗАМЫКАНИЯМИ ДУГОВОГО ПРОМЕЖУТКА (Обзор)

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведен обзор публикаций по автоматическому управлению процессом сварки в CO_2 с короткими замыканиями дугового промежутка, а также алгоритмы управления на каждом этапе цикла сварки.

Ключевые слова: сварка в CO_2 , короткие замыкания, автоматическое управление, саморегулирование, стабильность процесса, разбрызгивание, перенос капель, импульс тока

Основным механизированным способом сварки является полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах. В качестве последнего благодаря своей дешевизне широкое распространение получил углекислый газ. При малом токе и падении напряжения на дуге сварка в CO_2 происходит с периодическими короткими замыканиями (КЗ) дугового промежутка, во время которых переносится расплавленный металл электрода в сварочную ванну. Благодаря малому тепловложению, контактному массопереносу, малым размерам капель и ванны такой процесс получил широкое применение при сварке металла малых толщин во всех пространственных положениях, а также средней и большой толщины в положении, отличном от нижнего. Для сварки в CO_2 применяются простейшие выпрямители с пологопадающей внешней характеристикой и последовательно включенным в сварочную цепь дросселем. Пологопадающая характеристика выпрямителя обуславливает саморегулирование дуги, а дроссель ограничивает скорость нарастания тока во время КЗ. Типичные осциллограммы тока и напряжения (рис. 1) имеют пульсирующий характер. Энергия, накопленная в дросселе во время КЗ, расходуется на плавление электрода при горении дуги. В качестве регулируемых параметров используются напряжение холостого хода выпрямителя, скорость подачи плавящегося электрода и индуктивность дросселя. Однако, помимо преимуществ, процесс сварки имеет и существенные недостатки. Из-за КЗ дугового промежутка происходит значительное разбрызгивание металла, а низкое тепловложение характеризуется малой проплавливающей способностью.

Для устранения недостатков сварки в CO_2 с КЗ в последние десятилетия предприняты значительные усилия. В первую очередь они касаются создания нового класса импульсных источников питания, характеризующихся повышенным быстродействием и снабженных системами управления формой тока и напряжения в течение каждого цикла формирования и переноса капли в соответствии с информацией, получаемой от процесса. Такие источники почти в 2 раза дороже традиционных, но обеспечивают качество сварки, сравнимое со сваркой в аргоне.

К настоящему времени сложилось представление об «идеальном» цикле сварки (рис. 2), который должен обеспечиваться системой автоматического управления. На разных этапах цикла требуются различные алгоритмы управления.

Основными задачами систем управления для сварки в CO_2 с КЗ дугового промежутка являются: уменьшение разбрызгивания металла более чем в 2 раза; повышение стабильности процесса сварки; компенсация возмущений, действующих на процесс сварки.

Управление в начальный момент КЗ дугового промежутка. В начальной стадии КЗ (рис. 2) t_0 наименьший радиус образующейся перемычки жидкого металла находится в месте контакта кап-

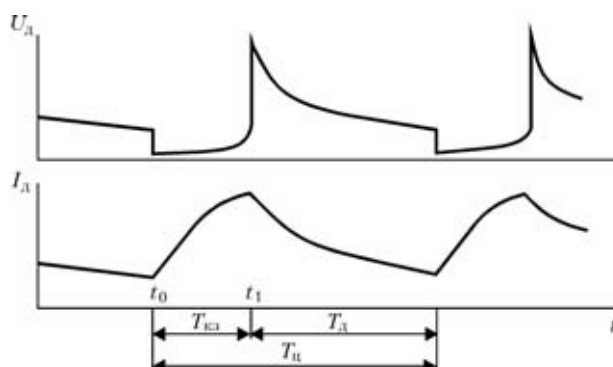


Рис. 1. Характерные осциллограммы напряжения и тока при сварке в CO_2

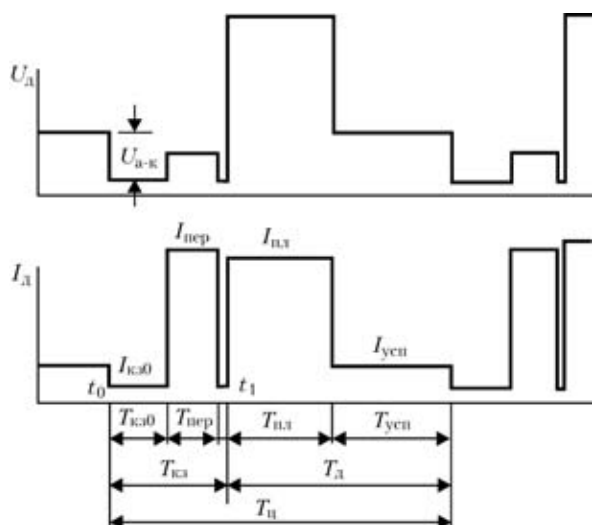


Рис. 2. «Идеальный» цикл сварки в CO_2

ли с ванной. Электродинамические силы протекающего через перемычку тока препятствуют переходу капли в ванну под действием сил поверхностного натяжения. Более того, они могут даже вызвать отброс капли от поверхности ванны, а проходящий ток — перегрев и взрыв формирующейся перемычки. При этом, как показывает скоростная киносъемка [1], капля, отрываясь от электрода, улетает в виде брызги либо остается на торце электрода и переходит в ванну при одном из следующих КЗ. Из теоретического анализа следует, что вероятность отброса капли тем выше, чем меньше ее радиус и больше ток [2].

Для уменьшения разбрызгивания при касании капли поверхности сварочной ванны и увеличения стабильности процесса сварки ток сварки снижают перед КЗ дугового промежутка или сразу после его возникновения. Сигналом начала КЗ служит резкое снижение напряжения на дуге на сумму анодного и катодного падения напряжения, которое для сварки в CO_2 составляет $U_{a-k} = 19...20$ В [3]. Изменение напряжения на дуге при КЗ происходит очень быстро — за $20 \cdot 10^{-9}$ с [4].

Первым идею ограничения тока КЗ в 1970 г. реализовал И. И. Заруба [5] и в дальнейшем неоднократно к ней возвращался [1]. В работе [6] базовый ток дуги и ток КЗ устанавливали на очень малом уровне (6...12 А) таким образом, что переход капли в основном происходил под действием сил поверхностного натяжения. Плавление электрода проводилось под действием короткого сильноточного импульса.

Кратковременное снижение тока в начале КЗ в 1980 г. первыми осуществили авторы работы [7] (рис. 3). По их данным, снижение тока до 2...10 А на период 0,7–1 мс в начале каждого КЗ позволяет практически устранить кратковременные КЗ и в 2–3 раза повысить стабильность процесса, оцениваемую по коэффициенту вари-

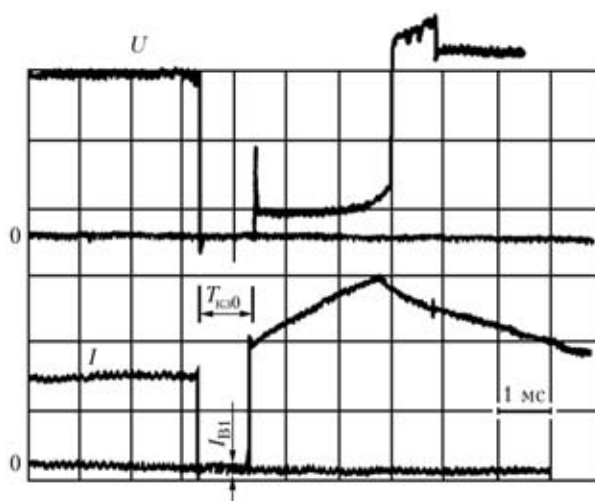


Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока при сварке в CO_2 с коммутацией тока в начале КЗ [7]

ации длительности КЗ. В дальнейшем этот алгоритм применяли различные исследователи без каких-либо изменений [8–17], отличие заключается только в аппаратуре, реализующей его. В начале использовали тиристоры, шунтирующие сварочную горелку, или последовательно включенный резистор. В настоящее время обходятся высоким быстродействием транзисторного инверторного источника питания либо используют вместо тиристора транзистор, шунтирующий последовательно включенный в сварочную цепь резистор.

Управление переносом металла на стадии КЗ. Металл капли достаточно больших размеров (по сравнению с диаметром электрода) может переноситься в сварочную ванну даже без тока — только под действием сил поверхностного натяжения. По оценкам авторов работы [6], критические высота и диаметр капли соответственно составляют $1,2d_{эл}$ и $1,4d_{эл}$ (авторы практически реализовали такой процесс при сварке в CO_2). В работе [18] критическая высота перемычки оценивается как $1,4d_{эл}$.

Для уменьшения времени КЗ и гарантированного разрыва перемычки через нее пропускают ток, взаимодействие которого с собственным магнитным полем вызывает силу, направленную внутрь к оси перемычки. Эта сила, пропорциональная квадрату плотности тока в данном сечении, способствует уменьшению диаметра перемычки. Если форма последней отлична от цилиндрической, то, помимо радиальных, возникают аксиальные усилия, вызывающие течение металла в сторону от меньшего диаметра к большему и приводящие к уменьшению диаметра самого узкого места в перемычке (пинч-эффект).

Существенное значение имеет время приложения импульса тока после начала КЗ. На первом этапе наименьший диаметр жидкой перемычки находится вблизи контакта со сварочной ванной. В этом случае пинч-эффект вреден, так как замед-

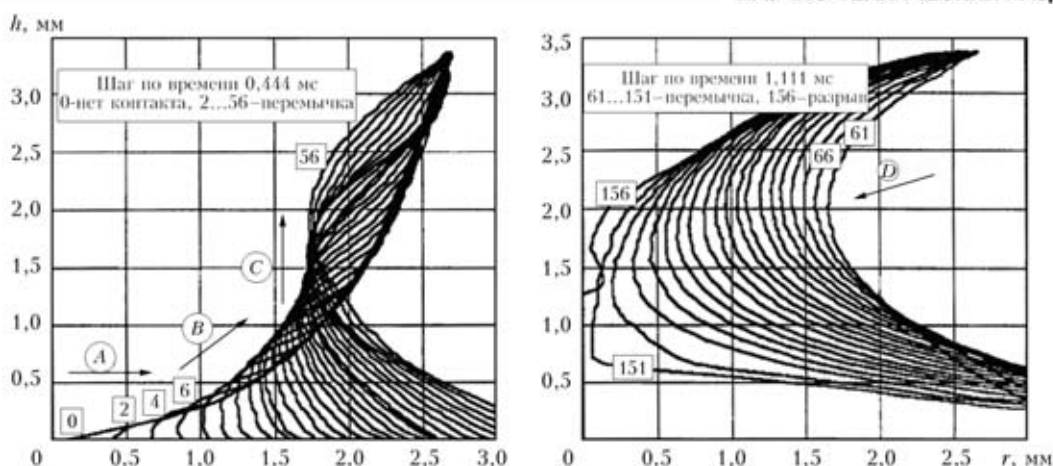


Рис. 4. Динамика изменения профиля жидкой перемычки (перетекание капли воды) [19]

ляет увеличение площади контакта капли с ванной и тем самым затягивает процесс переноса. Более того, диаметр шейки перемычки может даже уменьшиться вплоть до нуля, и перенос материала капли в ванну не произойдет. По мере перетекания материала перемычки в сварочную ванну минимальный диаметр перемычки возрастает от нуля (в момент контакта) до некоторого максимума, а затем уменьшается снова до нуля (происходит разрыв перемычки). При этом положение минимального радиуса смещается в сторону изделия (рис. 4) [19]. Только на этом этапе электромагнитные силы способствуют переносу капли. Обычно импульс тока КЗ подают с фиксированным временем задержки $T_{кз0} = 0,6 \dots 1,0$ мс после начала КЗ (см. рис. 3) [7, 8, 12, 15, 17, 20]. По нашему мнению, наиболее целесообразно прикладывать импульс тока переноса при достижении радиуса шейки перемычки максимального значения (рис. 4) или, что то же самое, при минимуме сопротивления цепи электрод–деталь (зона В, рис. 5 [19]). В этом случае ток переноса максимально уменьшает время КЗ. Этот вывод подтверждается экспериментально [8], а также физическим [9] и компьютерным моделированием разрыва жидких перемычек (рис. 6) [10].

Поскольку электромагнитные силы пропорциональны квадрату тока, то ток КЗ целесообразно ус-

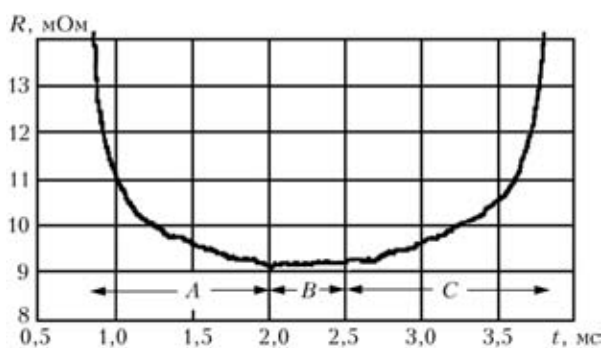


Рис. 5. Изменение сопротивления цепи электрод–деталь во время КЗ ($I = 190$ А, $v_{св} = 5,2$ м/мин, $L = 14$ мм, проволока диаметром 1,2 мм) [19]

танавливать на максимально допустимом для данного источника питания уровне. Очевидно, что при этом наименьшее время переноса капли обеспечивает прямоугольный импульс тока КЗ. Пилообразный [12, 21, 22] и трапецеидальный [7, 15, 21] импульсы тока хороши только тем, что имеют пониженный ток на начальной стадии КЗ при $T_{кз0} \sim 0$, когда ток только препятствует переносу капли.

Управление процессом разрыва жидкой перемычки. Разрыв жидкой перемычки под током сопровождается электрическим взрывом и является основной причиной выплесков при сварке в CO_2 с КЗ дугового промежутка. Для устранения этого недостатка следует как можно больше уменьшать ток через перемычку при ее разрыве.

Первым в 1970 г. этот способ снижения разбрызгивания заявил И. И. Заруба [23], а в 1971 г.

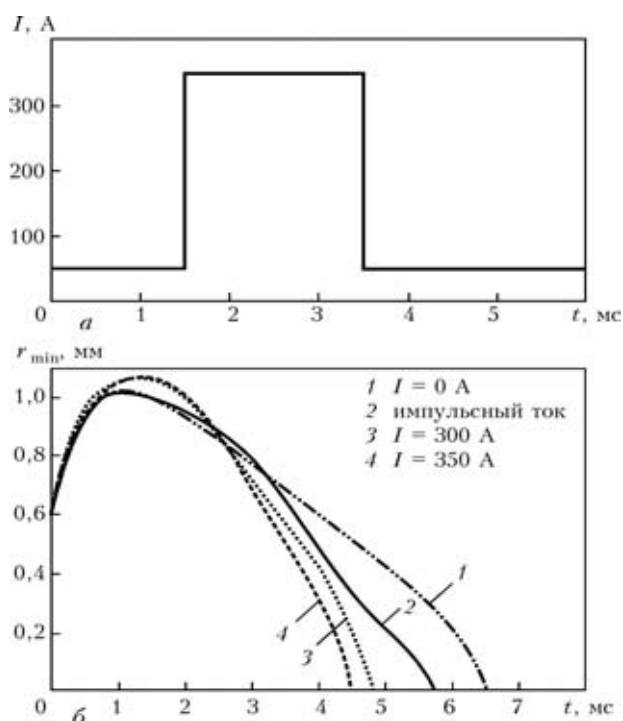


Рис. 6. Влияние тока переноса (а) и минимального радиуса перемычки r_{min} (б) на длительность КЗ [10]

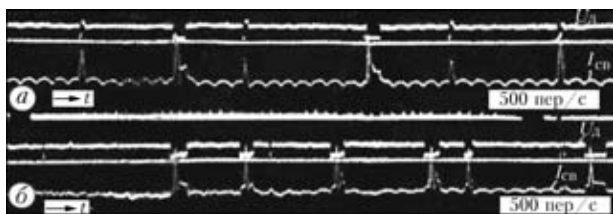


Рис. 7. Осциллограммы напряжения и тока при сварке в CO_2 : а, б — импульсы тока подаются соответственно в начале и середине длительного КЗ [5]

опубликовал и результаты практической его реализации [5]. Здесь импульс тока КЗ фиксированной длительности начинался с задержкой после возникновения КЗ и заканчивался до разрыва перемычки (рис. 7). Позднее авторы работы [20] использовали переменный по длительности импульса переноса. Он автоматически отключался, когда падение напряжения на перемычке повышалось до заданного уровня вследствие утончения перемычки перед ее разрывом.

Следующий шаг осуществил С. И. Пинчук с соавторами в 1976 г. [24]. Было разработано устройство, снижающее на фиксированный интервал времени ток КЗ до 2...10 А непосредственно перед разрывом перемычки, когда напряжение на ней начинает резко возрастать и достигает значения 8...12 В (рис. 8) (в работах [5, 20] минимальный ток КЗ оставался на уровне 100...130 А).

С тех пор ничего принципиально нового не было предложено, и во всех последующих публикациях использован способ И. И. Зарубы в чистом виде, либо усовершенствованный С. И. Пинчуком [7, 12, 16, 22, 25, 26]. Основные усовершенствования касались оборудования, реализующего способ. Лишь Е. К. Става [15] для определения момента подачи команды на снижение тока импульса КЗ использовал не падение напряжения на промежутке токоподвод–деталь, а скорость его изменения. Это усложняет аппаратуру или программное обеспечение, но снижает влияние сопротивления вылета электрода и детали. Падение напряжения токоподвод–деталь имеет вид

$$U_{\text{т-д}}(t) = I(R_{\text{эл}} + R_{\text{пер}}(t) + R_{\text{дет}}). \quad (1)$$

Поскольку во время КЗ изменяется только $R_{\text{пер}}(t)$, то

$$\frac{dU_{\text{т-д}}}{dt} = \frac{d(IR_{\text{пер}})}{dt} \quad (2)$$

и состояние перемычки перед разрывом определяется более точно (однако приходится задерживать начало анализа $dU_{\text{т-д}}/dt$ на 100 мкс после включения импульса тока КЗ [27]). В противном случае схема управления может отключить импульс тока КЗ не непосредственно перед разрывом перемычки, а сразу после его включения.

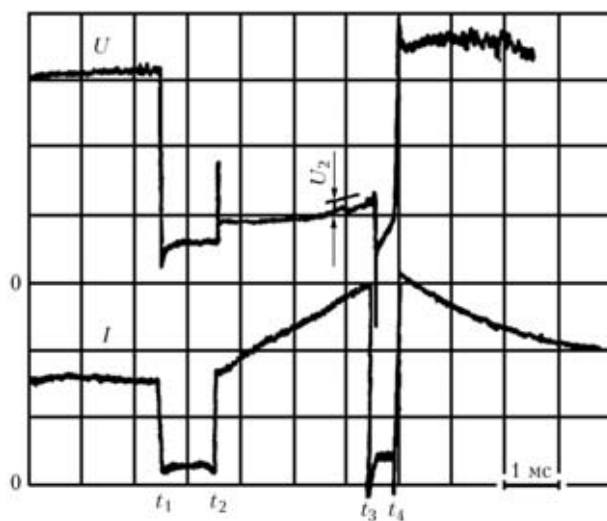


Рис. 8. Осциллограммы напряжения и тока при стабилизированном переносе металла с ограничением энергии взрыва перемычки [24]

По нашему мнению, для определения момента отключения импульса тока переноса наилучшие результаты должно дать использование скорости изменения сопротивления перемычки как параметра, не зависящего от тока.

Резкое уменьшение диаметра шейки перемычки перед ее разрывом длится порядка $10 \cdot 10^{-6}$ с, а лавинообразное уменьшение шейки (ее взрыв) — порядка $0,1 \cdot 10^{-6}$ с [4]. Если начать снижать ток КЗ слишком поздно и скорость его снижения невелика, то разрыв перемычки произойдет при значительном токе с большой вероятностью разбрызгивания. Если слишком рано снизить ток КЗ, то повышается вероятность того, что перемычка вообще не разорвется. Таким образом, система управления должна обеспечивать надежное определение момента начала необратимого уменьшения диаметра шейки перемычки и существенно снизить ток КЗ до ее разрыва. Вероятно, эта задача до настоящего времени в полной мере не решена.

Управление плавлением электрода, ростом и размерами капли. После разрыва перемычки загорается дуга, начинается плавление электрода энергией, поступающей как от дуги, так и от выделяемой в вылете электрода за счет проходящего тока. Задачей системы управления на этом этапе является обеспечение получения заданного объема капли независимо от возмущений, действующих на процесс (колебаний скорости подачи электрода, напряжения сети, вылета электрода, расстояния от горелки до изделия и т. п.).

Обычно для сварки в CO_2 с КЗ и постоянной скоростью подачи электродной проволоки используют источники с пологопадающей внешней характеристикой. Стабильность процесса при этом обеспечивается благодаря свойству саморегулирования системы источник напряжения–плавящийся электрод–дуга. При уменьшении длины ду-



ги автоматически возрастает ток, что приводит к увеличению дугового промежутка, и наоборот. Подобный принцип лежит и в современных инверторных источниках питания для сварки в CO_2 с КЗ [8, 13, 16]. В них во время КЗ источник переключается в режим управления током, а на время горения дуги — в режим постоянного напряжения (рис. 9) [13].

Наиболее совершенные источники используют импульсный режим управления формированием капли расплавленного металла. На первом этапе горения дуги происходит интенсивное плавление электрода большим током до достижения заданного объема капли, затем ток существенно снижается. Силы, действующие на каплю, которая находится на торце электрода, и стремящиеся сместить ее к боковой поверхности электрода, уменьшаются и капля занимает соосное с электродом положение. Под действием сил поверхностного натяжения форма капли приближается к правильной сфере, что создает благоприятные условия для плавного перехода капли в сварочную ванну.

Чтобы минимизировать хаотическое движение капли, ее размер должен быть небольшим, например, не более диаметра электрода [28]. По мнению специалистов «Линкольн Электрик» [15], средний размер расплавленной сферической капли на торце электрода для хорошего переноса должен быть $1,2d_{эл}$. Авторы работы [29] считают, что оптимальный диаметр капли составляет $1,4...1,7d_{эл}$ для $d_{эл} = 1,6$ и $1,56...1,88d_{эл}$ для $d_{эл} = 2$ мм.

Возможны два варианта получения капель заданной массы. По первому управлению плавлением металла осуществляется с помощью импульсов тока постоянной амплитуды I_u и длительности t_u . По второму варианту дуга питается от источника напряжения, а длительность импульса автоматически устанавливается в функции некоторых параметров процесса сварки. Первый прин-

цип описывается в работах [12, 15, 21], а разновидности второго — в [30, 31].

Авторами работы [12] рассматривается дуга (рис. 10), питаемая от управляемого источника тока с жестко заданной амплитудой $I_{пл}$ и длительностью $T_{пл}$ импульса плавления. Длительность паузы «успокоения» капли $T_{усп}$ с малым током дуги перед КЗ $I_{усп}$ устанавливается автоматически. Система имеет свойство саморегулирования при возмущениях по длине дуги, скорости подачи проволоки до тех пор, пока длительность паузы отлична от нуля. Возмущения по длине вылета электрода не компенсируются и приводят к изменению объема капли.

В источнике STT [15] осуществляется некоторая компенсация изменения длины вылета электрода путем автоматической коррекции длительности импульса тока с постоянной амплитудой. Делается это следующим образом. Во время КЗ система измеряет падение напряжения на электроде, пропорциональное вылету электрода. Оно усредняется и подается на интегратор. Последний начинает интегрирование с нулевыми начальными условиями в момент зажигания дуги. Когда напряжение на выходе интегратора сравняется с регулируемым опорным напряжением (устанавливается ручкой «тепло» на передней панели источника), импульс плавления прекращается, а ток дуги начинает плавно спадать до базового тока паузы. Таким образом, длительность импульса тока плавления обратно пропорциональна длине дуги.

В большинстве случаев такая компенсация только ухудшает стабильность размера капель при изменении длины вылета электрода. Обычно энергия, выделяющаяся в электроде, относительно невелика (менее 15...20 %), поэтому происходит перекompенсация возмущения.

Для плавления электрода форма импульса тока особой роли не играет, однако в источниках STT и НПП «Технотрон» (рис. 11) [21] предусмотрен регулируемый плавный спад импульса тока плав-

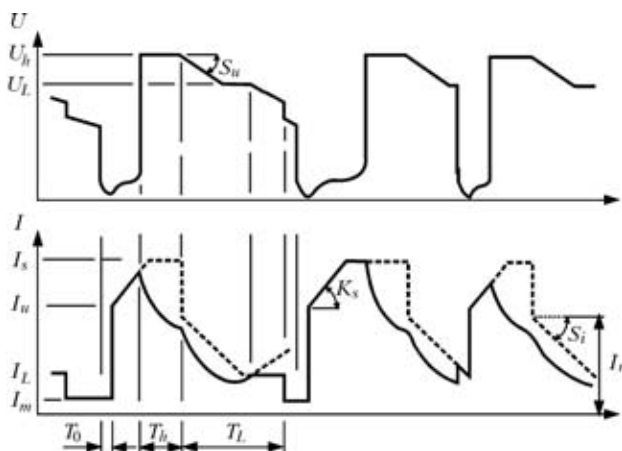


Рис. 9. Осциллограммы напряжения и тока инверторных источников питания при сварке в CO_2 [13]

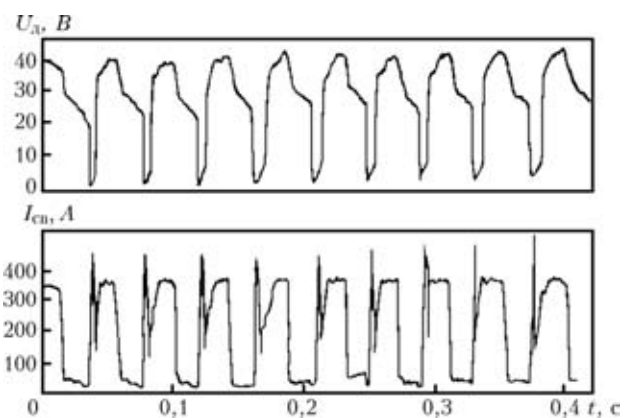


Рис. 10. Осциллограммы напряжения и сварочного тока при питании дуги импульсами тока постоянной амплитуды и длительности [12]

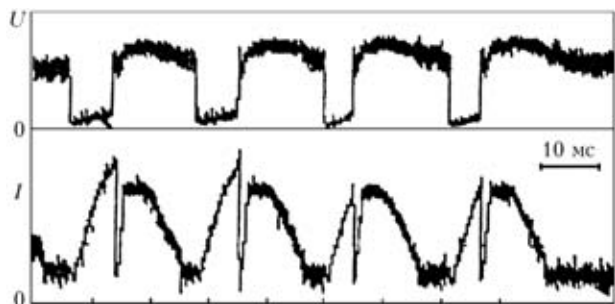


Рис. 11. Осциллограммы напряжения и тока. Импульсы тока плавления электрода с плавным спадом заднего фронта [21]

ления. Предполагается, что при этом демпфируются колебания капли и сварочной ванны. Ни теоретических, ни экспериментальных данных в пользу этого предположения не приводится.

В источниках, предложенных А. Ф. Князьковым и Ю. Н. Сараевым, длительность импульса плавления (выходная вольт-амперная характеристика источника пологопадающая) устанавливается следующим образом:

пропорционально длительности дугового промежутка к началу действия импульса тока плавления [32]. Отсчет измеряемой длительности дугового промежутка ведется от момента зажигания дуги до снижения напряжения на ней до некоторого опорного значения $U_{оп}$;

пропорционально интегралу напряжения дуги на стадии параметрически задаваемой паузы к моменту разрушения перемычки [33];

пропорционально длительности паузы перед КЗ [34].

Во всех этих источниках наиболее важными являются не требования стабильности размера капли, а требования стабильности процесса с учетом поведения сварочной ванны в зависимости от пространственного положения шва. Плавление расходуемого электрода и формирование капли расплавленного металла определяется сложным комплексом электромагнитных и гидродинамических сил в гравитационном поле и, следовательно, в полной мере может быть описано только с привлечением законов теплофизики, электростатики, электродинамики, электромагнетизма и гидродинамики. Эта задача в настоящее время полностью не решена, но теоретически и экспериментально исследованы некоторые ее аспекты. С помощью метода теплового баланса и экспериментальных данных были предложены отношения между такими существенными сварочными параметрами, как сварочный ток $I(t)$, скорость плавления расходуемого электрода $U_{пл}(t)$, вылет электрода $l_{эл}(t)$ и т. д. [35]. Обобщая все эти модели, приходим к модели вида

$$U_{пл}(t) = aI(t) + bl_{эл}(t)I^2(t), \quad (3)$$

где a, b — коэффициенты пропорциональности. Скорость роста объема капли

$$\frac{dV_{кап}(t)}{dt} = S_{эл} U_{пл}(t), \quad (4)$$

где $V_{кап}(t)$ — объем капли; $S_{эл}$ — площадь поперечного сечения электрода.

Подставив (3) в (4), получим

$$V_{кап}(t) = S_{эл} \int_0^t [aI(t) + bl_{эл}(t)I^2(t)]dt. \quad (5)$$

Для стабилизации объема капли система управления должна решать уравнение (5) в реальном масштабе времени относительно $T_{пл}$ для данных $V_{кап}(t)$, $I(t)$, a , b и $l_{эл}(t)$. Объем капли $V_{кап}$ определяется при задании режима сварки, $I(t)$ — во время сварки, a — пропорционально катодному падению напряжения и в первом приближении является постоянной величиной. Произведение $bl_{эл}$ определяется из падения напряжения в цепи сварки при КЗ дугового промежутка. Напряжение КЗ в момент наибольшего диаметра шейки перемычки равно

$$U_{к-д} = bl_{эл} I_{кз},$$

откуда находится $bl_{эл}$. Таким образом, все составляющие уравнения (3) известны, что дает возможность в реальном масштабе времени подсчитывать объем растущей капли. Когда интеграл (5) достигнет заданного значения, система управления отключает импульс тока плавления, завершая интервал $T_{пл}$. Используя этот алгоритм, система управления обеспечивает получение каждой капли заданного объема, независимо от большинства возмущений, действующих на процесс.

Совершенно новую концепцию реализации «идеального» цикла сварки (см. рис. 2) предложили китайские ученые [36, 37]. Вместо программного задания формы импульсов тока сварки используется источник питания со сложной внешней характеристикой. Для сварки в CO_2 с КЗ внешняя характеристика источника питания имеет семь сегментов (рис. 12, а) [36]. Кроме того, внешняя характеристика автоматически адаптируется к мгновенным изменениям тока и напряжения дуги (сегменты $B'C'$ и EF'). В результате формируется близкий к «идеальному» цикл сварки независимо от возмущений, действующих на процесс (рис. 12, б). В качестве регулирующего элемента использованы параллельно включенные транзисторы, работающие в линейном режиме. Внешняя характеристика источника формируется схемой управления с нелинейными обратными связями по току и падению напряжения на нагрузке [37]. Линейный режим работы транзисторов позволяет получить предельно быстрое прецизионное управ-

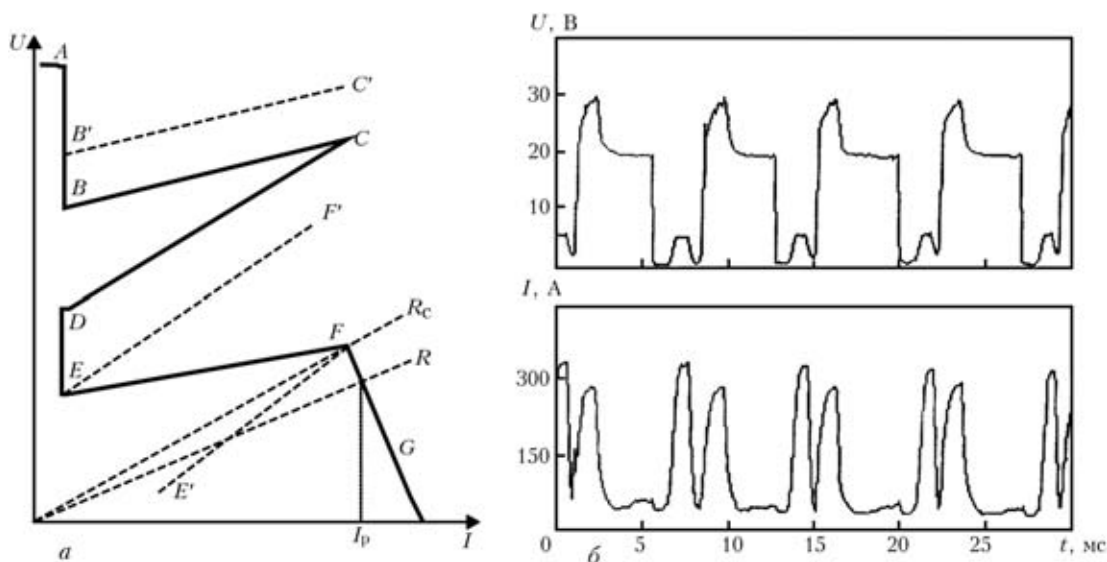


Рис. 12. Внешняя характеристика источника при сварке в CO_2 с КЗ (а) и осциллограммы напряжения и тока (б) [36]

ление процессом сварки, но требует рассеивания на транзисторах мощности, сопоставимой с мощностью сварки.

Стадия «успокоения» капли (интервал $T_{\text{усп}}$). После окончания импульса плавления система управления должна снизить ток до значения, еще обеспечивающего устойчивое горение дуги, но недостаточного для заметного плавления электрода. Давление дуги на каплю значительно снижается, она принимает соосное с электродом положение и форму, близкую к аксиально-симметричной. Через некоторое время в результате подачи электрода и возвратного движения возмущенной поверхности сварочной ванны они встретятся, произойдет КЗ и цикл сварки повторится.

Наличие интервала времени «успокоения» капли необходимо для устранения возмущений по длине дугового промежутка. При внезапном изменении последнего время до КЗ $T_{\text{усп}}$ автоматически увеличивается или уменьшается путем изменения вылета электрода. В результате уже в следующем цикле длина дугового промежутка устанавливается равной заданной, т. е. в отличие от традиционных систем с саморегулированием, данная система имеет предельную скорость отработки возмущений по длине дуги.

1. Влияние метода ограничения тока короткого замыкания на формирование вертикальных и потолочных швов при сварке в углекислом газе / И. И. Заруба, В. П. Баргамен, В. В. Андреев, М. Н. Сидоренко // Автомат. сварка. — 1973. — № 4. — С. 64–67.
2. Лебедев В. К., Заруба И. И., Андреев В. В. Условия образования жидкой перемишки при капельном переносе металла с короткими замыканиями дугового промежутка // Там же. — 1975. — № 9. — С. 1–3, 8.
3. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с.
4. Untersuchungen zum Metall-Schutzgasschweißen mittels Ultrahochgeschwindigkeitskinematografie und schneller Erfassung elektrischer Schweißparameter / D. Rehfeldt,

A. Bollmann, M. Niemann et al. // Schweissen und Schneiden. — 1989. — № 3. — S. 139–141.

5. Заруба И. И., Дыменко В. В. Регулирование параметров процесса сварки с короткими замыканиями // Автомат. сварка. — 1971. — № 8. — С. 43–45.
6. К вопросу о переносе металла короткими замыканиями / А. Г. Потапьевский, М. Г. Лифшиц, Д. С. Кассов, Л. М. Кулывацкий // Свароч. пр-во. — 1976. — № 6. — С. 53–54.
7. Стабилизация переноса и снижение разбрызгивания металла при сварке в CO_2 короткой дугой / И. С. Пинчук, А. Л. Хейфец, В. Ф. Постаушкин, Г. Д. Куликов // Там же. — 1980. — № 6. — С. 9–10.
8. Yamamoto H., Okazaki K., Harata S. The effect of short circuiting current control on the spatter generation in CO_2 arc welding. — [1986]. — P. 1–17 (Intern. Inst. of Welding; Doc. 212-649-86).
9. Maruo H., Hirata Y., Goto N. Bridging transfer phenomena of conductive pendent drop. The effects of electromagnetic pinch force on the bridging transfer (Rept. 3) // Quarterly J. of JWS. — 1992. — № 2. — P. 251–258.
10. Choi S. K., Yoo C. D., Kim Y.-S. Dynamic simulation of metal transfer in GMAW. — Pt 2: Short-circuit transfer mode // Welding J. — 1988. — № 1. — P. 45–51.
11. А. с. 930824 СССР, МКИ В 23 К 9/11. Способ электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / А. Ф. Князьков, А. Г. Мазель, Р. И. Дедюх и др. — Оpubl. 23.04.85, Бюл. № 19.
12. Патон Б. Е., Лебедев А. В. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Автомат. сварка. — 1988. — № 11. — С. 1–3.
13. Matsuda F., Ushio M., Mita T. Wellenformsteuerungsmethode im CO_2 Schweißen // Trans. JWRI. — 1988. — № 2. — P. 11–17.
14. Yamamoto H., Harada S., Yasuda H. The development of welding current control system for spatter reduction // Welding Intern. — 1990. — № 4. — P. 398–407.
15. Stava E. K. The surface-tension transfer power source: A new, low-spatter arc welding machine // Welding J. — 1993. — № 1. — P. 25–29.
16. Ushio M., Yamamoto H., Nishida Y., Mita T. Recent advances in welding power systems for automated welding // Trans. JWRI. — 1994. — № 1. — P. 1–6.
17. Nacey T. Y. Fourth-generation inverters add artificial intelligence to the control of GMA welding // Welding J. — 1993. — № 1. — P. 31–34.
18. Замечания к статье «Определение устойчивости перемишки между плавящимся электродом и сварочной ванной» / И. С. Пинчук, В. Ф. Постаушкин, Г. Д. Куликов и др. // Свароч. пр-во. — 1974. — № 10. — С. 49–50.



19. Orszech P., Kim Y. C., Horikawa K. Short-circuit transient phenomena in GMA/CO₂ Welding (I) // Trans. JWRI. — 1997. — № 1. — P. 49–67.
20. Boughton P., MacGregor G. J. Control of short circuiting in MIG-welding // Welding Res. Intern. — 1974. — № 2. — P. 31–53.
21. Управление переносом капли при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Свароч. пр-во. — 2001. — № 6. — С. 6–9.
22. Хейфец А. Л. Сравнительная оценка некоторых способов уменьшения разбрызгивания металла при сварке в CO₂ // Автомат. сварка. — 1986. — № 3. — С. 58–60.
23. А. с. 271680 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом / И. И. Заруба. — Опубл. 26.05.70, Бюл. № 8.
24. Уменьшение разбрызгивания при сварке с короткими замыканиями путем ограничения энергии взрыва перемычки / И. С. Пинчук, В. Ф. Постаушкин, Г. Д. Куликов и др. // Свароч. пр-во. — 1976. — № 11. — С. 52–54.
25. Горнов О. М. Об уменьшении разбрызгивания путем снижения тока короткого замыкания при сварке в углекислом газе // Сб. науч. тр. Перм. политехн. ин-та. — 1975. — № 164. — С. 115–118.
26. Горнов О. М., Чумак Л. Ф. Влияние ступенчатого уменьшения тока в момент короткого замыкания на разбрызгивание при сварке в углекислом газе // Там же. — 1972. — № 116. — С. 101–103.
27. Pat. 4,954,691 US. Method and device for controlling a short circuiting type welding system / J. Parks, E. Stava. — Publ. 04.09.90.
28. Вороний Н. М., Лаврищев В. Я. Условия переноса металла при сварке в углекислом газе // Автомат. сварка. — 1976. — № 5. — С. 8–11.
29. Особенности управляемого тепломассопереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Свароч. пр-во. — 2002. — № 7. — С. 6–13.
30. Сараев Ю. Н. Адаптивные импульсно-дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов // Там же. — 2001. — № 1. — С. 4–11.
31. Сараев Ю. Н. Управление переносом электродного металла при сварке в CO₂ с короткими замыканиями дугового промежутка (Обзор) // Автомат. сварка. — 1988. — № 12. — С. 16–23.
32. А. с. 768108 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Способ электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка / А. Ф. Князьков, Ю. Н. Сараев, Р. И. Дедюх. — Опубл. 15.01.84, Бюл. № 2.
33. А. с. 951810 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Способ дуговой сварки плавящимся электродом / А. Ф. Князьков, Ю. Н. Сараев, А. К. Тимошенко. — Опубл. 23.12.83, Бюл. № 47.
34. А. с. 1168367 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Способ электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / А. Ф. Князьков, Ю. Н. Сараев, А. К. Тимошенко. — Опубл. 23.07.85, Бюл. № 27.
35. Lesenewich A. Control of melting rate and metal transfer. Part I. Control of electrode melting rate // Welding J. — 1958. — № 8. — P. 334–353.
36. Ou Z., Wuang Y., Ushio M., Tanaka M. New concept for the characteristic of an arc welding power source (Report II) // Trans. JWRI. — 1999. — № 1. — P. 5–8.
37. Pan J. Arc welding control. — Cambridge: Woodhead publ. Ltd., 2003. — 603 p.

A review of publications on automatic control of the process of CO₂ welding with short-circuiting of the arc gap is given. Control algorithms are given for each stage of the welding cycle.

Поступила в редакцию 11.05.2006

К 125-ЛЕТИЮ ИЗОБРЕТЕНИЯ ПЕРВОГО СПОСОБА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

13 октября 2006 г. в НТУУ «Киевский политехнический институт» состоялись очередные научные чтения в рамках «Конструктора Украины». На этот раз конференция была посвящена жизни и творческой деятельности Николая Николаевича Бенардоса, выдающегося отечественного изобретателя, создавшего в 1881 году первый способ электродуговой сварки.

Собрание, на котором присутствовали студенты и преподаватели сварочного факультета университета, ученые ИЭС им. Е. О. Патона, члены Общества сварщиков Украины, слушатели Малой академии наук, работники музеев Н. Н. Бенардоса в Переяслав-Хмельницком, краеведческого музея в Фастове и Политехнического музея, открыл проректор университета по научной работе чл.-кор. НАНУ М. Ю. Ильченко. Во вступительном слове он подчеркнул, что проведение «Чтений» имеет большое значение для сохранения исторического наследия и пропаганды вклада отечественных изобретателей и ученых в мировую цивилизацию. Ведущий научный сотрудник ИЭС им. Е. О. Патона А. Н. Корниенко рассказал о поиске материалов о жизни и деятельности Н. Н. Бенардоса, начатых по инициативе академика Б. Е. Патона, отметил, что институтом сооружены памятники изобретателю в Фастове и Ивановской области, созданы экспозиции в музеях, сняты кинофильмы. О подробностях деятельности Н. Н. Бенардоса присутствующие узнали из кинофильма «У истоков Электрогесты». Доклады о современном состоянии различных направлений и разделов сварочной науки и техники, о работах сварочного факультета сделали заведующие кафедрами профессора С. К. Фомичев, В. М. Прохоренко и В. Д. Кузнецов; исполнительный директор технопарка «ИЭС им. Е. О. Патона» А. А. Мазур.



УДК 621.791.011:669.14.018.295[621.791.85.052:669.14.018.295]:620.174.24

НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ ПРОТИВ ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

В. М. КУЛИК, канд. техн. наук, **М. М. САВИЦКИЙ**, д-р техн. наук
 (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена методика, предусматривающая испытание с уменьшением нагрузки плоских разрывных образцов стыковых соединений. Рассмотрены особенности замедленного разрушения соединений в зависимости от толщины, режима, техники сварки применяемой стали. Установлено, что замедленное разрушение однородных или близких к однородным стыковых соединений происходит преимущественно по шву. Показана возможность определения времени микропластической деформации, напряжения, работы замедленного разрушения, времени и частоты зарождения микротрещин. Методика может быть использована при разработке технологий сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, высокопрочные стали, стыковые соединения, шов, термический цикл сварки, замедленное разрушение, микропластическая деформация, напряжения, трещиностойкость, методика оценки

Изделия ответственного назначения невысокой металлоемкости изготавливают из тонколистовых высокопрочных углеродистых и легированных сталей с применением аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом. Получаемые соединения закаливающих сталей склонны к образованию холодных трещин [1], которые возникают в процессе релаксации внутренних напряжений при вылеживании [2] и располагаются как в металле ЗТВ, так и в шве (рис. 1). На образование трещин влияют химический состав и толщина свариваемой стали, режим сварки и другие факторы, предопределяющие важность использования количественной оценки сопротивляемости образованию холодных трещин путем специализированных механических испытаний сварных соединений.

Наиболее широкое распространение получили методы испытания имплант [3–7]. Согласно традиционному методу [3] цилиндрический шлифованный образец диаметром 8 мм вставляется в соответствующее сквозное отверстие в технологической планке толщиной 20 мм, заваривается с поверхности путем наплавки или неполного проплавления и подвергается длительному растяжению до разрушения по зоне сплавления. Сопротивляемость замедленному разрушению оценивается силовыми ($\sigma_{кр}$, $\sigma_{кр\max}$, $\sigma_{кр}/\sigma_T$) и энергетическим $a_{пр}$ показателями, где $\sigma_{кр}$ — минимальное напряжение, ниже которого замедленное разрушение не происходит; $\sigma_{кр\max}$ — максимальное напряжение, при котором образец не разрушается в течение 24 ч; σ_T — условный предел текучести испытываемой стали; $a_{пр}$ — приведенная (отнесен-

ная к площади поперечного сечения образца) работа.

А. М. Макарой и А. А. Хрипливым было установлено, что вместо цилиндрического можно использовать плоский образец-вставку толщиной 3 мм. В модернизированных методах имплант [4–7] используется образец-вставка сечением 3×14 мм.

Следует отметить, что сварка упомянутых выше образцов выполняется на режимах, существенно отличающихся от режимов сварки тонколистовой стали, а направление действия приложенного усилия (нормально к сварному соедине-

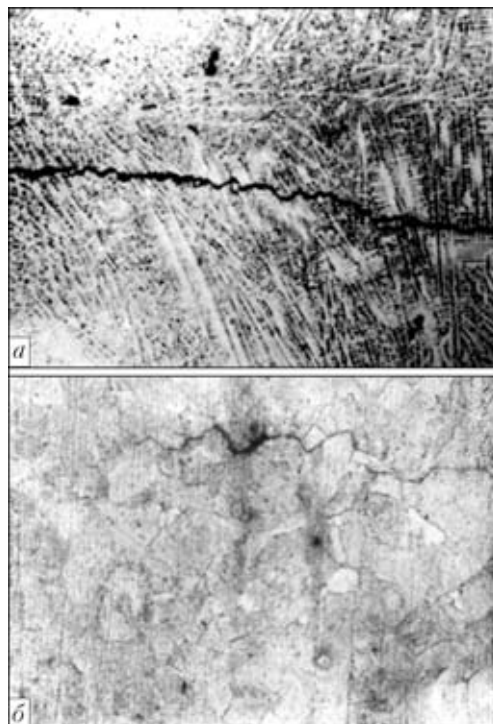


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения с холодными трещинами высокопрочной стали, выполненного аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом: а — шов (×100); б — металл ЗТВ (×320)

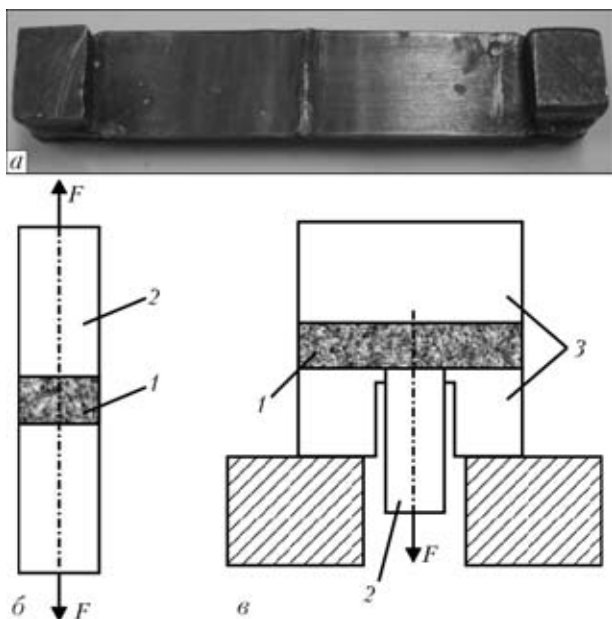


Рис. 2. Образец основного типа (а) и схемы испытания на замедленное разрушение его (б) и специального образца (в) стыкового соединения: 1 — шов; 2 — рабочая (испытываемая) часть; 3 — вспомогательные части

нию) не соответствует направлению действия остаточных напряжений. Кроме того, составной образец является достаточно массивным, сложным и трудоемким. Эти методы неприемлемы для оценки трещиностойкости шва и сварного соединения в целом и применение их ограничено сравнительной оценкой свариваемости сталей. При этом отклонение от рекомендуемой толщины образца приводит к изменению $\sigma_{кр}$ и нарушению стабильности результатов испытаний [8, 9].

Соответствие направления действия нагрузки при испытании и сварочных напряжений достигается при реализации методики [7]. Образец сечением 3×14 мм размещается в боковом прямоугольном отверстии, созданном совмещением пазов двух технологических планок, плоскопараллельно поверхности, сваривается плавящимся электродом с технологическими планками (по поперечной канавке) и нагружается постоянным растягивающим усилием (боковым относительно шва). По значениям нагрузки и перемещения в процессе испытания определяется работа разрушения, а по площади участка под кривой изменения во времени деформации (работы) на диаграмме — энергоемкость разрушения.

Различие толщин испытываемого образца и технологических планок неприемлемо для сварки неплавящимся электродом, а физическая сущность энергоемкости разрушения непонятна. Составной образец является более массивным, сложным и трудоемким, чем составной образец для методики имплант.

А. М. Макара и его ученики Н. А. Мосендз, В. Г. Гордонный и др. придерживались мнения

[10], что достоверная оценка трещиностойкости достигается при испытании стыковых соединений. Образцы толщиной 12...14 мм общей длиной более 500 мм подвергали односторонней сварке плавящимся электродом, нагружали клиновым устройством до заданных растягивающих напряжений, которые определяли механическим деформометром с базой 100 мм, и выдерживали при этих напряжениях до разрушения по околошовной зоне. В качестве показателя склонности соединения к замедленному разрушению принимали минимальное напряжение, при котором разрушение не происходило в течение 24 ч. Данная методика достаточно простая и может использоваться в заводских условиях для оценки трещиностойкости сварных соединений в зависимости от применяемых материалов и условий сварки. Однако при этом, как при реализации приведенных выше методик, не учитывается релаксация напряжений, а образцы являются довольно массивными и крупногабаритными.

Создание более совершенной методики оценки стойкости против образования холодных трещин в сварных соединениях закаляющихся сталей является целью настоящей работы.

Оценку трещиностойкости* проводили испытаниями на замедленное разрушение с уменьшающейся нагрузкой согласно предложенным авторами способом и сварными образцами [11]. Образец основного типа состоит из двух испытываемых частей и стыкового соединения между ними (рис. 2, а, б), как образец для статических испытаний на разрыв. Специальный образец (рис. 2, в) включает одну испытываемую, три вспомогательные части и общее стыковое соединение. На боковых вспомогательных частях выполняются скосы или выборки во избежание защемления испытываемую часть от усадки шва. Размеры испытываемых частей в плане составляли 14...27×50...90, вспомогательных — 40×35 и 40×90 мм.

Одно- и двухпроходную сварку А-TIG и TIG встык образцов из низко- и среднелегированных сталей с углеродным эквивалентом 0,35...1,1 % толщиной 2,8...6,0 мм выполняли на установке АРК-1 в сочетании с выпрямителем ВСВУ-315. Сварку осуществляли без расплавления и с расплавлением присадочной проволоки Св-18ХМА при соблюдении принятых или реально возможных режимов (таблица). Термические циклы сварки записывали потенциометром КСП-4 с помощью термопары ВР 20/5 диаметром 0,35 мм с обратной стороны шва в пристыкованном образце-свидетеле на расстоянии 10 мм от испытываемой части.

После сварки образец нагружали посредством упругоизгибаемой балки жесткостью $K = 8$ кг/мкм

* В работе принимал участие инж. Г. В. Бурский.



Трещиностойкость соединений сталей разных составов и толщин в зависимости от режима, способа и параметров выполнения односторонней аргонодуговой сварки ($\sigma_H = 380...390$ МПа)

№ п/п	Свариваемая сталь			Способ сварки	I_1/I_2 , А	$v_{св}$, м/ч	$q/v_{св}^4$, Вт·ч/м	$q/(v_{св} \cdot \delta)^4$, Вт·ч/м	HRC ⁵ шва	τ_p , мин
	Марка	C _{экв} , %	δ , мм							
1	30ХГСА	0,65	3,1	A-TIG	85...120/—	7...12	90...110	29...35	—	1...3
2				A-TIG+TIG	130/90...110	12...13	70...95	23...31	$\frac{50,5...52,5}{48,0...50,0}$	2...19
3				(A-TIG+TIG) ³	130/110		100...110	32...35	—	5...20
4				(A-TIG+A-TIG) ¹	100/80		60	19	—	4
5				(TIG+TIG) ¹	110/110	12	85	27	—	750 — не разр.
6	30Х2ГС2МВ	1,0	6,0	A-TIG+TIG	190/130	6	240	40	$\frac{39,5...43,0}{36,0...37,0}$	900
7			3,7		140/110	12	95	26	$\frac{—}{49}$	5
8	42ХГСНМ	1,1	2,8	TIG ²	115/—		95	34	—	10
9				A-TIG+TIG	120/80		65	23	$\frac{—}{48,0...50,0}$	<1
10				TIG+TIG	90/120		100	36	—	<1
11	16ХГ2М	0,64	5,0	(A-TIG+TIG) ³	160/130	8	195	39	$\frac{38,0...45,0}{27,5...38,0}$	Не разр.
12	20Г	0,35	3,0	(A-TIG+TIG) ¹	100/80	13	61	20	—	Не разр.

¹ — двухсторонняя двухпроходная сварка. ² — односторонняя сварка несквозное проплавление. ³ — с расплавлением присадочной проволоки. ⁴ — последний проход сварки. ⁵ В числителе приведены данные, полученные с лицевой стороны шва, в знаменателе — с обратной; для № 12 $\sigma_H = 280$ МПа.

на переоборудованной установке ЛТП-1-1-6 растягивающим усилием до напряжения 380 и 280 МПа, близком пределу текучести используемой стали. Образец выдерживается в нагруженном состоянии без дополнительных внешних воздействий. Установленное напряжение σ_H задается по прогибу λ_H упругоизгибаемой балки $\sigma_H = K\lambda_H/S$, где S — площадь поперечного сечения образца. При этом потенциометром КСП-4 (с помощью индукционного датчика перемещения) записывается изменение длины образца как изменение прогиба балки и фиксируются также сигналы акустической эмиссии (АЭ) от датчика на поверхности образца [5, 6, 12].

Типичные термограммы сварки, диаграммы замедленного разрушения, расположение изломов приведены на рис. 3–5, данные по трещиностойкости стыковых соединений в зависимости от особенностей сварки сталей различных химических составов и толщин — в таблице.

При выполнении первого и второго проходов аргонодуговой сварки стали толщиной 2,8...3,7 мм на приведенных режимах металл шва и околошовной зоны по всей толщине соединения нагревается выше критических температур (рис. 3, а) и охлаждается затем со скоростью 8...27 °С/с в диапазоне температур минимальной устойчивости аустенита 600...400 °С. Различие скоростей охлаждения обусловлено различием режимов и спо-

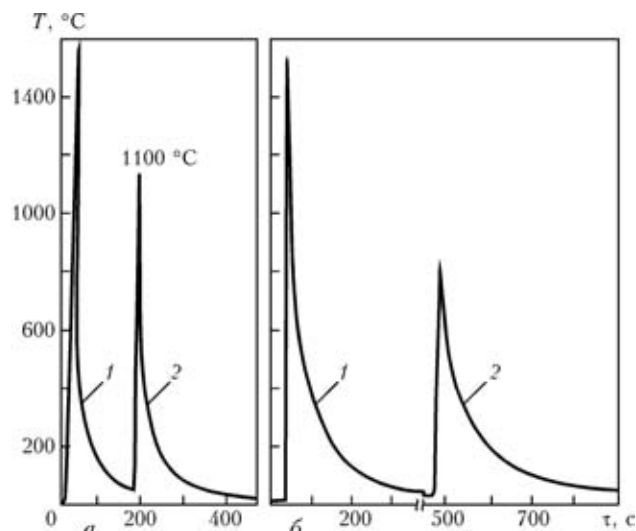


Рис. 3. Термограммы двухпроходной аргонодуговой сварки стали толщиной 3 (а) и 6 (б) мм: 1 — первый; 2 — второй проход

собов сварки, толщин свариваемых сталей, температурой перед выполнением очередного прохода сварки, а также особенностями превращений при охлаждении. Металл соединения стали 30ХГСА приобретает мартенситно-бейнитную структуру, сталей 30Х2ГС2МВ и 42ХГСНМ — мартенситную.

В процессе выполнения соединения стали толщиной 6 мм с меньшей скоростью сварки и с

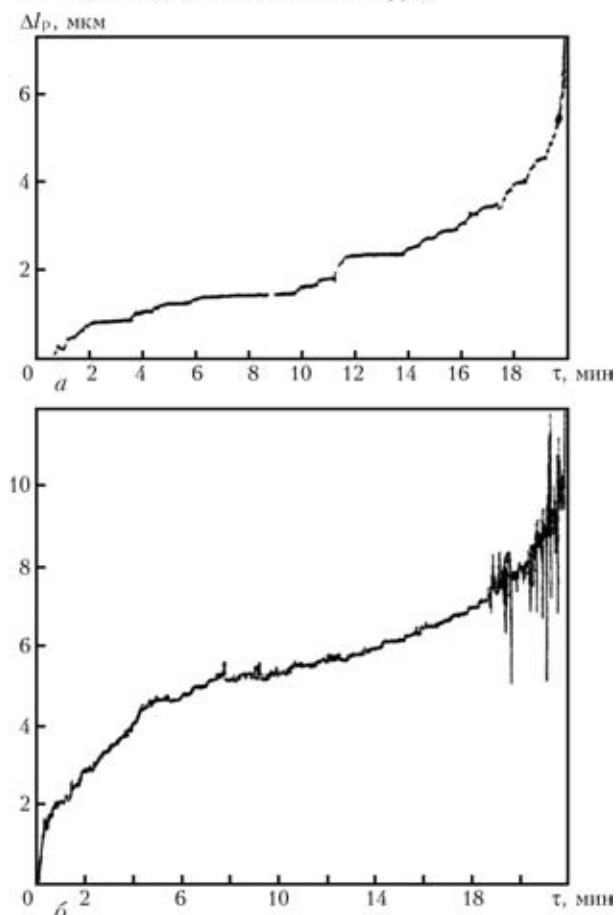


Рис. 4. Диаграммы замедленного разрушения двухпроходных стыковых соединений стали 30ХГСА толщиной 3 мм, сваренных без расплавления (а) и с расплавлением (б) присадочного металла

большой удельной погонной энергией сварки наблюдается охлаждение металла от заkritических температур с меньшими скоростями $w_{6/4} \leq 3^\circ\text{C}/\text{с}$ (рис. 3, б), что предопределяет уменьшение количества мартенсита в металле соединения стали 30ХГСА. При выполнении второго прохода сварки металл с обратной стороны соединения нагревается до температур, близких $A_{c1} = 720...760^\circ\text{C}$, и испытывает кратковременный высокотемпературный отпуск или повторную закалку с образованием меньшего количества закалочных составляющих структуры. Такой термический цикл сварки является благоприятным для снижения твердости и повышения вязкости металла соединения стали толщиной 6 мм. Подобное наблюдается при двухпроходной сварке стали 16ХГ2М толщиной 5 мм.

Сваренный образец, нагруженный ниже предела текучести основного металла, претерпевает пластическую деформацию (рис. 4). При таком напряжении основной металл пластически не деформируется, однако происходит микропластическая деформация закаленной легированной стали, содержащей 0,11...0,57 % С [13] и соответственно закалившегося при сварке металла соединения. Увеличение ее в процессе испытания про-

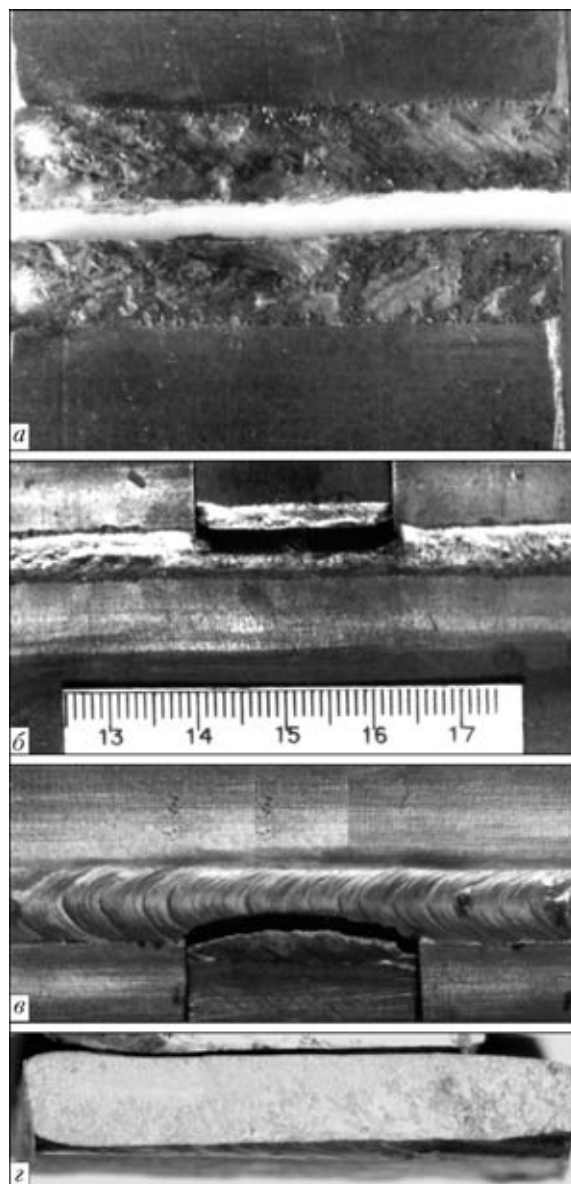


Рис. 5. Внешний вид и расположение изломов замедленного разрушения образцов соединений, сваренных за два прохода без (а, б) и с усилением шва (в) без (а) и с искусственными концентраторами напряжений (б, в); з — поверхность излома

исходит монотонно, ступенчато, а перед окончательным разрушением ускоренно.

Ступенчатые увеличения микропластической деформации металла соединения сопровождаются частыми сигналами АЭ малой интенсивности. Их можно рассматривать как проявление возникновения субмикротрещин вследствие раскрытий локальных объемов металла при деформации кристаллической решетки не менее, чем на одно межатомное расстояние [14]. С возникновением субмикротрещин снижаются напряжения II рода, уменьшается плотность металла, облегчается образование микротрещин. Последнее фиксируется сигналами АЭ на порядок большей интенсивности. Частота появления микротрещин в процессе испытания меньше частоты сигналов АЭ малой интенсивности. Она возрастает при ускорении



микропластической деформации закалившегося металла соединения на завершающей стадии замедленного разрушения. Микротрещины инициируют образование макротрещин и разрушение сварного соединения при испытании.

Замедленному разрушению при испытании подвергается преимущественно шов (рис. 5). Разрушение по шву отмечается также при инициировании его в зоне сплавления созданием концентрации напряжений по узким граням испытываемой части в месте резкого перехода к более протяженному шву специального составного образца (рис. 5, б, в). Зародившийся в зоне сплавления излом переходит в шов даже при выполнении усиления в результате расплавления присадочной проволоки, а концентраторы напряжений в виде непровара стыка и пор инициируют разрушение шва в процессе нагружения образца (в течение 0,2...0,8 мин). Следовательно, шов, металл которого такой же или близкий по химическому составу основному металлу, является более склонным к зарождению и распространению трещины, чем зона сплавления сварного соединения высокопрочной стали. Излом в целом располагается нормально широким граням и приложенному усилию и имеет межзеренный характер (рис. 5, г). В месте излома отсутствуют следы микропластической деформации, что позволяет квалифицировать замедленное разрушение как хрупкое.

Межзеренный характер разрушения свидетельствует о пониженном сопротивлении и локализации микропластической деформации по границам зерен закалившегося металла, где наблюдается максимальное искажение атомно-кристаллического строения и локальное повышение напряжений. Локализации микропластической деформации по границам зерен и снижению стойкости против образования холодных трещин способствует крупнозернистость металла соединения.

Наибольшую склонность к замедленному разрушению (в течение нескольких минут) имеет металл однопроходного шва с большим искажением кристаллического строения по границам зерен вследствие охлаждения и закалки от жидкого состояния. В его изломе выявляются вытянутые кристаллиты. Срединная часть такого шва может загрязняться ликвирующими примесями и приобретать свойства «плоскости слабины», особенно при небольшом коэффициенте формы шва. В однопроходных швах тонколистовых сталей с высоким углеродным эквивалентом часто образуются магистральные холодные трещины. Естественно, что неполное проплавление сплошного основного металла вызывает заметное повышение стойкости против замедленного разрушения по шву.

Двухпроходные соединения имеют большую трещиностойкость, чем однопроходные. На участке проплавления при выполнении второго про-

хода сварки измельчается структура металла шва (рис. 5, г), изменяется форма кристаллитов дендритного строения, уменьшается количество и размеры зародышей осей второго порядка, усиливается ориентация дендритов к лицевой поверхности и устраняется плоскость слабины. Кратковременный нагрев металла до температур 980...1250 °С вызывает уменьшение размера зерна, а более высокий нагрев способствует уменьшению анизотропии механических свойств благодаря частичной гомогенизации металла. Ударная вязкость повторно закалившейся стали несколько повышается. В изломе прослеживается двухслойное строение шва даже при однородном химическом составе металла.

При использовании данной методики фиксируется повышение стойкости против замедленного разрушения сварного соединения с уменьшением скорости сварки, повышением погонной и удельной погонной энергии сварки, снижением скорости охлаждения шва при выполнении последнего прохода сварки, а также при уменьшении углеродного эквивалента свариваемой стали. Обнаруженные особенности соответствуют принятым представлениям о трещиностойкости. Существенное увеличение трещиностойкости соединения стали толщинами 5...6 мм обусловлено уменьшением в 2...3 раза скорости охлаждения в интервале температур минимальной устойчивости аустенита, увеличением продолжительности самоотпуска в процессе сварки, снижением температуры нагрева металла с обратной стороны соединения до или ниже межкритических температур. Как следствие, уменьшается неравновесность структуры металла шва. При этом сохраняется в целом отрывной характер замедленного разрушения, хотя у широких граней образца отмечается разрушение путем среза (скос на глубину примерно 0,5 мм) и излом проходит как по шву, так и по околосшовной зоне. Характерно, что результаты испытаний образцов, полученных сваркой стыка и сквозным проплавлением сплошного основного металла, являются практически одинаковыми, что расширяет возможности методики.

Удлинение сварного образца Δl_p , определяемое при испытании на замедленное разрушение, характеризует микропластичность сварного соединения. Закалившийся при сварке металл подвергается микропластической деформации путем локальных микропластических сдвигов по границам зерен. Замедленное разрушение сварного соединения происходит при исчерпании запаса микропластичности закалившегося металла, в первую очередь шва ($\delta_p = \Delta l_p / l$, где l — ширина участка с закалившимся металлом, превышающая ширину шва на 0,5...1 мм). С учетом $\tau_p = \Delta l_p / v_{мд} = \delta_p / v_{мдо}$, где $v_{мд}$ и $v_{мдо}$ — усредненные скорости абсолютной и относительной микропластической дефор-



мации, которые уменьшаются с увеличением сопротивления сдвигам, стойкость замедленному разрушению предопределяется сочетанием свойств закалившегося металла.

Из диаграмм замедленного разрушения (рис. 4) видно, что при близких значениях трещиностойкости τ_p стыковых соединений стали 30ХГСА, сваренных на одинаковых режимах за два прохода без расплавления и с расплавлением присадочной проволоки Св-18ХМА, наблюдается подобное изменение микропластической деформации в процессе испытания и замедленное разрушение по шву. Однако если первый шов, не усиленный присадочным металлом, разрушается с микропластической деформацией $\Delta l_p = 6$ мкм, $\delta_p \approx 0,1\%$ и усредненной скоростью микропластической деформации $v_{мд} \approx 0,31$ мкм/мин, $v_{мдо} \approx 0,005\%$ /мин, то усиленный присадочным материалом шов — с $\Delta l_p = 10$ мкм, $\delta_p \approx 0,17\%$, $v_{мд} \approx 0,46$ мкм/мин, $v_{мдо} \approx 0,008\%$ /мин. Увеличение относительного удлинения δ_p и скорости микропластической деформации $v_{мд}$ и $v_{мдо}$ сопровождается повышением частоты образования субмикротрещин и микротрещин на ускоренном завершающем этапе замедленного разрушения. При испытании соединения, полученного несквозным проплавлением стали с большим эквивалентом углерода, $\Delta l_p = 16$ мкм и $\delta_p = 0,26\%$. Следовательно, с применением данной методики фиксируются различия параметров трещинообразования сварного соединения.

Явление релаксации можно рассматривать как ползучесть при напряжении, снижающемся во времени пропорционально нарастающей пластической деформации [15]. Микропластическая деформация при испытании сварного соединения на замедленное разрушение вызывает уменьшение прогиба упругоизогнутой балки и приложенного усилия. Падение напряжения к моменту разрыва $\Delta \sigma_p = K \Delta l_p / S = K \delta l / S$ и разрывное напряжение $\sigma_p = K(\lambda_n - \Delta l_p) / S = K(\lambda_n - \delta_p l) / S$ линейно зависят от значения микропластической деформации при испытании. В представленных выше примерах микропластическая деформация сварного соединения ($\Delta l_p = 6; 10$ и 16 мкм) вызывает падение напряжения $\Delta \sigma_p = 7; 12$ и 26 МПа до разрывного напряжения $\sigma_p = 373, 368$ и 354 МПа соответственно. Следовательно, при испытании на замедленное разрушение стыкового соединения высокопрочной стали с помощью упругоизогнутой балки имитируется релаксация напряжений при вылеживании изделия после сварки. По сравнению с временным и деформационным показателями замедленного разрушения силовой показатель меньше зависит от свойств закалившегося металла. При испытании серии образцов с фиксированием σ_p можно определять $\sigma_{кр}$ и $\sigma_{кр} / \sigma_T$.

При замедленном разрушении сварного соединения выполняется работа. Удельная работа, приходящаяся на единицу объема микропластически деформируемого металла, как при статических испытаниях на разрыв, определяется следующим образом:

$$a_{уд} = (\sigma_n - 0,5 \Delta \sigma_p) \delta_p = (\sigma_n - 0,5 K \Delta l_p / S) \delta_p.$$

Приведенная работа, отнесенная к площади поперечного сечения образца, подобно ударной вязкости, следует из соотношения

$$a_{пр} = (\sigma_n - 0,5 \Delta \sigma_p) \Delta l_p = (\sigma_n - 0,5 K \Delta l_p / S) \delta l_p.$$

Характеризуя деформационную способность сварного соединения и закалившегося металла и будучи более сложными в определении, энергетические показатели менее приемлемы для оценки трещиностойкости сварного соединения, чем деформационные показатели замедленного разрушения.

Таким образом, при использовании новой методики можно определять временной, деформационные, силовой и энергетические показатели замедленного разрушения сварного соединения высокопрочной стали.

Выводы

1. Предложена методика оценки стойкости стыковых соединений высокопрочных сталей различных толщин против образования холодных трещин путем испытания на замедленное разрушение со снижением нагрузки в процессе принудительной микропластической деформации металла, закалившегося при сварке. При испытании с имитацией релаксации напряжений используются малоразмерные образцы и определяются τ_p , Δl_p , δ_p , $\Delta \sigma_p$, σ_p , $a_{уд}$, а также частота и время образования микротрещин. Наиболее приемлемы для оперативной оценки трещиностойкости временной и деформационный показатели замедленного разрушения.

2. Установлено, что наибольшую склонность к зарождению и развитию холодных трещин имеет шов и с увеличением толщины свариваемой стали трещиностойкость его возрастает. При этом подтверждается влияние на трещиностойкость химического состава свариваемой стали, технологических и тепловых особенностей сварки.

3. Предложенная методика испытания может быть эффективно использована при исследовании трещиностойкости соединений, разработке сварочных материалов и технологий сварки различных высокопрочных сталей.

1. *Сварка в машиностроении: Справочник* / Под ред. А. И. Акулова: В 4 т. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 2. — 462 с.



2. Земзин В. И., Чижик А. А., Ланин А. А. Условия образования трещин при сварке и термической обработки. Ч. I. О роли ползучести в образовании трещин // Свароч. пр-во. — 1982. — № 11. — С. 1–4.
3. Granjon H. The implant method for studying weldability of high strength steel // Metal Construction and Brit. Weld. J. — 1969. — № 11. — P. 509–515.
4. Бурский Г. В., Стеренбоген Ю. А. Оценка сопротивляемости ЗТВ среднелегированных высокопрочных сталей замедленному разрушению // Автомат. сварка. — 1990. — № 8. — С. 33–35.
5. Усовершенствованная методика оценки сопротивляемости металла ЗТВ замедленному разрушению / Г. В. Бурский, М. М. Савицкий, О. И. Олейник, В. Э. Сухоярский // Там же. — 1999. — № 4. — С. 31–34.
6. Кулик В. М., Савицкий М. М., Бурский Г. В. Оценка сопротивляемости металла ЗТВ высокопрочной стали замедленному разрушению с моделированием релаксации напряжений // Там же. — 2005. — № 5. — С. 19–25.
7. Стеренбоген Ю. А., Васильев Д. В. Оценка трещиностойкости зоны сплавления по энергетическому показателю замедленного разрушения // Там же. — 1999. — № 6. — С. 6–12, 17.
8. Стеренбоген Ю. А., Бурский Г. В., Савицкий М. М. О методике имплант и ее использовании при испытаниях высокопрочных сталей // Сб. докл. II симп. СЭВ, «Применение математических методов при изучении свариваемости». — София: ВМЭИ им. Ленина, 1983. — С. 138–140.
9. Inagaki M., Tomura H., Araki T. Effect of testing parameters and standardization in implant cracking test in Japan. — [1980]. — 14 p. — (Intern. Inst. of Welding: Doc. IIW IX-1151–80).
10. Макара А. М., Мосендз Н. А. Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
11. Пат. 73637 Україна. Спосіб для оцінки тріщиностійкості зварного з'єднання гартівної сталі та пристрій для його здійснення / В. М. Кулик, М. М. Савицький. — Опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
12. Акустико-эмиссионный контроль соединений, выполненных лазерной сваркой / О. А. Бартенев, Ю. И. Кутаков, В. А. Хамитов, Ю. Ф. Волков // Автомат. сварка. — 1988. — № 9. — С. 71–73.
13. Mc. Evily A. J., Ku R. C., Johnston T. L. The source of martensite strength // Trans. Metallurg. Soc. of AIME. — 1966. — 236. — P. 108–113.
14. Остакин А. И. Исследование особенностей вязкого разрушения металлов и сплавов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1973. — 21 с.
15. Теория ползучести и длительной прочности металлов / И. А. Одинг, В. С. Иванова, В. В. Бурдунский, В. Н. Гелинов. — М.: ГНТИ, 1959. — 488 с.

Method is suggested for tensile testing of flat specimens of butt joints with a decreased load. Peculiarities of delayed fracture of the joints depending upon the thickness of the steel welded, as well as welding parameters and procedure, are considered. It is established that delayed fracture of homogeneous, or close to homogeneous, butt joints occurs primarily in the weld. The possibility is shown of determining time, microplastic deformation, stress and delayed fracture energy, as well as time and frequency of initiation of microcracks. The method can be applied for development of a welding technology.

Поступила в редакцию 24.10.2005

40 ЛЕТ КАФЕДРЕ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА Донбасской государственной машиностроительной академии

Кафедра сварочного производства Донбасской государственной машиностроительной академии была создана в октябре 1966 г. (в то время Краматорский индустриальный институт). Организатором кафедры и первым ее заведующим на протяжении 10 лет был доцент, канд. техн. наук Д. С. Кассов. Под его руководством был создан преподавательский коллектив и лабораторная база кафедры, открыта аспирантура по специальности «Технология и машины сварочного производства». В 1977 г. кафедру возглавил канд. техн. наук, доцент В. М. Карпенко, который руководит кафедрой до настоящего времени, с перерывом с 1985 по 1993 гг., когда он избирался проректором академии.

За свою сравнительно небольшую историю кафедрой подготовлено около 4000 инженеров-сварщиков, более 20 специалистов защитили кандидатские диссертации, а один из них — доцент В. Д. Кассов — докторскую диссертацию.

Одним из основных направлений работы кафедры является методическая работа. За эти годы разработано более 200 методических пособий. Сотрудниками кафедры опубликовано около 500 статей в журналах и различных сборниках, получено более 300 авторских свидетельств и более 30 патентов.

На кафедре создано и развивается свое научное направление: исследование и разработка самозащитных порошковых проволок для сварки и наплавки. По этому направлению уже защищено 12 кандидатских диссертаций.

Многие разработки кафедры внедрены на предприятиях Донбасса.

В 1980 г. при кафедре создана отраслевая лаборатория технической диагностики, руководителем которой является канд. техн. наук, доцент О. А. Емельянов. Сотрудниками лаборатории получено свыше 90 авторских свидетельств СССР на изобретения и патентов Украины, опубликовано несколько монографий, 60 научных статей, сделано 40 докладов на научных конференциях. Защищена одна кандидатская диссертация, подготовлена к защите одна докторская диссертация.

В настоящее время кафедра проводит большую организационно-методическую работу по переходу на европейскую систему образования и присоединению к Болонскому соглашению.



АНАЛОГОВОЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКОМ СВАРОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Чл.-кор. НАН Украины **О. К. НАЗАРЕНКО, В. С. ЛАНБИН**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Обсуждаются результаты аналогового и микропроцессорного управления током сварочного пучка электронов в современных установках для электронно-лучевой сварки. Экспериментально показано, что благодаря усовершенствованию алгоритмов управления, реализованного на встроенном микропроцессоре, удастся снизить значения нестабильностей тока электронного пучка до $\pm 1\%$ в режиме сварки и до $\pm 10\%$ в режиме малых (≤ 1 мА) токов настройки. Обеспечивается формирование импульсов тока необходимой формы и амплитуды для работы системы автоматического совмещения пучка со стыком в процессе сварки.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, ток сварочного электронного пучка, система ЧПУ, аналоговое и цифровое управление, помехозащищенность, быстродействие, точность, автоматическое совмещение пучка со стыком

К особым требованиям, предъявляемым к современному оборудованию для электронно-лучевой сварки, относятся возможность обеспечения малых настроечных токов пучка и работа вторично-эмиссионных или рентгеновских систем слежения за стыком во время сварки [1].

Дискретность задания и минимальный ток пучка. Настроечный минимальный ток пучка, задаваемый оператором, не должен вызывать оплавления поверхности металла. Как видно из рис. 1 (пучка ЭЛА-60/15, ускоряющее напряжение 60 кВ, рабочее расстояние 150 мм), пучок электронов с энергией 60 кэВ при токе 0,5 мА уже оставляет на поверхности образца оплавленную зону, недопустимую для многих типов промышленных изделий. Поэтому в аппаратуре с ускоряющим напряжением 60...120 кВ как минимальный ток пучка, так и дискретность его задания должны регламентироваться значением 0,1 мА. На практике ранее не удавалось задавать в мощных источниках питания минимальный ток менее 1 мА, поскольку в связи с влиянием емкостных токов утечки на землю источника питания и электромагнитных помех на цепи измерения и управления током пучка его нестабильности достигали 100 %.

Фактическое значение тока пучка определяется по падению напряжения на термостабильном резисторе, включенном в цепь прохождения тока. Это напряжение используется и в качестве сигнала обратной связи канала управления током пучка. Проще всего включить резистор между землей и клеммой «плюс» источника ускоряющего напряжения. В этом случае не возникают проблемы раз-

вязки цепей управления от высокого потенциала, но через резистор текут, помимо сварочного, емкостные токи утечки на землю источника ускоряющего напряжения, частоты которых находятся в диапазоне 50...300 Гц. Если при полной стационарной нагрузке источника доля емкостных токов невелика, то при малых сварочных токах и в переходных режимах значение емкостных токов может даже превосходить заданное стационарное значение тока пучка. Например, для источника питания ЭЛА-60 [2] мощностью 60 кВт значение емкостных токов в стационарном режиме составляет около 10 мА, а при переходных процессах, в том числе при импульсной модуляции тока пучка, многократно превышает это значение. Как следствие, приходится фильтровать сигнал обратной связи по току пучка, что существенно увеличивает постоянную времени цепи управления и ограничивает возможность точного задания малых (≤ 1 мА) токов настройки.

С целью исключения влияния емкостных токов утечки на точность измерения тока пучка в современных источниках ускоряющего напряжения сопротивление обратной связи включается между клеммой «минус» источника и эмиссионной системой сварочной пушки, вся система автоматического регулирования тока пучка размещается

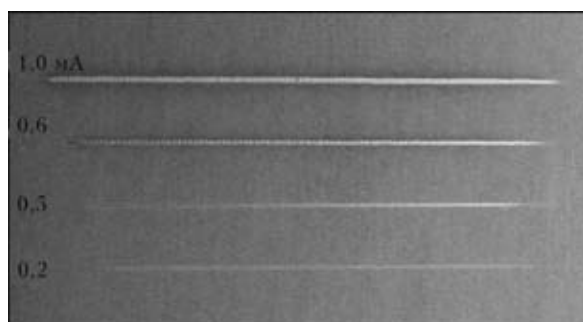


Рис. 1. Воздействие на поверхность низкоуглеродистой стали пучком электронов, перемещаемым со скоростью 25 мм/с, при различных токах (при токе 0,2 мА оплавления нет)

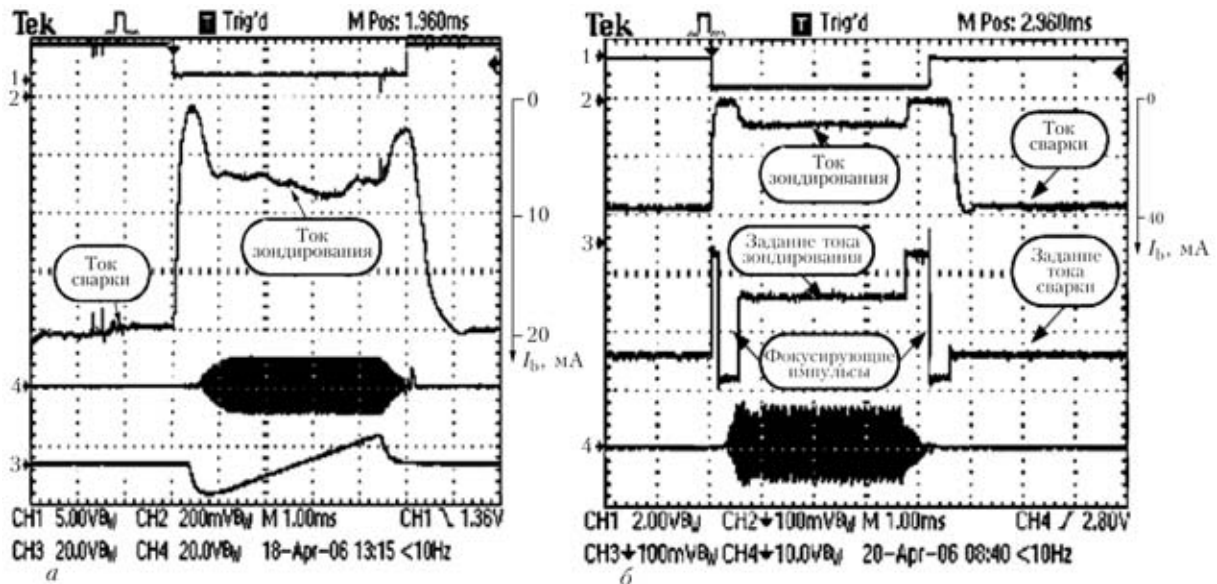


Рис. 2. Осциллограммы, характеризующие работу аналогового (а) и микропроцессорного (б) управления током пучка I_b при работе в режиме реального времени системы автоматического совмещения пучка со стыком для а: 1 — импульс синхронизации; 3 — ток кадровой развертки пучка; 4 — ток строчной развертки пучка; для б: 1 — ток строчной развертки пучка; 4 — импульс синхронизации

под высоким потенциалом, а передача задания тока осуществляется через частотный или цифровой каналы с оптической развязкой низковольтных и высоковольтных цепей [3]. Однако до настоящего времени результаты применения такой системы в литературе не обсуждались.

Форма импульса тока. При работе системы автоматического слежения за стыком сварочный пучок периодически (обычно 3 раза в секунду) переводится в режим зондирования поверхности свариваемого изделия, при этом нужно учитывать следующее: для предотвращения нарушения формирования шва время прерывания процесса сварки должно быть минимальным, с увеличением скорости сварки оно должно пропорционально сокращаться. Таким образом, длительность переходных процессов необходимо свести к минимуму; для формирования собственно информационного кадра, т. е. изображения зоны сварки, когда ток зондирующего пучка составляет 5...10 мА требуется не менее 3,5 мс; для предотвращения повреждения поверхности изделия во время сравнительно малой скорости нарастания (~0,5) и спада (~0,1 мс) амплитуды строчной развертки ток пучка должен быть практически нулевым.

Основным фактором, препятствующим достижению перечисленных выше требований, является распределенная емкость соответствующих токоведущих проводов высоковольтного кабеля. Для предотвращения развития автоколебательных процессов в высоковольтной цепи приходится ограничивать скорость изменения тока пучка, что ведет к увеличению длительности фронтов импульса тока. Как видно из осциллограмм на рис. 2, а, для формирования импульса тока с длитель-

ностью вершины 3,5 мс общая длительность возмущения процесса сварки может достигать до 6 мс. Оставляет желать лучшего форма импульса в области нулевого тока. Здесь практически вообще отсутствует плоская вершина, что затрудняет своевременный старт генератора развертки пучка и поэтому избежать оплавления поверхности изделия во время нарастания и спада тока строчной развертки трудно.

Учитывая изложенное выше, целью данной работы является сопоставление аналогового и микропроцессорного управления током пучка электронов.

Особенности построения каналов управления током пучка. Особенностью рассматриваемых каналов управления является их интеграция с общей системой компьютерного управления процессом электронно-лучевой сварки [4] на основе системы ЧПУ Sinumerik 840D [5], реализующей многокоординатные сварочные перемещения. Одной из виртуальных осей системы ЧПУ является ток пучка, мгновенное значение которого жестко синхронизировано с перемещениями. Тип и размещение соответствующего интерфейсного модуля ЧПУ накладывают ограничения на структуру и характеристики канала управления током пучка в целом.

На рис. 3 приведено два реализованных варианта управления током пучка с использованием следующих одинаковых решений: сигнал управления, задающий необходимый ток пучка, представляет собой цифровой код, формируемый ЧПУ Sinumerik 840D 1; развязка находящихся под различными потенциалами частей канала управления осуществляется с помощью оптоволоконных пар

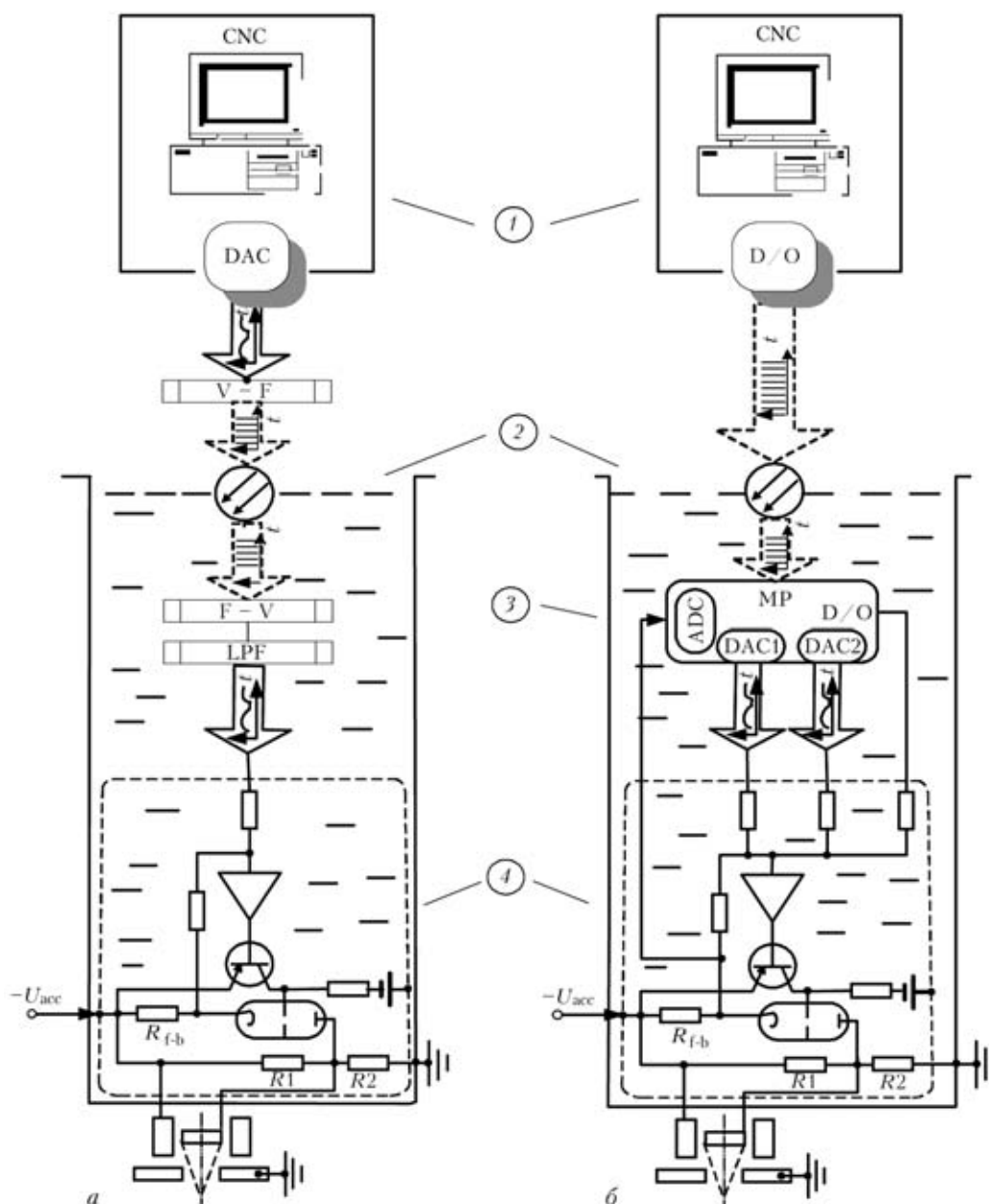


Рис. 3. Блок-схемы аналогового (а) и цифрового (б) управления током пучка: 1 — управляющий компьютер системы ЧПУ Sinumerik 840D; 2 — оптоволоконная развязка от высокого напряжения; 3 — микропроцессор (MP); 4 — стабилизатор тока пучка (DAC — цифро-аналоговый преобразователь; ADC — аналого-цифровой преобразователь; D/O — цифровой интерфейсный модуль; V-F — преобразователь напряжение — частота; F-V — преобразователь частота — напряжение; LPF — фильтр низких частот; $-U_{acc}$ — минус источника ускоряющего напряжения; R_{f-b} — резистор датчика тока пучка)

2, расположенных на границе воздух – трансформаторное масло в высоковольтном баке источника ускоряющего напряжения; управляющее напряжение эмиссионной системы сварочной пушки формируется стабилизатором тока пучка 4, а сигнал обратной связи по току пучка снимается с резистора R_{f-b} ; максимальное значение отрицательного потенциала управляющего электрода эмиссионной системы задается резисторами R1 и R2.

Различия в схемах управления током пучка заключаются в применении в первом случае (рис. 3, а) стандартного цифро-аналогового преобразователя (DAC) системы ЧПУ Sinumerik 840D, а во втором (рис. 3, б) — встраивании в эту систему

ЧПУ преобразователя (разработан в ИЭС им. Е. О. Патона) с цифровым выходом (DO).

В схеме, показанной на рис. 3, а, цифровое значение задаваемого тока пучка преобразуется с помощью DAC в аналоговый сигнал, затем в частотный (в составе системы ЧПУ Sinumerik 840D отсутствуют модули, способные преобразовывать код непосредственно в частоту), передается по оптоволоконной линии связи, затем из частотного (с помощью преобразователя F-V) опять в аналоговый сигнал, фильтруется с помощью фильтра низких частот LPF и подается на стабилизатор тока пучка.



В схеме, показанной на рис. 3, б, цифровое значение задаваемого тока пучка преобразуется в аналоговый сигнал уже в высоковольтном баке, непосредственно перед входом стабилизатора тока пучка. Для этого используется микропроцессор 3, имеющий собственный DAC.

Если исключить из рассмотрения характеристики стабилизатора тока пучка (поскольку этот узел является одинаковым для обеих схем), можно видеть, что в первом случае имеются, по крайней мере, три звена, негативно влияющие на достоверность передачи сигнала управления:

аналоговый канал связи между аппаратным шкафом, где расположена система ЧПУ, и источником ускоряющего напряжения, имеющим длину до 10 м и подверженным влиянию электромагнитных полей;

преобразователи «напряжение — частота» и «частота — напряжение» (нелинейности $\leq 0,1\%$ при частоте 1 мГц, температурные нестабильности $\pm 0,015\%$ /град при частоте 100 кГц, время установившегося 11 мкс при частоте 100 кГц);

фильтр низких частот.

Хотя температурные нестабильности преобразователей «напряжение — частота» и «частота — напряжение» превышают аналогичные параметры DAC, тем не менее они не выходят за пределы максимально допустимых значений, влияющих на параметры тока сварки. Звеном, наиболее подверженным влиянию электромагнитных помех, является аналоговый канал связи. Поэтому экспериментальные исследования, выполненные С. А. Шевчуком в ИЭС им. Е. О. Патона, показали необходимость применения фильтра низких частот с максимальным временем установившегося не менее 0,4 мс, которое существенно ограничивает как динамические возможности канала управления током пучка, так и стабильность малых токов пучка (таблица). Отрицательное влияние фильтра низких частот не может быть скомпенсировано известными приемами.

В цифровом канале управления током пучка присутствует только одно звено, влияющее на дос-

товерность передачи сигнала управления, — DAC, входящий в микропроцессор (рис. 3). Последний выполняет только линейные операции, а хранящиеся в его памяти константы не зависят от времени (время, затрачиваемое микропроцессором на выполнение любых операций с входным сигналом, пренебрежимо мало).

Микропроцессор имеет следующие функции: преобразование цифрового кода задания в аналоговый сигнал управления стабилизатором тока пучка с помощью DAC1;

осуществление второго контура регулирования в режиме малых токов с помощью DAC2;

форсирование процесса установившегося необходимого тока пучка.

Аналоговый сигнал преобразователя DAC1 поступает на основной вход стабилизатора тока пучка и обеспечивает дискретность задания тока в 250 мкА с точностью исполнения ± 125 мкА для максимального тока в 1 А. Если бы задание реализовывалось стабилизатором тока пучка без погрешностей, такая точность была бы вполне приемлемой для большинства задач сварки. Однако стабилизатор, несмотря на то, что он охвачен аналоговой петлей обратной связи, вносит собственные погрешности и нестабильности, зависящие от температуры и времени, особенно на начальном участке его характеристики. Для их устранения в систему управления включен второй контур обратной связи, реализованный в цифровом виде следующим образом.

Напряжение обратной связи на резисторе R_{f-b} в катод лампы стабилизатора тока измеряется аналого-цифровым преобразователем микропроцессора, построенным таким образом, что разрядность преобразования в области малого сигнала равна 16, т. е. дискретность составляет несколько десятков микроампер. Код измеренного на резисторе обратной связи значения тока пучка сравнивается с кодом задания, поступающим на DAC микропроцессора, а затем осуществляется выработка корректирующего воздействия, соответствующего точности канала измерения, на сигнал уп-

Сравнение характеристик аналогового и микропроцессорного управления током сварочного пучка

Параметры	Аналоговый канал	Цифровой канал
Линейность, %	0,2	0,05
Температурный коэффициент, %/град	0,07	0,0025
Дискретность задания тока, мкА	1000	100
Минимальный ток пучка, мкА	1000	100
Нестабильности тока пучка в диапазонах, %:		
0,1...1 мА	C100	± 10
1...1000 мА	± 1	± 1
Максимальная скорость регулирования тока пучка, мА/мс	50	200
Длительность прерывания процесса сварки при слежении за стыком, мс	6	5



равления. Суммирование основного и корректирующего сигналов задания позволяет, кроме того, при необходимости перейти на более мелкую дискретизацию задания, чем это может обеспечить основной преобразователь DAC1. При этом последний вырабатывает управляющий сигнал в грубой сетке, а DAC2 корректирует его до ближайшего значения мелкой сетки.

Применение микропроцессора позволило улучшить управляемость током пучка благодаря широким возможностям метода предискажений [6], когда с целью управления заведомо «медленным» каскадом для получения приемлемых динамических характеристик в управляющий сигнал вносятся предискажения, компенсирующие недостаточную динамику каскада.

В рассматриваемом случае с целью отсечки тока пучка специальным дискретным импульсом отключается стабилизатор тока и на управляющий электрод электронной лампы подается значительно более высокий отрицательный потенциал, чем это необходимо для полного запираания эмиссионной системы; малое время выхода из режима перезапираания на необходимый уровень тока достигается путем восстановления режима стабилизации тока с одновременной подачей на вход стабилизатора импульса, форсирующего процесс установления необходимого тока.

Сравнение осциллограмм, характеризующих работу рассматриваемых каналов при скачкообразном изменении тока (см. рис. 2), позволяет утверждать о значительно более высоком качестве работы цифрового канала: длительность прерывания процесса сварки снижена на 20 % — с 6 до 5 мс; четко фиксируется отсечка тока пучка (его нулевой уровень), что исключает оплавление поверхности изделия во время нарастания и спада амплитуды строчной развертки пучка.

Основные параметры управления пучком электронов при использовании рассматриваемых каналов приведены в таблице. Следует отметить,

что для случая цифрового микропроцессорного канала характерно снижение на один порядок нестабильностей тока пучка в диапазоне малых настроечных токов 0,1...1 мА, а также увеличение в 4 раза скорости регулирования тока пучка по сравнению со случаем аналогового управления.

Выводы

1. Высокая помехозащищенность и быстродействие микропроцессорного канала управления током сварочного пучка электронов обуславливают целесообразность его применения в установках нового поколения.

2. Результаты экспериментального исследования созданного микропроцессорного канала управления током сварочного пучка электронов и его применения в промышленных установках показали надежную стабилизацию тока электронного пучка с точностью $\pm 1\%$ в режиме сварки и $\pm 10\%$ в режиме малых настроечных токов ≤ 1 мА; строгое формирование импульсов тока заданной формы, обеспечивающих работу системы автоматического совмещения пучка со стыком.

1. Наблюдение процесса электронно-лучевой сварки и автоматическое слежение за стыком / О. К. Назаренко, В. И. Шаповал, Г. А. Лоскутов и др. // Автомат. сварка. — 1993. — № 5. — С. 35–38.
2. Электронно-лучевая сварка / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
3. Pat. 24 60 424, H 01 J 37/24. Deutsche. Strahlstromsteuerung für eine Elektronenstrahl-Schweißmaschine / R. Mauer. — Publ. 1977, März 17.
4. Компьютерное управление процессом электронно-лучевой сварки с многокоординатными перемещениями пучка и изделия / Б. Е. Патон, О. К. Назаренко, В. М. Нестеренков и др. // Автомат. сварка. — 2004. — № 5. — С. 3–7.
5. Sinumerik & Simodrive: Каталог NC фирмы «Siemens», 2004.
6. Кротов Н. А., Козырев В. Б. Способы линеаризации амплитудной характеристики усилителей мощности // Радиотехника. — 2003. — № 12.

Results of analog and microprocessor control of welding electron beam current in modern EBW units are discussed. It is experimentally shown that by improving the algorithms of control, implemented in a built-in microprocessor, it is possible to lower the value of instability of electron beam current to $\pm 1\%$ in the welding mode and to 10 % in the mode of low setting-up currents (≤ 1 mA). Generation of current pulses of the required form and amplitude is ensured for operation of the system of automatic guidance of the beam to the butt during welding.

Поступила в редакцию 22.05.2006



ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЮ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА 1420, ПОЛУЧЕННЫХ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКОЙ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Т. М. ЛАБУР, д-р техн. наук, А. Г. ПОКЛЯЦКИЙ, канд. техн. наук, А. А. ГРИНЮК, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Сопоставлены физико-механические характеристики соединений высокопрочного алюминиевого сплава 1420, полученных неплавящимся электродом в аргоне обычной стационарной и отклоняющейся от вертикальной оси (вследствие пропускания тока через присадочную проволоку) дугой. Определены показатели прочности и угла загиба сварных соединений, а также прочности и ударной вязкости металла швов при использовании серийной сварочной проволоки СвАМг63. Установлены значения показателей вязкости разрушения, определяющие уровень надежности сварных соединений при эксплуатации конструкций. Проанализированы особенности микроструктуры швов и распределение их твердости.

Ключевые слова: аргонодуговая сварка, неплавящийся электрод, алюминиевые сплавы, сварные соединения, отклонения дуги, колебания ванны, физико-механические свойства, твердость, структура, сопротивление разрушению

При выполнении обычной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом современных сверхлегких высокопрочных алюминиево-литиевых сплавов в швах образуются включения оксидной пленки, а в зоне сплавления шва с основным металлом — поры. Кроме того, наличие лития, являющегося легирующим элементом, приводит к появлению хрупких выделений и резкому увеличению концентрации напряжений, о чем свидетельствуют низкие значения показателей вязкости разрушения сварных соединений [1]. Для получения качественных сварных соединений применяют различные методы воздействия на расплавленный металл, обеспечивающие оптимальные теплофизические условия и способствующие активизации процессов катодного разрушения оксидной пленки на свариваемых поверхностях и удалению пузырьков газа из расплава. Особенно эффективными являются методы, вызывающие динамические колебания расплавленного металла сварочной ванны и его интенсивное перемешивание в процессе сварки. Для этого осуществляют механические колебания электрода, присадочную проволоку подают прерывисто, накладывают на дугу кратковременные импульсы тока, используют для питания дуги асимметричный или модулированный ток, а также создают дополнительные магнитные поля.

Перемещения расплавленного металла при колебаниях электрода активизируются вследствие изменения силового воздействия дуги на ванну (нормальной составляющей давления дуги, обратно пропорциональной углу отклонения электрода от вертикали) [2]. Прерывистая подача присадочной проволоки способствует возникновению колебаний жидкого металла в результате периодических изменений объема металла, поступающего в головную часть ванны [3]. При наложении кратковременных импульсов тока колебания в расплаве возникают вследствие резкого увеличения давления дуги во время прохождения этих импульсов [4], а при сварке модулированным током — благодаря разнице силового давления дуги во время импульсов и пауз сварочного тока [5, 6]. Использование асимметричного тока также способствует интенсивному перемешиванию расплавленного металла, которое происходит в результате изменения давления дуги при смене полярностей тока [7].

При использовании внешних магнитных полей интенсивность перемешивания жидкого металла сварочной ванны повышается в результате их взаимодействия с объемной электромагнитной силой, возникающей в дуговом промежутке [8–14]. В зависимости от направления линий магнитной индукции магнитное поле может быть продольным или поперечным, а по времени воздействия — постоянным или переменным. Постоянное магнитное поле, воздействуя на дугу, вызывает изменение геометрических размеров и положения дуги, сохраняя их на протяжении всего времени



существования магнитного поля. Переменное магнитное поле периодически отклоняет столб дуги от вертикального положения. Направление отклонения дуги зависит от направления линий магнитной индукции (продольное магнитное поле отклоняет дугу перпендикулярно относительно оси шва, а поперечное — параллельно направлению сварки). При этом амплитуда и частота колебаний дуги зависят от напряженности магнитного поля и частоты перемены его полюсов. Наиболее простой способ получения переменного магнитного поля — использование соленоидов, на которые подают переменный ток [15].

Для создания механических колебаний электрода или прерывистой подачи присадочной проволоки необходимо использовать специализированные приспособления. Сварку пульсирующей дугой можно выполнять только с помощью специальных источников питания. Наиболее распространенные способы электромагнитного воздействия на дугу усложняют конструкцию горелки, затрудняют процесс сборки, препятствуют слежению за дугой и т. д.

Перспективным и простым в применении способом эффективного электромагнитного воздействия на дугу может быть пропускание электрического тока через участок присадочной проволоки. В результате взаимодействия переменного электромагнитного поля, возникающего вокруг дугового разряда, с постоянным или переменным электромагнитным полем вокруг присадочной проволоки дуга отклоняется от вертикального положения. В зависимости от значений и полярностей токов, проходящих через дуговой промежуток и участок присадочной проволоки, результирующая магнитной индукции будет изменять свое значение и направление, вызывая при этом изменение действующей на дугу силы Ампера и ее направление. Периодическая смена полярностей токов приводит к изменению положения дуги относительно вертикальной оси. Силовое воздействие сварочной дуги $P_{дн}$ на ванну в этом случае будет изменяться в зависимости от угла отклонения ее относительно вертикали α и определяться по формуле

$$P_{дн} = KI_d^2 \cos \alpha,$$

где $P_{дн}$ — сила давления дуги при ее вертикальном расположении (вдоль нормали); K — коэффициент пропорциональности; I_d — сила тока в дуговом промежутке.

Отклонения дуги от ее вертикального положения вызывают колебания расплавленного металла сварочной ванны, изменяя условия его перемешивания, дегазации и кристаллизации. Применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с колебаниями сварочной ванны,

обусловленными пропуском тока через присадку, позволит получать качественные сварные соединения с высокими показателями сопротивления их разрушению.

Стыковые соединения листов (400×200×4 мм) сплава 1420 (Al–5,4Mg–2,1Li) сваривали на переменном токе 195 А автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом от источника питания MW-450 («Фрониус», Австрия). Для перемещения горелки и подачи присадочной проволоки использовали установку АСТВ-2м. Скорость сварки составляла 12 м/ч, скорость подачи проволоки 75 м/ч, расход аргона 15 л/мин. В качестве присадочной проволоки использовали серийную сварочную проволоку СвАМг63 (Al–6,3Mg–0,6Mn–0,2Zr) диаметром 1,6 мм. Основные показатели прочности и пластичности основного металла по результатам испытаний пяти–семи образцов, вырезанных вдоль проката, следующие: $\sigma_b = 463,8$ МПа; $\sigma_{0,2} = 352,5$ МПа; $\delta = 5,8\%$; $\alpha = 37^\circ$; $KCV = 11,8$ Дж/см².

Листы и проволоку перед сваркой подвергали химическому травлению в водном растворе NaOH (50 г/л), осветлению в 30%-м растворе HNO₃, промывке и последующей сушке. Свариваемые кромки зачищали с трех сторон механическим способом на глубину не менее 0,15 мм. Для создания колебаний расплавленного металла сварочной ванны через участок присадочной проволоки пропускали постоянный или переменный ток $I_p = 220$ А (рис. 1).

После сварки из полученных стыков изготавливали плоские образцы для определения их механических свойств в условиях одноосного растяжения и вырезали шлифы для исследований твердости, а также микро- и макроструктуры швов. Для определения физико-механических свойств сварных соединений при внецентренном растяжении использовали метод Канна, при котором испытывают плоские образцы размером 36×57 мм с глубоким острым надрезом и радиусом в его вершине 0,1 мм [16]. Скорость растяжения образцов с надрезом при испытании составляла 2 мм/мин (3,3·10⁵ м/с). В процессе внецентренного растяжения на осциллографе записывали диаграммы нагрузка–деформация ($P - f$), которые фиксировали моменты зарождения и развития тре-

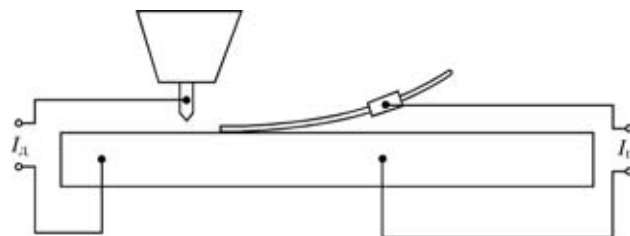


Рис. 1. Схема процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с колебаниями сварочной ванны, возникающими в результате пропускания электрического тока через участок присадочной проволоки



щин в исследуемых образцах до полного их разрушения. Диаграммы позволяют количественно оценить не только интенсивность напряжений в процессе деформации образца при внецентренном растяжении, но и протяженность стадии стабильного течения металла и работу, которую он затрачивает на отдельных этапах развития трещины. Условия испытания отвечали техническим требованиям ГОСТ 25.506. Экспериментальные результаты получены при испытании пяти образцов с использованием универсальной машины РУ-5.

По результатам испытаний определяли значения номинального напряжения σ_p и критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC} , а также удельной работы зарождения УРЗТ и распространения УРРТ трещины. Значения показателя J_c оценивали путем расчета функции изменения энергии деформации в зависимости от длины трещины, используя соотношение Меркли-Кортена [17].

Характер и особенности структурных изменений, которые происходят в металле при аргонодуговой сваре неплавящимся электродом в условиях колебаний сварочной ванны, изучали с использованием растрового электронного микроскопа JSM-840 с системой микроанализаторов Analytic Link — 860/500 Obtek при ускоряющем напряжении 15, 20, 30 кВ. Результаты анализа сравнивали с данными о характере изменения рельефа излома соединений, полученных в обычных условиях сварки. Такой комплексный подход позволил рассмотреть процессы, происходящие в металле шва.

Образцы с усилением шва, полученные как стационарной дугой, так и с колебаниями сварочной ванны, при одноосном растяжении разрушаются по зоне сплавления. Предел прочности сварных соединений, полученных обычной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, находится на уровне 326 МПа. Пропускание электрического тока через участок присадочной проволоки позволяет повысить этот показатель до 338 МПа.

Прочность металла шва, полученного стационарной дугой с присадочной проволокой СВАМг63, составляет в среднем 322 МПа, а с колебаниями

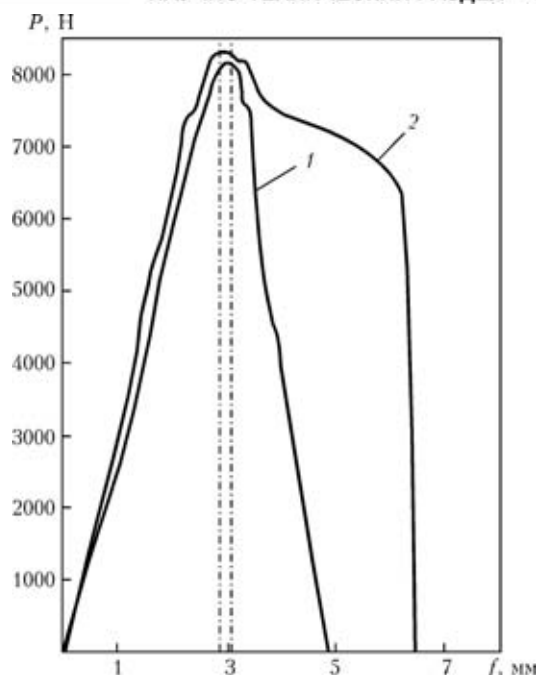


Рис. 2. Диаграммы испытания при внецентренном растяжении сварных соединений сплава 1420, полученных обычной стационарной дугой (1) и с колебаниями ванны (2)

ванны, обусловленными пропуском через нее постоянного или переменного тока, — 344 МПа. Однако при этом ударная вязкость швов снижается с 26 до 12 Дж/см², а угол загиба сварных соединений с 90 до 88°. Следует отметить, что значения прочности и ударной вязкости металла швов, полученных при сварке с колебаниями ванны, находятся на уровне, достигаемом после искусственного старения образцов (120°, 8 ч), сваренных обычной стационарной дугой.

При внецентренном растяжении образцов, полученных обычной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, значение разрушающего напряжения металла шва σ_p находится в пределах 298...320 МПа, а в зоне сплавления — 279...300 МПа (таблица). Критический коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} , при котором начинается самопроизвольное распространение трещины, для металла шва составляет 18...24, а для зоны сплавления — 17...19 МПа√м. Пропускание тока через присадочную проволоку в про-

Показатели сопротивления разрушению сварных соединений сплава 1420 при испытании в условиях внецентренного растяжения

Исследуемый участок шва	σ_p , МПа	K_{IC} , МПа√м	J_c	УРРТ	KCV
			Дж/см ²		
Металл шва	298...320 379...402	18...24 34...50	5,3...6,1 7,1...12,4	3,0...4,8 8,3...13,6	5,4...7,3 8,5...12,0
Зона сплавления	279...300 345...371	17...19 22...24	4,2...5,5 7,1...7,9	3,9...4,8 6,3...7,8	4,9...6,3 6,7...7,8

Примечание В числителе приведены значения показателей для образцов, полученных обычной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, в знаменателе — с колебаниями сварочной ванны, возникающими в результате пропуска тока через присадку.

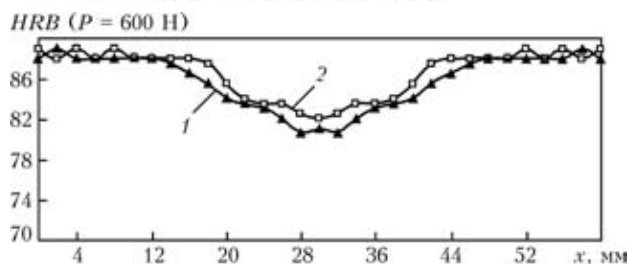


Рис. 3. Изменение твердости сварных соединений сплава 1420 толщиной 4 мм, полученных неплавящимся электродом с присадочной проволокой СвАМг63 обычной стационарной дугой (1) и с колебаниями ванны (2)

цессе сварки позволяет повысить уровень показателя σ_p до 379...402 МПа для металла шва и до 345...371 МПа для зоны сплавления. Энергетические показатели зарождения J_c и распространения трещины также возрастают более чем в 1,5 раза при сварке с колебаниями сварочной ванны по сравнению с обычной сваркой неплавящимся электродом (рис. 2). Показатель ударной вязкости KCV для металла шва увеличивается с 5,4...7,3 до 8,5...12 Дж/см², а для зоны сплавления — с 4,9...6,3 до 6,7...7,8 Дж/см².

При сварке сплава 1420 неплавящимся электродом стационарной дугой минимальная твердость в центральной части шва при $P = 600$ Н составляет HRB 84, а в металле ЗТВ HRB 91 (рис. 3). Колебания сварочной ванны, обусловленные пропуском тока через участок присадочной проволоки, способствуют повышению этих значений до HRB 87 в шве и до HRB 92 в металле ЗТВ.

Повышение прочности и снижение степени разупрочнения швов и сварных соединений в целом можно объяснить измельчением структуры швов при сварке с колебаниями сварочной ванны. Основной объем шва, сваренного с колебаниями ванны, составляют мелкие равноосные дендриты, намного меньшие по размеру от образующихся в швах, сваренных стационарной дугой (рис. 4). Уменьшение размеров зерен ограничивает микротрещину эффективными барьерами — границами зерен и кристаллитов. Вследствие этого зародившаяся микротрещина остается в пределах докритических размеров или изменяет

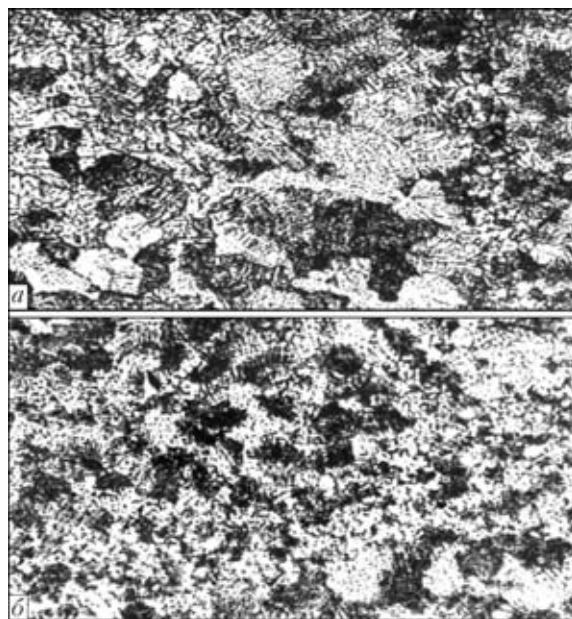


Рис. 4. Микроструктура металла шва ($\times 100$), полученного при аргодуговой сварке неплавящимся электродом стационарной дугой (а) и с колебаниями ванны (б)

свое направление при последующем распространении под воздействием внешних сил. Подобный характер разрушения может быть связан с тем, что в мелкозернистом металле у границ зерен (кристаллитов) скапливается меньше дефектов (дислокаций) [16].

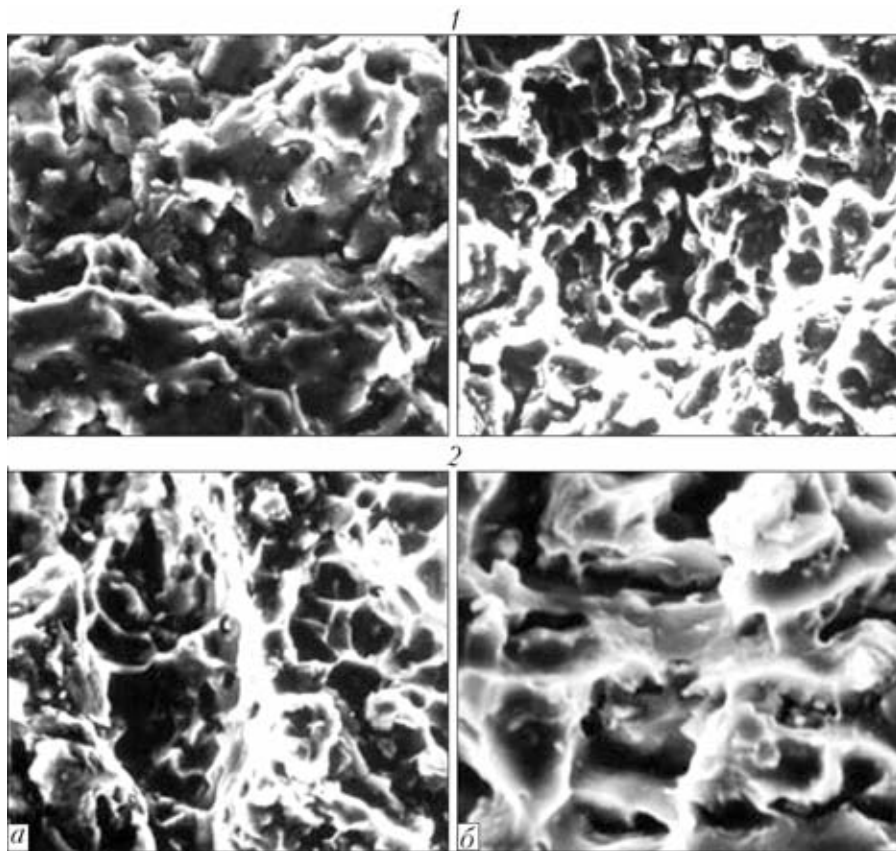


Рис. 5. Фрактограммы поверхности разрушения ($\times 500$) шва (а) и зоны сплавления (б) образцов, полученных при сварке сплава 1420 с присадочной проволокой СвАМг63 обычной стационарной дугой (1) и с колебаниями ванны (2)



Данные фрактографического анализа изломов образцов также подтверждают, что увеличение показателей сопротивления разрушению обусловлено образованием более однородной мелкодисперсной структуры в металле шва и зоне сплавления (рис. 5). На образцах, полученных стационарной дугой, отмечается большее количество хрупких участков, а доля интеркристаллитного рельефа составляет примерно 50 % площади излома. Применение сварки с колебаниями сварочной ванны способствует увеличению доли интеркристаллитного рельефа более чем в 1,5 раза.

Физической предпосылкой повышения механических характеристик сварных соединений являются динамические колебания сварочной ванны, возникающие при пропускании тока через присадочную проволоку в процессе сварки. Формирование мелкокристаллической структуры металла шва и зоны сплавления приводит к увеличению суммарной протяженности границ кристаллов, что затрудняет резкое повышение концентрации напряжений и тем самым сдерживает распространение зародившихся микротрещин.

Выводы

1. Колебания расплавленного металла сварочной ванны, обусловленные постоянным изменением давления дуги вследствие отклонения ее от вертикального положения, способствуют интенсивному перемешиванию основного и присадочного металла, дегазации расплава, разрушению включений оксидной пленки и формированию мелкокристаллической структуры швов, обеспечивая при этом стабильно высокие механические свойства швов и сварных соединений в целом.

2. Применение сварки неплавящимся электродом с колебаниями сварочной ванны способствует формированию более однородной мелкокристаллической структуры швов сплава 1420, что повышает в 2 раза уровень критического коэффициента интенсивности напряжений, а также в 1,5...2 раза стойкость металла при разрушении на этапе распространения трещины.

Physico-chemical characteristics are compared of the joints of high-strength aluminium alloy 1420 produced by nonconsumable electrode welding in argon by a regular stationary arc and by an arc deflected from the vertical axis at current passing through the filler wire. Values of welded joint strength and bending angle, as well as strength and impact toughness of weld metal are determined, when batch-produced welding wire SvAMg63 was used. Values of fracture toughness were established, which determine the level of reliability of welded joints in structure service. Features of microstructure of welds and their hardness distribution are analyzed.

1. *Лабура Т. М., Ищенко А. Я., Козун Н. С.* Статическая трещиностойкость сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов // Автомат. сварка. — 1990. — № 4. — С. 9–11.
2. *Славин Г. А.* Формирование дезориентированной структуры металла шва при наложении низкочастотных возмущений на сварочную ванну // Свароч. пр-во. — 1980. — № 6. — С. 3–5.
3. *Аргоно-дуговая сварка алюминиевых сплавов с прерывистой подачей присадочной проволоки / Г. Л. Зубриенко, Н. П. Галкин, Д. А. Гапонов и др. // Там же. — 1972. — № 4. — С. 46–47.*
4. *Оптимизация параметров режимов ручной и автоматической сварки тонколистовых алюминиевых сплавов с наложением на дугу кратковременных импульсов тока / Г. А. Славин, Н. М. Трохинская, В. И. Рязанцев и др. // Там же. — 1986. — № 1. — С. 14–15.*
5. *Влияние параметров низкочастотной модуляции разнополярного тока прямоугольной формы на структуру шва при сварке алюминиевых сплавов / А. Я. Ищенко, А. Г. Покляцкий, А. В. Лозовская и др. // Автомат. сварка. — 1990. — № 9. — С. 23–27.*
6. *Современные способы дуговой сварки алюминиевых сплавов (Обзор) / А. Я. Ищенко, И. В. Довбищенко, В. П. Будник и др. // Там же. — 1994. — № 5/6. — С. 35–37.*
7. *Hiroshi M., Yoshinori H., Hiroshi M.* Rectangular wave AC TIG arc welding of aluminium alloy // Quarterly J. Jap. Welding Soc. — 1989. — № 1. — P. 63–69.
8. *Черныш В. П.* Использование магнитных полей при электродуговой сварке // Вопросы механики и машиностроения. — Киев: Киевский ун-т. — 1964. — С. 146–152.
9. *Бачелис И. А.* Магнитное управление сварочной дугой // Свароч. пр-во. — 1965. — № 1. — С. 17–19.
10. *Бачелис И. А., Варламов И. В.* Перемещение электрической дуги в магнитном поле // Автомат. сварка. — 1966. — № 5. — С. 45–48.
11. *Мечев В. С.* Амплитуда колебаний электрической дуги в переменном магнитном поле // Свароч. пр-во. — 1968. — № 3. — С. 9–11.
12. *Jayarajen T. N., Jackson C. E.* Magnetic control of gas tungsten-arc welding process // Welding J. — 1972. — 51, № 8. — P. 377–385.
13. *Wendler H. D.* Die magnetische Beeinflussung des Schweißlichtbogens. — Otto-von-Guericke, Magdeburg, 1970. — 14, № 7. — S. 741–744.
14. *Бродягина И. В.* Дуговая сварка алюминиевых сплавов с использованием магнитных полей // Свароч. пр-во. — 1998. — № 9. — С. 48–51.
15. *Черныш В. П.* Электромагнитное перемешивание сварочной ванны и качество наплавленного металла // Вестн. КПИ. Сер. машиностроение. — 1968. — № 5. — С. 61–67.
16. *Разрушение / Под ред. Г. Т. Либовица. — Т. 6. Разрушение металлов; пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — 496 с.*
17. *Статическая прочность и механика разрушения сталей / Под ред. В. Даля, В. Антона; пер. с нем. — М.: Металлургия, 1986. — 565 с.*

Поступила в редакцию 15.07.2005



ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ОБРАЗЦА ШАРПИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ

В. П. ДЯДИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложен подход к оценке ударной вязкости образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металлопроката. Выполнен анализ полученных аналитических зависимостей и определены основные параметры, характеризующие их изменения. Предложена простая инженерная зависимость, позволяющая оценить изменение ударной вязкости образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от степени пластического деформирования при изготовлении и монтаже элементов металлоконструкций.

Ключевые слова: сварное соединение, ударная вязкость, образцы Шарпи, вязкое разрушение, деформационное старение, верхний шельф, пластическая деформация

При аналитическом подтверждении устойчивой связи между значениями ударной вязкости образцов Шарпи и Менаже на верхнем шельфе [1] критический угол изгиба образца Шарпи $\theta_{1к}$ в момент зарождения разрушения оценивали через деформацию ε_f , соответствующую потере пластической устойчивости материала ε_b :

$$\varepsilon_b = n/(1 - n), \quad (1)$$

где n — деформационное упрочнение материала.

Как было отмечено в работах [1, 2], угол изгиба $\theta_{1к}$ образца Шарпи в этом случае можно выразить зависимостью

$$\theta_{1к} = 3\varepsilon_b((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{1/(1+n)}, \quad (2)$$

где ρ — радиус надреза ($\rho = 0,25$ мм); r — расстояние от вершины надреза, соизмеримое с характерным средним размером структурного элемента ($r = 0,05...0,1$ мм); K_v — коэффициент концентрации упругих напряжений в вершине надреза образца Шарпи ($K_v = 3,44$) [3]; ε_b — деформация, соответствующая условному временному сопротивлению материала σ_b .

При принятом допущении было показано хорошее соответствие между экспериментальными и теоретическими результатами.

В данной статье рассматривается возможность оценки относительного изменения ударной вязкости разрушения образца Шарпи в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металлопроката. В случае решения этой задачи появляется практическая возможность скорректировать требования к ударной вязкости с учетом ее возможного снижения в зависимости

от прогнозируемого пластического деформирования элемента конструкции, что позволит расширить практическое применение критериев механики разрушения [4] при проектировании и расчете конструкций на прочность и более обоснованно подойти к выбору конструкционных материалов в случае появления пластических деформаций.

Так, например, это может быть полезным при оценке трещиностойкости материала локализованных повреждений магистральных трубопроводов, подвергающихся пластическим деформациям в процессе монтажа, в случаях подвижки грунтов, температурных воздействий и т. д. [5].

Исходя из соотношений (1), (2), работ [1, 2] и задавая истинную кривую деформирования материала степенным законом упрочнения

$$\sigma = \sigma_{0,2}(\varepsilon/\varepsilon_T)^n, \quad (3)$$

удельную работу распространения a_v^p трещины и зарождения разрушения a_v^3 образца Шарпи при статическом нагружении можно записать в виде

$$a_v^p = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{n/(1+n)}(B - L) \times \\ \times k_2(\sigma_b(1 + \varepsilon_b))^2\varepsilon_b/(4\sigma_{0,2}), \quad (4)$$

$$a_v^3 = ((1 + 4r/\rho^3)/K_v^2)(B - L) \times \\ \times 3k_1(\sigma_b\varepsilon_b(1 + \varepsilon_b))/(4(1 + n)), \quad (5)$$

где ε_T — деформация, при которой определяется соответствующий условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ материала; k_1 — коэффициент стеснения для образца Шарпи, равный 1,25 [3]; k_2 — средний коэффициент стеснения для стандартного образца Шарпи в момент развития разрушения, равный 1,26; $(B - L)$ — высота образца под надрезом, равная 8 мм [1].



Полная работа разрушения образца Шарпи ($a_v = a_v^p + a_v^3$) в этом случае может быть представлена в виде

$$a_v = \frac{1 + 4r/\rho_v}{K_v^2} (B - L) \sigma_B \varepsilon_B (1 + \varepsilon_B) [k_2 \sigma_B (1 + \varepsilon_B) \times \\ \times ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{-1/(1+n^*)} / (4\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} + 3k_1/(4(1+n^*)))]. \quad (6)$$

Для учета влияния пластических деформаций на изменение работы разрушения образца Шарпи рассмотрим образец, изготовленный из того же материала, но предварительно деформированный на величину ε в направлении его длины.

Если пренебречь деформационным старением материала, то исходя из условной кривой деформирования (рис. 1), удельная работа распространения $a_v^{p(\varepsilon)}$ и зарождения разрушения $a_v^{3(\varepsilon)}$ образца Шарпи в этом случае могут быть описаны аналогичными зависимостями:

$$a_v^{p(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{n^*/(1+n^*)} (B - L) k_2 \times \\ \times \sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B^{(\varepsilon)})^2 \varepsilon_B^{(\varepsilon)} / (4\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}), \quad (7)$$

$$a_v^{3(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2) (B - L) 3k_1 \sigma_B^{(\varepsilon)} \varepsilon_B^{(\varepsilon)} \times \\ \times (1 + \varepsilon_B^{(\varepsilon)}) / (4(1 + n^*)), \quad (8)$$

где $\varepsilon_B^{(\varepsilon)} = \varepsilon_B - \varepsilon$; $n^* = \varepsilon_B^{(\varepsilon)} / (1 + \varepsilon_B^{(\varepsilon)})$; $\varepsilon_T^{(\varepsilon)}$ — деформация, при которой определяется соответствующий предел текучести $\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}$; $\varepsilon_B^{(\varepsilon)}$ — деформация, соответствующая условному временному сопротивлению $\sigma_B^{(\varepsilon)}$.

Соответственно общая работа разрушения $a_v^{(\varepsilon)}$:

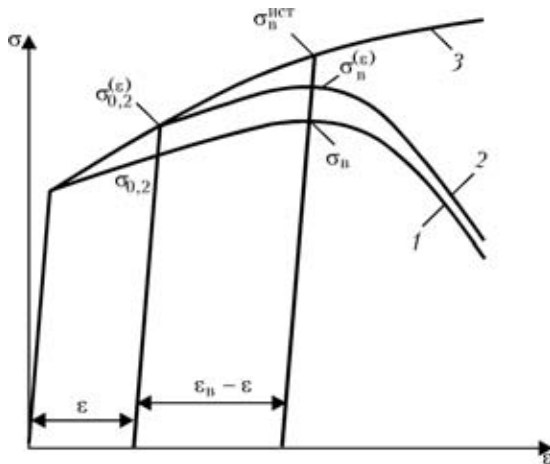


Рис. 1. Условные (1, 2) и истинная (3) диаграммы растяжения в случае предварительного деформирования заготовки на величину ε

$$a_v^{(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2) (B - L) \sigma_B^{(\varepsilon)} \varepsilon_B^{(\varepsilon)} \times \\ \times (1 + \varepsilon_B^{(\varepsilon)}) [k_2 \sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B^{(\varepsilon)}) \times \\ \times ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{-1/(1+n^*)} / (4\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} + 3k_1/(4(1+n^*)))]. \quad (9)$$

Выражая $\varepsilon_B^{(\varepsilon)}$ через ε_B и ε , зависимости (7)–(9) могут быть записаны в виде

$$a_v^{p(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{n^*/(1+n^*)} (B - L) \times \\ \times k_2 (\sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B - \varepsilon))^2 (\varepsilon_B - \varepsilon) / (4\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}), \quad (10)$$

$$a_v^{3(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2) (B - L) 3k_1 \times \\ \times \sigma_B^{(\varepsilon)} (\varepsilon_B - \varepsilon) (1 + \varepsilon_B - \varepsilon) / (4(1 + n^*)), \quad (11)$$

$$a_v^{(\varepsilon)} = ((1 + 4r/\rho)/K_v^2) (B - L) \sigma_B^{(\varepsilon)} (\varepsilon_B - \varepsilon) \times \\ \times (1 + \varepsilon_B - \varepsilon) [(k_2 \sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B - \varepsilon) \times \\ \times ((1 + 4r/\rho)/K_v^2)^{-1/(1+n^*)} / (4\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} + 3k_1/(4(1+n^*)))], \quad (12)$$

где

$$n^* = (\varepsilon_B - \varepsilon) / (1 + \varepsilon_B - \varepsilon). \quad (13)$$

Полученные уравнения позволяют оценить изменение работы разрушения образца Шарпи на разных стадиях вязкого разрушения в зависимости от прочностных характеристик и предварительного пластического деформирования ε . В этом случае изменение удельной работы зарождения и распространения вязкого разрушения в образце Шарпи при статическом нагружении, исходя из (4), (5), (10), (11) может быть представлено следующими зависимостями:

$$a_v^3/a_v^{3(\varepsilon)} = \left(\frac{\sigma_B \varepsilon_B (1 + \varepsilon_B) (1 + n^*)}{\sigma_B^{(\varepsilon)} (\varepsilon_B - \varepsilon) (1 + \varepsilon_B - \varepsilon) (1 + n)} \right), \quad (14)$$

$$a_v^p/a_v^{p(\varepsilon)} = \left(\frac{1 + \frac{4r}{\rho}}{K_v^2} \right)^{\frac{n}{1+n} - \frac{n^*}{1+n^*}} \times \\ \times \frac{(\sigma_B (1 + \varepsilon_B))^2 \varepsilon_B \sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}}{\sigma_{0,2} (\sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B - \varepsilon))^2 (\varepsilon_B - \varepsilon)}. \quad (15)$$

Отношение полных работ статического разрушения образца Шарпи, исходя из зависимостей (6), (12), имеет вид

$$a_v/a_v^{(\varepsilon)} = \frac{\sigma_B (1 + \varepsilon_B) \varepsilon_B}{\sigma_B^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_B - \varepsilon) (\varepsilon_B - \varepsilon)} \times \quad (16)$$



$$\frac{k_2 \sigma_{\varepsilon} (1 + \varepsilon_{\varepsilon}) ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n}} / \sigma_{0,2} + 3k_1 / (1+n)}{k_2 \sigma_{\varepsilon}^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_{\varepsilon} - \varepsilon) ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n^*}} / \sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} + 3k_1 / (1+n^*)}$$

Если не учитывать деформационное старение материала, зависимости (14)–(16) могут быть несколько упрощены. Истинное напряжение $\sigma_{\text{ист}}$ на диаграмме растяжения (см. рис. 1) не зависит от степени предварительного деформирования материала до момента образования шейки [6]. Для точки $\sigma_{\text{ист}}^{\text{ист}}$ в этом случае на действительной диаграмме растяжения, соответствующей пределу прочности материала в зависимости от степени предварительного деформирования материала ε , можно записать следующее равенство:

$$\sigma_{\text{ист}}^{\text{ист}} = \sigma_{\text{B}} (1 + \varepsilon_{\text{B}}) = \sigma_{\text{B}}^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_{\text{B}}^{(\varepsilon)}) = \sigma_{\text{B}}^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_{\text{B}}^{(\varepsilon)} - \varepsilon). \quad (17)$$

Таким образом, зная начальные прочностные характеристики металла (σ_{B} , ε_{B}) для определения степени его предварительной деформации ε достаточно определить текущее значение $\sigma_{\text{B}}^{(\varepsilon)}$. Последнее может быть определено неразрушающими методами контроля (например, по твердости при технической диагностике наиболее нагруженных элементов конструкции).

Исходя из выражений (1), (13) и (17) зависимости (14)–(16) могут быть соответственно упрощены:

$$a_v^3 / a_v^{3(\varepsilon)} = \left(\frac{\varepsilon_{\text{B}} (1 + n^*)}{(\varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon) (1 + n)} \right) = \frac{\varepsilon_{\text{B}} (1 + \varepsilon_{\text{B}}) (1 + 2\varepsilon_{\text{B}} - 2\varepsilon)}{(\varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon) (1 + \varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon) (1 + 2\varepsilon_{\text{B}})}, \quad (18)$$

$$a_v^p / a_v^{p(\varepsilon)} = \left(1 + \frac{4r}{\rho} \right)^{\frac{1}{1+n} \frac{n}{1+n^*}} \frac{\varepsilon_{\text{B}} \sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}}{\sigma_{0,2} (\varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon)}, \quad (19)$$

$$a_v / a_v^{(\varepsilon)} = \quad (20)$$

$$\frac{\varepsilon_{\varepsilon}}{(\varepsilon_{\varepsilon} - \varepsilon)} \frac{k_2 \sigma_{\varepsilon} (1 + \varepsilon_{\varepsilon}) ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n}} / \sigma_{0,2} + 3k_1 / (1+n)}{k_2 \sigma_{\varepsilon}^{(\varepsilon)} (1 + \varepsilon_{\varepsilon}) ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n^*}} / \sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} + 3k_1 / (1+n^*)}$$

Используя соотношения (3), (17) при $\varepsilon \geq \varepsilon_{\text{r}}$, предел текучести $\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}$ может быть выражен в виде

$$\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)} = \sigma_{\text{ист}}^{\text{ист}} (\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}})^n = \sigma_{\text{B}} (1 + \varepsilon_{\text{B}}) (\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}})^n. \quad (21)$$

В этом случае, учитывая зависимость (21), выражения (19), (20) дополнительно упрощаются:

$$a_v^p / a_v^{p(\varepsilon)} = \left(1 + \frac{4r}{\rho} \right)^{\frac{1}{1+n} \frac{n}{1+n^*}} \frac{\varepsilon_{\text{B}} \sigma_{0,2} (1 + \varepsilon_{\text{B}}) (\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}})^n}{\sigma_{0,2} (\varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon)}, \quad (22)$$

$$a_v / a_v^{(\varepsilon)} = \frac{\varepsilon_{\text{B}}}{(\varepsilon_{\text{B}} - \varepsilon)} \times \quad (23)$$

$$\frac{k_2 \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\sigma_{0,2}} \right) (1 + \varepsilon_{\varepsilon}) ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n}} + 3k_1 / (1+n)}{k_2 \left(\frac{\varepsilon_{\varepsilon}}{\varepsilon} \right)^n ((1 + 4r / \rho) / K_v^2)^{\frac{-1}{1+n^*}} + 3k_1 / (1+n^*)}$$

Как видно из выражения (18), относительное изменение работы зарождения вязкого разрушения образца Шарпи при статическом нагружении полностью характеризуется начальной равномерной деформационной способностью металла ε_{B} и предварительной деформацией ε . Общий график относительного изменения работы зарождения образца Шарпи в зависимости от исходного значения равномерной пластической деформации ε_{B} и величины $\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}}$ представлен на рис. 2.

Исходя из зависимости (22) следует, что относительное изменение работы распространения разрушения образца Шарпи зависит от начальных прочностных характеристик металла (σ_{B} , $\sigma_{0,2}$, ε_{B}), размера зоны r и величины ε .

На рис. 3 приведены графики изменения величины $a_v^p / a_v^{p(\varepsilon)} (\sigma_{\text{B}}^{p(\varepsilon)} / \sigma_{\text{B}})$ от исходного значения равномерной деформации ε_{B} , величины $\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}}$ и эле-

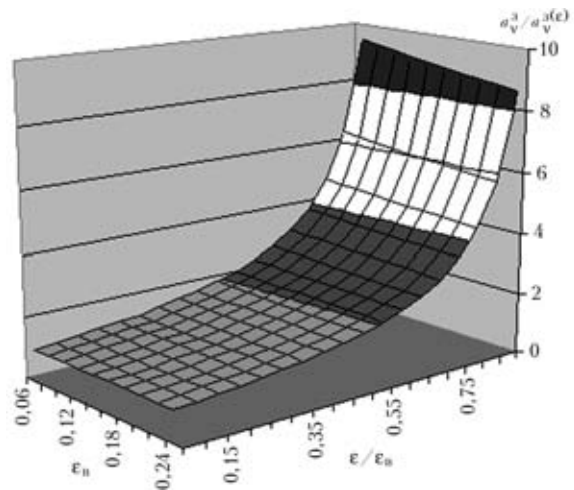


Рис. 2. Относительное изменение работы зарождения вязкого разрушения образца Шарпи ($a_v^3 / a_v^{3(\varepsilon)}$) в зависимости от исходного значения равномерной пластической деформации ε_{B} и величины $\varepsilon / \varepsilon_{\text{B}}$

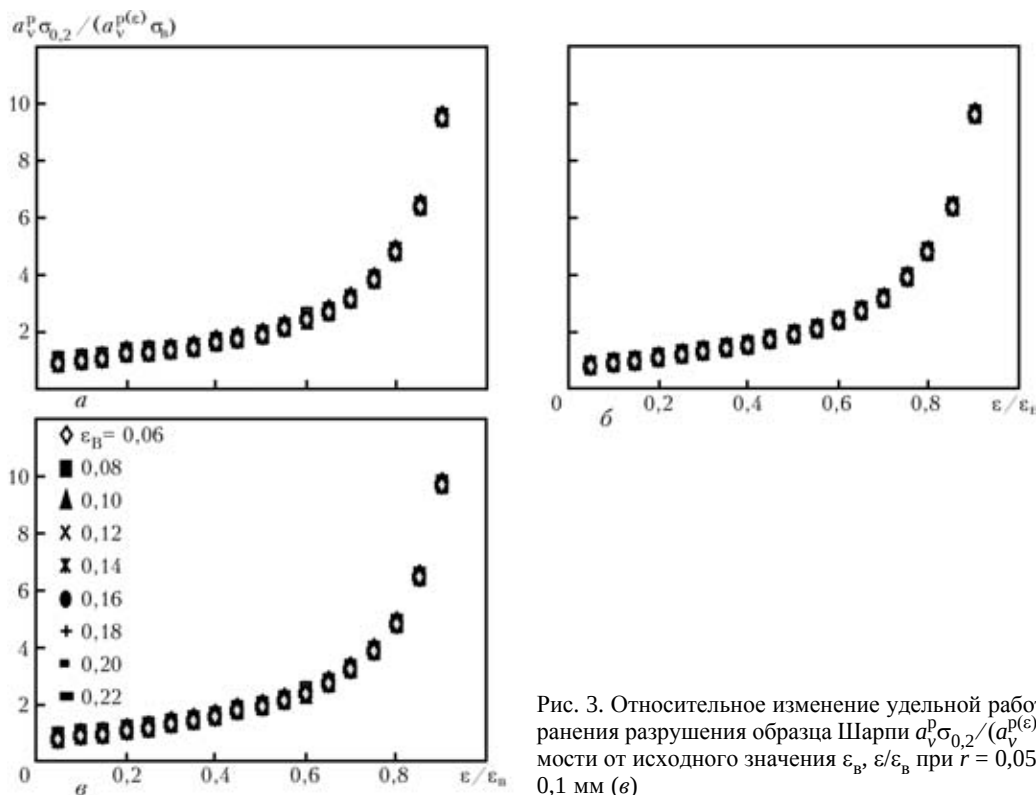


Рис. 3. Относительное изменение удельной работы распространения разрушения образца Шарпи $a_V^p \sigma_{0,2} / (a_V^{p(\varepsilon)} \sigma_B)$ в зависимости от исходного значения ε_B , $\varepsilon / \varepsilon_B$ при $r = 0,05$ (а); 0,07 (б); 0,1 мм (в)

мента r . Как видно из рисунка, изменение величины r в представленном диапазоне (0,05...0,1 мм) очень слабо влияет на значения $a_V^p \sigma_{0,2} / (a_V^{p(\varepsilon)} \sigma_B)$, что позволяет в ряде случаев для упрощения дальнейших оценок принять ее равным некоторому среднему размеру ($r \approx 0,06$ мм) [1, 2].

Зная начальные прочностные характеристики металла (σ_B , $\sigma_{0,2}$, ε_B), уравнение (23) вполне пригодно для практической оценки изменения вязкости разрушения образца Шарпи в зависимости от степени предварительной деформации.

Следует отметить, что прямое экспериментальное определение величины ε_B в инженерной практике встречает некоторые затруднения. В частности, при поставке материала заводом-изготовителем гарантируются только минимальные значения механических характеристик σ_B , $\sigma_{0,2}$, и, как следствие, требования к степени однородной деформации оказываются неопределенными. В связи с этим прямое использование величины ε_B при оценке прочностных свойств и проектировании конструкций не применяется (в данном случае в сертификатах приводятся только значения относительного удлинения, которое имеет ограничение снизу, что позволяет косвенно судить о пластической способности материала). Для устранения данного недостатка в работе [7] при установлении корреляционной зависимости между сертификатными значениями σ_B , $\sigma_{0,2}$ и величиной ε_B исследовано семь наиболее широко используемых конструкционных сталей с различными начальными

механическими свойствами и формами поведения кривой деформирования. В результате выполненных исследований получена упрощенная корреляционная зависимость (числовые коэффициенты округлены до сотых значений):

$$n = -0,18 + 0,22 \sigma_B / \sigma_{0,2}, \quad (24)$$

где n определяется из выражения (1). Как следует из (24), показатель деформационного упрочнения в данном случае имеет ограничение снизу, равное 0,04 ($\varepsilon_B \approx 0,041$), что примерно соответствует деформации при определении условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ с поправкой на пластичность 0,2 %.

Принимая во внимание (24), появляется возможность графического анализа выражения (23) в зависимости от пластических свойств ε_B и относительного предварительного пластического деформирования $\varepsilon / \varepsilon_B$ материала. На рис. 4 графически представлен общий характер изменения зависимости (23) с учетом выражений (1), (13) и (24).

Как видно из рис. 4, при увеличении относительной предварительной деформации $\varepsilon / \varepsilon_B$ свыше 50 % отмечается значительное падение вязкости разрушения образца Шарпи. Косвенным подтверждением последнего служат также экспериментальные данные, полученные в работе [8]. Кроме того, значительное падение вязкости образца Шарпи может иметь место и при малых значениях предварительной пластической деформации материала ε , если последний имеет низкий запас пластичности.

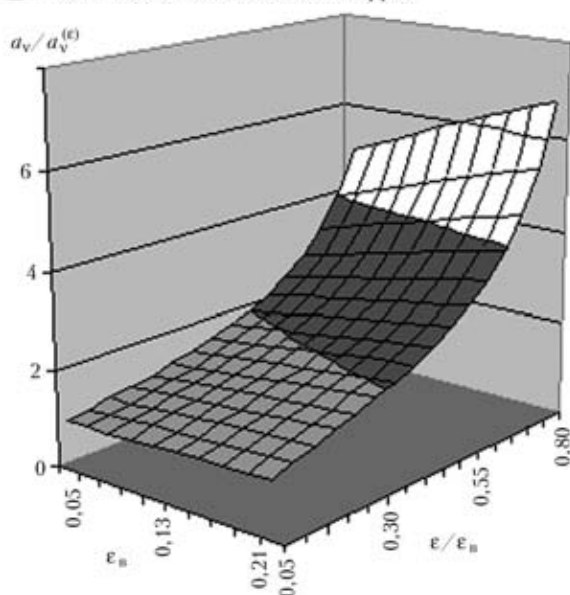


Рис. 4. Расчетные значения относительного изменения работы вязкого разрушения образца Шарпи $a_v/a_v^{(e)}$ в зависимости от степени предварительной пластической деформации ϵ/ϵ_B

Как отмечалось в работе [1], полученные квазистатические зависимости по оценке работ разрушения (a_v , a_v^p , a_v^3) образца Шарпи можно распространить и на случай динамического нагружения.

Для оценки правомерности принятых выше допущений и подходов к оценке работы разрушения образца Шарпи [2] выполнена экспериментальная проверка полученных зависимостей на примере листового проката из стали 09Г2С-Ш толщиной 70 мм.

Для исключения влияния неоднородности свойств металлопроката в направлении толщины исследовали слой металла толщиной 14 мм, находящийся на глубине 15 мм от поверхности листа. Схема вырезки и расположение образцов представлены на рис. 5. Подготовленные плоские образцы МИ-7 подвергали различной равномерной пластической деформации на 5, 7,5 и 10 %, после чего часть заготовок выдерживали в печи при температуре 150 и 250 °С в течение часа для определения влияния деформационного старения на прочностные характеристики металла. В дальнейшем из полученных заготовок изготавливали образцы на растяжение МИ-12 и ударную вязкость МИ-50.

Время после предварительной деформации плоских заготовок, выдержки их в печи и проведении стандартных испытаний на растяжение и ударный изгиб составило 20 суток.

Результаты испытаний на растяжение образцов МИ-12, изготовленных из исследуемых заготовок, приведены в табл. 1. Определение деформации осуществлялось на базе 30 мм при помощи датчиков перемещения.

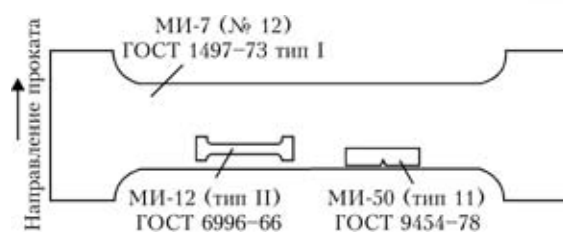


Рис. 5. Схема вырезки и расположение образцов

Т а б л и ц а 1. Прочностные характеристики исследуемой заготовки из стали 09Г2С-Ш после различных видов обработки

Степень деформирования, %	$\sigma_{0,2}^{(e)}$, МПа	$\sigma_B^{(e)}$, МПа	$\epsilon_B^{(e)}$, %	δ , %	$\sigma_{ист}^{(e)}$, МПа
$\epsilon = 0$	280	450	0,190	39,1	535
$\epsilon = 5$	392	475	0,145	35,6	544
$\epsilon = 7,5$	435	483	0,106	28,6	534
$\epsilon = 10$	474	502	0,096	26,6	550
$\epsilon = 5, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	393	471	0,134	34,4	534
$\epsilon = 7,5, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	424	474	0,126	32,2	534
$\epsilon = 10, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	465	496	0,090	27,9	540
$\epsilon = 5, 250\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	421	475	0,115	34,4	530
$\epsilon = 7,5, 250\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	465	498	0,106	29,6	550
$\epsilon = 10, 250\text{ }^{\circ}\text{C}, 1\text{ ч}$	493	512	0,070	23,7	548

Как видно из табл.1, истинное напряжение $\sigma_B^{ист}$ в точке потери пластической устойчивости практически не зависит от предварительного деформирования и степени деформационного старения металла, что, в свою очередь, позволяет в дальнейшем несколько расширить область использования выражения (17) (в данном случае имеется в виду первая часть равенства $\sigma_B(1 + \epsilon_B) = \sigma_B^{(e)}(1 + \epsilon_B^{(e)})$).

Значения ударной вязкости образцов Шарпи по нижнему разбросу данных приведены в табл. 2.

На рис. 6 представлен график изменения ударной вязкости KV на верхнем шельфе в зависимости от степени предварительного деформирования ϵ , там же приведены расчетные значения по формуле (23) с учетом выражения (24). В связи с тем, что ударные испытания проводили на копре с запасом энергии 300 Дж, а вязкость разрушения KV образца Шарпи при $\epsilon = 0\%$ на верхнем шельфе значительно превысила это значение, расчетные

Т а б л и ц а 2. Результаты ударных испытаний стали 09Г2С-Ш

Степень деформирования, %	KV, Дж, при температуре, °С						
	+20	0	-20	-30	-40	-60	-80
$\epsilon = 0$	>300	>300	>300	240	187,2	165,5	7,2
$\epsilon = 5$	293,4	>300	216	184,2	175,2	18,6	6,0
$\epsilon = 7,5$	224,4	204	213,6	184,2	81,6	4,8	3,0
$\epsilon = 10$	201,6	283,8	192	153,6	4,8	4,8	4,8

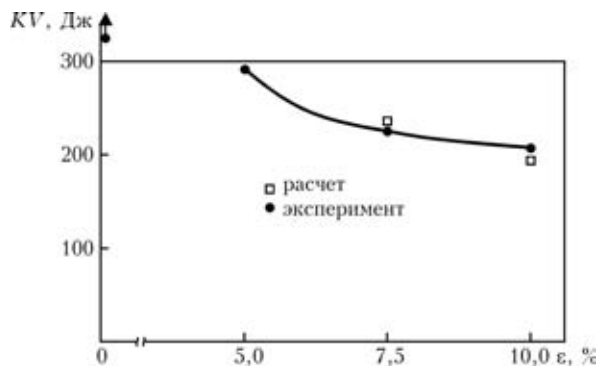


Рис. 6. Изменение ударной вязкости KV образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от степени предварительного деформирования

данные по формуле (23) приведены относительно экспериментальных данных при $\varepsilon = 5\%$.

Как видно из рис. 6, расчетные значения KV достаточно хорошо согласуются с экспериментальными, что свидетельствует о возможности использования данного подхода для корректировки требований к ударной вязкости на верхнем шельфе в случае возможного пластического деформирования элементов металлоконструкций.

Кроме того, обнаруженная слабая зависимость истинного напряжения $\sigma_{\text{ист}}^{\text{ст}}$ в точке потери пластической устойчивости от предварительного деформирования и степени деформационного старения металла ($\sigma_{\text{в}}(1 + \varepsilon_{\text{в}}) \approx \sigma_{\text{в}}^{(\varepsilon)}(1 + \varepsilon_{\text{в}}^{(\varepsilon)})$) по всей видимости позволяет в дальнейшем несколько расширить область использования полученных выражений и на зону термического влияния сварных соединений.

Выводы

1. Получены аналитические зависимости, позволяющие оценить относительное изменение удельной работы зарождения и распространения вязкого разрушения в образцах Шарпи в зависимости от пластического деформирования ε , $\varepsilon_{\text{в}}$ и структурного параметра r .

2. Предложено простое выражение для определения возможного снижения ударной вязкости образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от величины пластического деформирования металлопроката.

1. Дядин В. П. Сопоставление значений ударной вязкости образцов Шарпи и Менаже при вязком разрушении // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 24–29.
2. Гиренко В. С. Расширение областей применения механики разрушения при оценке трещиностойкости элементов сварных конструкций в условиях статического нагружения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 1997. — 35 с.
3. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Пер. с англ. И. А. Нечая, И. П. Сухарева, Б. Н. Ушакова. — М.: Мир, 1977. — 302 с.
4. Лобанов Л. М., Гиренко В. С., Дядин В. П. Стандартные механические испытания и трещиностойкость элементов сварных конструкций в условиях статического нагружения // Механіка руйнування металів і міцність конструкцій. — Львів, 1999. — Т. 1, вип. 2.
5. О старении и оценке состояния металла эксплуатируемых магистральных трубопроводов / Б. Е. Патон, С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 7. — С. 3–12.
6. Русинко К. Н. Теория пластичности и неустановившейся ползучести. — Львов: Вища шк., 1981. — 148 с.
7. Дядин В. П. Разработка метода оценки сопротивления материалов и сварных соединений стабильному росту трещин в условиях статического нагружения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1998. — 20 с.
8. Потак Я. М. Хрупкие разрушения стали и стальных деталей. — М., 1955. — 389 с.

An approach is proposed to evaluation of upper shelf impact toughness of a Charpy sample depending on the degree of plastic pre-deformation of metal rolled stock. The derived analytical dependencies have been analyzed, and the main parameters have been determined, characterizing their change. A simple engineering dependence is proposed, which allows evaluation of the change of upper shelf impact toughness of a Charpy sample depending on the degree of plastic deformation in fabrication and assembly of metal structure elements.

Поступила в редакцию 29.09.2005



ЛАЗЕРНАЯ И ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

В. Д. ШЕЛЯГИН, В. Ю. ХАСКИН, кандидаты техн. наук,
А. В. СИОРА, А. В. БЕРНАЦКИЙ, Е. И. ГОНЧАРЕНКО, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Т. Г. ЧИЖСКАЯ, инж. (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Определено влияние аргона, углекислого газа и их смеси на особенности лазерной и гибридной сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Установлено положительное влияние применения защитной газовой смеси. Показано, что повышение мощности дуговой составляющей при гибридной сварке с лазерным излучением мощностью 1...2 кВт приводит к нивелированию гибридного эффекта. При этом стабилизация дуги и ее привязки лазерным излучением сохраняются, что позволяет повысить скорость сварки или глубину проплавления при сварке с разделкой кромок.

Ключевые слова: лазерная сварка, низкоуглеродистые и низколегированные стали, непрерывное излучение, пониженная мощность, электродная проволока, дуга, гибридный процесс, сталь, металлографическое исследование, структура, твердость

При выборе защитных газов для лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки необходимо учитывать, что газовая среда должна обеспечивать надежную защиту расплавленного и нагретого металла от воздуха для предотвращения образования оксидов и нитридов. При этом желательно, чтобы расход защитного газа и его стоимость были минимальны. Защитная среда и образующаяся в ней лазерная плазма должны быть максимально прозрачными для лазерного излучения. Плазма состоит из ионизированного лазерным излучением защитного газа и паров металла, выходящих из парогазового канала [1]. Недопустимо образование так называемой плазменной линзы, перефокусирующей излучение.

Исходя из этих условий для сварки углеродистых сталей обычно применяют углекислый газ, а в редких случаях — аргон. Однако первый снижает ударную вязкость металла шва при отрицательных температурах, что значительно ограничивает его применение для сварки ответственных металлоконструкций, а аргон способствует возникновению плазмы, перефокусирующей и поглощающей значительную долю (до 2/3 общей мощности) излучения CO₂-лазеров [2]. Для уменьшения этого эффекта используют различные схемы подачи защитного газа, которые в основном базируются на продувке под определенным углом относительно оси излучения [3]. Однако при гибридной сварке аргон способствует струйно-вращательному переносу электродного металла, уве-

личению сварочного тока и образованию подрезов верхнего валика усиления.

Для лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки желательно использовать такие газы или их смеси, которые позволяют устранить указанные недостатки, повысить скорость сварки, увеличить глубину проплавления и снизить склонность металла шва к образованию пор [4, 5]. К таким газам в первую очередь относятся гелий и его смеси с аргонном. Однако существенным недостатком гелия является его значительная стоимость, особенно при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Положительное влияние оказывает также углекислый газ, который позволяет повысить эффективность плавления электродного и основного металлов.

В настоящей работе рассмотрены особенности лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки тонколистовых низкоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе, аргоне и их смеси (80 % Ar + 20 % CO₂) [5]. Одним из примеров практического применения таких способов сварки является крупносерийная сварка бытовых баллонов низкого (до 2,4 МПа) давления. Предположительно она может заменить сварку вращающейся дугой, при которой получают швы со слишком большим (2...3 мм) усилением и внутренним гратом. Основным условием технологии этого способа сварки является использование сравнительно недорогого технологического лазера. В качестве такового выбран быстропроточный CO₂-лазер непрерывного действия с поперечной прокачкой смеси, генерирующий излучение мощностью до 2 кВт с кольцевым распределением интенсивности в поперечном сечении (например, типа «Плутон-2» или УЛГ-2). С учетом потерь мощности при транспортировке и фокусировании из-

Таблица 1. Результаты металлографических исследований образцов, выполненных лазерной сваркой

Защитный газ	Микротвердость структурных составляющих металла сварных соединений низкоуглеродистой стали									Балл зерна	
	Шов			ЗТВ							
				Участок крупного зерна			Участок мелкого зерна				
	Ф	П	Б	Ф	П	Б	Ф	П	Б	Участок крупного зерна	Участок мелкого зерна
Ar	250	—	260...290	Следы	—	260...280	189	200...210	—	7	10
CO ₂	190...220	Следы	—	185...190	Следы	—	195	—	230...240	7	10
80 % Ar+ +20 % CO ₂	230...260	260...270	290...300	220...240	» »	Следы	190...210	Следы	—	6	9...10

лучения линзой с фокусным расстоянием $F = 300$ мм на деталь при проведении технологических экспериментов установлена необходимая мощность — 1,5 кВт.

Для определения влияния защитного газа, скорости сварки и сварочного тока на изменение глубины проплавления проведен ряд сравнительных экспериментов с использованием лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки в аргоне, углекислом газе и их смеси (80 % Ar + 20 % CO₂). Сварку выполняли встык без разделки кромок. Основным металл образцов толщиной $\delta = 2$ мм, впоследствии свариваемый лазерной сваркой, имел следующий химический состав, мас. %: 0,1 С; 0,024 Si; 0,8 Mn; 0,003 S; 0,013 P; 0,03 Cr; 0,03 Ni; менее 0,03 Mo; менее 0,02 Cu; менее 0,02 V. Сварку гибридным способом осуществляли на образцах из стали СтЗпс ($\delta = 5$ мм).

Техника лазерной и гибридной сварки описана в работах [6, 7]. Лазерную сварку выполняли на следующем режиме: мощность сфокусированного излучения $P_0 = 1,5$ кВт; скорость сварки $v_{св} = 40$ м/ч; заглубление фокуса $\Delta F = -1$ мм; расход каждого из указанных выше защитных газов 7 л/мин. При гибридной сварке использовали следующий режим: $P_0 = 1,5$ кВт, $v_{св} = 45$ м/ч, $\Delta F = -2...-3$ мм, скорость подачи электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм $v_{пр} = 400$ м/ч, расход каждого из защитных газов 15 л/мин. При этом сварочный ток

$I_{св}$ для углекислого газа, газовой смеси и чистого аргона составлял соответственно 200, 250 и 300 А.

Установлено, что при сварке излучением CO₂-лазера использованные защитные газы влияют на глубину проплавления незначительно. Существенное влияние на этот параметр оказывают мощность лазерного излучения и расположение фокуса относительно поверхности образца. При лазерной сварке использование газовой смеси увеличивает ширину проплавления, а при гибридной — глубину. Влияние скорости сварки и сварочного тока на глубину проплавления при гибридной и дуговой сварке плавящимся электродом в углекислом газе и смеси показано на рис. 1 и 2. Для увеличения глубины проплавления при гибридной сварке без повышения лазерной мощности необходимо выполнять V-образную разделку кромок стыкового соединения и заглублять фокус. С возрастанием мощности дуги при неизменной и сравнительно небольшой мощности излучения проявление гибридного эффекта заметно меньше [8].

Для металлографических исследований структуры сварных швов, выполненных лазерной и гибридной сваркой с различной газовой защитой, образцы травили в 4%-м растворе азотной кислоты в спирте, структуру их металла изучали с помощью оптического микроскопа «Neophot-32» при увеличениях от 25 до 500 крат. Измерение

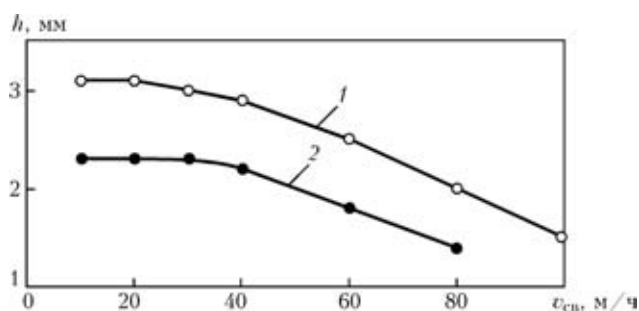


Рис. 1. Зависимости глубины проплавления h от скорости $v_{св}$ гибридной (1) и дуговой (2) сварки при выполнении швов на стали СтЗпс ($\delta = 5$ мм) электродной проволокой диаметром 1,2 мм: 1 — $I_{св} = 200$; 2 — 300 А

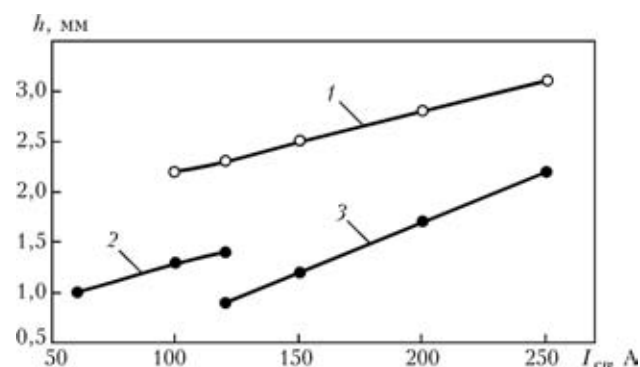


Рис. 2. Зависимости глубины проплавления h от сварочного тока $I_{св}$ при гибридной сварке электродной проволокой диаметром 1,2 мм (1) и дуговой сварке электродной проволокой диаметром 0,8 (2) и 1,2 мм (3) при $P_0 = 1,5$ кВт; $\Delta F = -1...-2$ мм; $v_{св} = 40$ м/ч

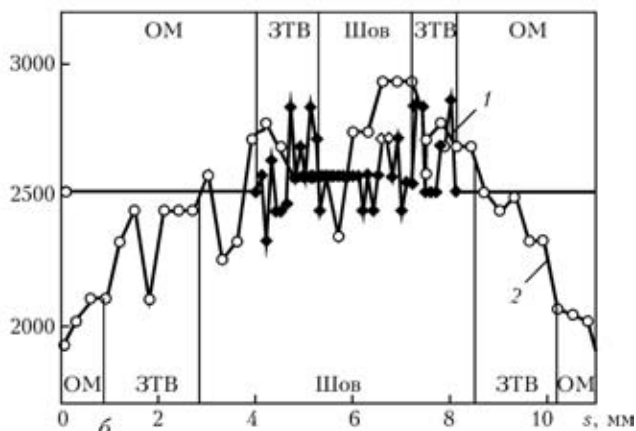
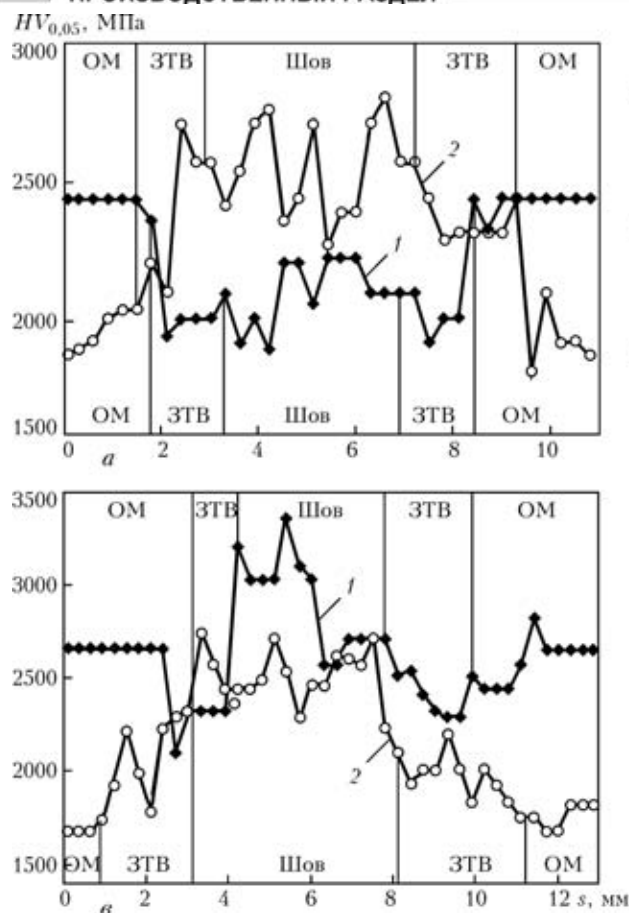


Рис. 3. Распределение микротвердости в поперечном сечении образцов из низколегированной (О (◆)) и низкоуглеродистой (О) стали, выполненных соответственно лазерным (1) и гибридным (2) способами сварки в углекислом газе (а), аргоне (б) и смеси газов 80 % Ar + 20 % CO₂ (в): ОМ — основной металл; ЗТВ — зона термического влияния; шов — зона литого металла; s — поперечное сечение провода

балла зерна проводили согласно ГОСТ 5639–82. Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2. Микротвердость измеряли на твердомере М-400 фирмы «Леко» при нагрузке 0,05 МПа. На основании результатов измерений построены графики, приведенные на рис. 3.

В ЗТВ выделяется два основных участка — крупного (участок перегрева) и мелкого зерна (участок перекристаллизации или нормализации). Остальные участки, обычно выделяемые в ЗТВ [9], не рассматривались в связи с отсутствием в них видимых изменений.

Сначала рассмотрим результаты лазерной сварки низколегированной стали ($\delta = 2$ мм) указанного выше химического состава. Основной металл исследованных образцов до сварки подвергали термообработке, вследствие чего он приобрел мелкозернистую структуру с баллом зерна 9–10, состоящую преимущественно из феррита (Ф) с небольшим количеством перлита (П). Твердость основного металла составляла $HV\ 210...260$.

Микроструктура металла сварных соединений образцов, выполненных лазерной сваркой, представлена в табл. 1, а распределение микротвердости в поперечном сечении соединений — на рис. 3, кривая 1. Отметим, что в отличие от образцов, полученных лазерной сваркой в аргоне и углекислом газе, структура литой зоны образца, выполненного этим же способом сварки в смеси

80 % Ar + 20 % CO₂, состоит из Ф, П и бейнита (Б), а также содержит участки видманштеттова феррита (ВФ). Балл зерна его структуры небольшой, что свидетельствует о значительном перегреве.

При лазерной сварке низколегированных сталей применение аргона (в большей степени смеси аргона с углекислым газом) приводит к повышению твердости металла швов за счет увеличения объемной доли и твердости бейнитной составляющей. В рассматриваемой стали росту твердости способствует повышенное содержание марганца (до 0,8 %). По-видимому, увеличение твердости отчасти связано с изменением прозрачности плазмы факела, образующегося над парогазовым каналом, а также с условиями теплоотвода при использовании различной газовой среды для защиты. Так, из-за экранирования излучения плазменным факелом при использовании аргона глубина проплавления снижалась более чем в 2 раза. При этом скорость охлаждения жидкого металла повышалась, что способствовало увеличению его твердости. Применение смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ приводит к некоторому (10...30 %) увеличению ширины швов, значительному улучшению формирования верхнего усиления и устраняет склонность к образованию подрезов. Глубина проплавления при этом не возрастает. По всей вероятности, применение указанной газовой смеси мо-

Таблица 2. Результаты металлографических исследований образцов, выполненных гибридной сваркой

Защитный газ	Микротвердость структурных составляющих металла сварных соединений низкоуглеродистой стали								
	Шов					ЗТВ			
						Участок крупного зерна			
	Ф	ВФ	П	Б	Ширина ферритной оторочки, мм	Ф	ВФ	П	Б
Ar	230...250	210...220	—	270...290	0,0125...0,0190	205	230	230...245	—
CO ₂	230...250	230...250	Следы	260...270	0,0065...0,0125	190...220	Следы	220...240	—
80 % Ar + 20 % CO ₂	220...230	225...235		245...255	0,0125...0,0170	190...195	—	230	—

Окончание табл. 2

Защитный газ	Микротвердость структурных составляющих металла сварных соединений низкоуглеродистой стали				Ширина ферритной оторочки, мм	Балл зерна	
	ЗТВ					Участок крупного зерна	Участок мелкого зерна
	Участок мелкого зерна						
	Ф	ВФ	П	Б			
Ar	210	—	Следы	—	0,0125...0,0250	4–5	9
CO ₂	170	—	190	—	0,0065...0,0130	6	9
80 % Ar + 20 % CO ₂	180	—	220	—	0,0125...0,0235	4–6	8–9

жет увеличить глубину проплавления лишь при сварке излучением диодного лазера [10].

Рассмотрим теперь результаты сварки гибридным способом образцов из низкоуглеродистой стали СтЗпс ($\delta = 5$ мм). Структура основного металла во всех случаях представляла собой ферритно-перлитную смесь с преобладанием феррита (балл зерна 7...8, твердость Φ HV 140...170, П — 190...250). Микроструктура металла соединений образцов, выполненных этим способом сварки, представлена в табл. 2, а распределение микротвердости в поперечном сечении соединений — на рис. 3, кривая 2. Отметим, что в отличие от лазерной сварки при гибридной в большинстве случаев наблюдается наличие ВФ. Как и следовало ожидать, балл его зерна понизился, т. е. структура стала более крупнозернистой. Во всех случаях металл ЗТВ имеет в основном крупнозернистую структуру, участки мелкого зерна выражены неявно. При гибридной сварке в смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ твердость металла шва несколько уменьшается. Важным моментом является сравнительно небольшой размер ферритных оторочек в металле шва и ЗТВ. При этом показатели ударной вязкости достаточно высоки.

Отметим, что по сравнению с лазерной сваркой гибридная способствует снижению твердости металла сварных соединений и способствует получению более однородной его структуры. В ней появляется ВФ, твердость бейнитной составля-

щей несколько уменьшается. Влияние различной защитной газовой среды на структуру металла шва и ЗТВ при гибридной сварке не выявлено, но обнаружено влияние на формирование швов. Так, наилучшее формирование швов, отсутствие подрезов верхнего валика, снижение разбрызгивания жидкого металла наблюдаются при использовании смеси 80 % Ar + 20 % CO₂, в случае применения углекислого газа формирование швов удовлетворительное, но при этом значительно увеличивается разбрызгивание металла из ванны и имеет место нестабильное горение сварочной дуги. Использование в качестве защитного газа аргона приводит, как и в случае лазерной сварки, к уменьшению до 1 мм глубины проплавления. При этом по бокам верхнего валика образуются значительные подрезы, а в литом металле швов появляются поры и трещины. При гибридной сварке углеродистых сталей в смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ глубина проплавления при одинаковом режиме сварки возрастает примерно на 15...25 %. Во всех рассмотренных случаях наличие аргона в защитном газе повышает склонность к образованию трещин в верхней части швов.

Таким образом, по сравнению с углекислым газом применение смеси аргона с углекислым газом в соотношении 4:1 при гибридной лазерно-дуговой сварке позволяет на 15...25 % повысить глубину проплавления. При этом улучшается стабильность горения сварочной дуги, снижается раз-



брызгивание металла, повышается качество формирования швов. Использование той же смеси газов для защиты ванны при лазерной сварке улучшает формирование швов, увеличивая при этом их ширину на 10...30 % по сравнению со швами, выполненными сваркой в углекислом газе; при этом твердость металла шва повышается на 20...25 %. Использование в качестве защитного газа аргона во всех случаях снижает глубину проплавления. При гибридной сварке при этом образуются подрезы в верхнем валике; при лазерной — увеличивается твердость металла ЗТВ на 10...20 % по сравнению с металлом шва.

При сварке в углекислом газе или смеси его с аргоном глубину проплавления определяет мощность лазерного излучения и положение его фокуса относительно поверхности образца. Для повышения глубины проплавления при гибридной сварке стыковых соединений целесообразно выполнять V-образную разделку кромок и опускать фокус ближе к ее дну. Повышение мощности дуговой составляющей при гибридной сварке с лазерным излучением мощностью 1...2 кВт приводит к снижению гибридного эффекта. При этом стабилизация сварочной дуги и ее привязка к лазерному излучению сохраняются, что позволяет существенно повысить скорость сварки или глубину проплавления стыковых соединений с разделкой кромок. При гибридной сварке твердость

и структура металла шва и ЗТВ в смеси аргона с углекислым газом позволяют повысить ударную вязкость металла сварных соединений по сравнению с дуговой сваркой.

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н. Лазерная техника и технология / Под ред. А. Г. Григорьянца: В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов. — М.: Высш. шк., 1988. — 207 с.
2. Грезев А. Н. Плазмообразование при лазерной сварке // Свароч. пр-во. — 2005. — № 5. — С. 20–25.
3. Лазерная сварка с циркуляцией защитного газа / С. Екоя, С. Тагаки, Т. Огата и др. // Quartely J. of JWS. — 2001. — 19, № 1. — 37–43 с.
4. Neue gase erzeugen schiankere Naehte // Produktion. — 2003. — № 30/31. — С. 15.
5. Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Хаскин В. Ю. Выбор защитного газа для гибридного процесса лазерно-дуговой сварки // Сварщик. — 2006. — № 4. — С. 19–23.
6. Лазерная сварка тонколистовых сталей с использованием специальных приемов / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, А. В. Сиора и др. // Автомат. сварка. — 2003. — № 1. — С. 41–44.
7. Гибридная сварка излучением CO₂-лазера и дугой плавящегося электрода в углекислом газе / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, В. П. Гарашук и др. // Там же. — 2002. — № 10. — С. 38–41.
8. Кривиун И. В. Модель испарения металла при дуговой, лазерной и лазерно-дуговой сварке // Там же. — 2001. — № 3. — С. 3–10.
9. Грабин В. Ф., Денисенко А. В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. — Киев: Наук. думка, 1978. — 276 с.
10. Danzer W., Haertl J. Diodenlaser zum Tiefschweißen einsetzbar — Mit Aktivgas als Prozessgas // Praktiker. — 2002. — № 2. — С. 34–35.

The effect of argon, carbon dioxide and their mixture on peculiarities of laser and hybrid welding of low-carbon and low-alloy steels was determined. Utilisation of the shielding gas mixture was found to have a positive effect. It is shown that increase of the arc power component in hybrid welding with a laser power of 1...2 kW leads to levelling of the hybrid effect. Stabilisation of the arc and its laser beam fixation persists, which allows increasing the welding speed and penetration depth in groove welding.

Поступила в редакцию 05.06.2006

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

УДК 621.791.762:620.179.16

ОСОБЕННОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ,
ВЫПОЛНЕННЫХ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ
СВАРКОЙ ОПЛАВЛЕНИЕМ

Академик НАН Украины С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО,

В. П. РАДЬКО, Б. И. КАЗЫМОВ, И. В. ЗЯХОР, кандидаты техн. наук, А. В. НИКОЛЬНИКОВ, инж.

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Показано, что при контроле толстостенных труб большого диаметра эффективным методом ультразвукового контроля является эхо-зеркальный метод с преобразователями, включенными по схеме тандем. При контроле тонкостенных труб малого диаметра целесообразно использовать раздельно-совмещенные преобразователи хордового типа. Показано, что эхо-сигналы от дефектов и помех в виде выступов отличаются между собой временем прихода, что позволяет надежно идентифицировать дефекты и помехи от возможных выступов, образовавшихся от смещения свариваемых кромок или от оставшегося после удаления грата усиления.

Ключевые слова: автоматическая контактная стыковая сварка оплавлением, сварные соединения, ультразвуковой контроль, качество, дефекты, методика, ложные сигналы, выявляемость дефектов

В соответствии с требованиями нормативных документов сварные соединения трубопроводов подлежат контролю операционными и неразрушающими методами. На практике независимо от способа сварки широко применяют такие неразрушающие методы контроля, как ультразвуковой (УЗК) и рентгеновский (РК) [1, 2].

При автоматической контактной стыковой сварке (КСС) оплавлением в зоне соединения (рис. 1, а) могут образоваться два вида дефектов — незакрывшийся кратер, представляющий собой несплошность (рис. 1, б), и оксидные пленки (рис. 1, в, г). Последние в зависимости от толщины подразделяются на два типа, существенно отличающихся как строением, так и влиянием на механические свойства соединений. Первый — это оксидные пленки толщиной до нескольких десятых миллиметра; они представляют собой обыкновенную окалину. Такой тип дефектов называют толстыми оксидными пленками. Другой тип — раздробленные оксидные пленки. Аналогами незакрывшихся кратеров при электродуговой сварке являются поры, а оксидных плен — несплавления.

Подобные дефекты при КСС появляются только в случае грубых отклонений от заданных значений основных параметров оптимального режима сварки, которые в течение всего процесса сварки выявляются компьютеризированной системой

контроля [3]. Такими системами в настоящее время оснащаются все сварочные комплексы для КСС, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона. Они выявляют все отклонения от заданных значений параметров, включая допустимые и недопустимые, и подают соответствующие сигналы, по которым определяют возможность образования тех или иных дефектов. Как следует из данных, полученных при исследовании нескольких тысяч километров промышленных трубопроводов, при КСС достигается наиболее низкий процент (около 0,2 %) забракованных стыков по сравнению с другими способами сварки труб [4]. При этом большинство из стыков были забракованы в связи с нарушением требований к подготовительным операциям перед сваркой, например из-за недопустимого размера смещения свариваемых кромок при центровке труб в зажимах сварочной машины перед сваркой. Основным методом контроля при сварке трубопроводов был и остается операционный контроль параметров режима сварки, достоверность которого подтверждена безаварийной эксплуатацией трубопроводов в течение нескольких десятков лет.

При сооружении новых систем трубопроводов, рассчитанных на эксплуатацию при повышенном давлении в сложных производственных условиях, значительно ужесточаются требования к надежности сварных соединений. В соответствии с этим возрастают требования к выявляемости дефектов, которые могут образоваться как в металле труб,

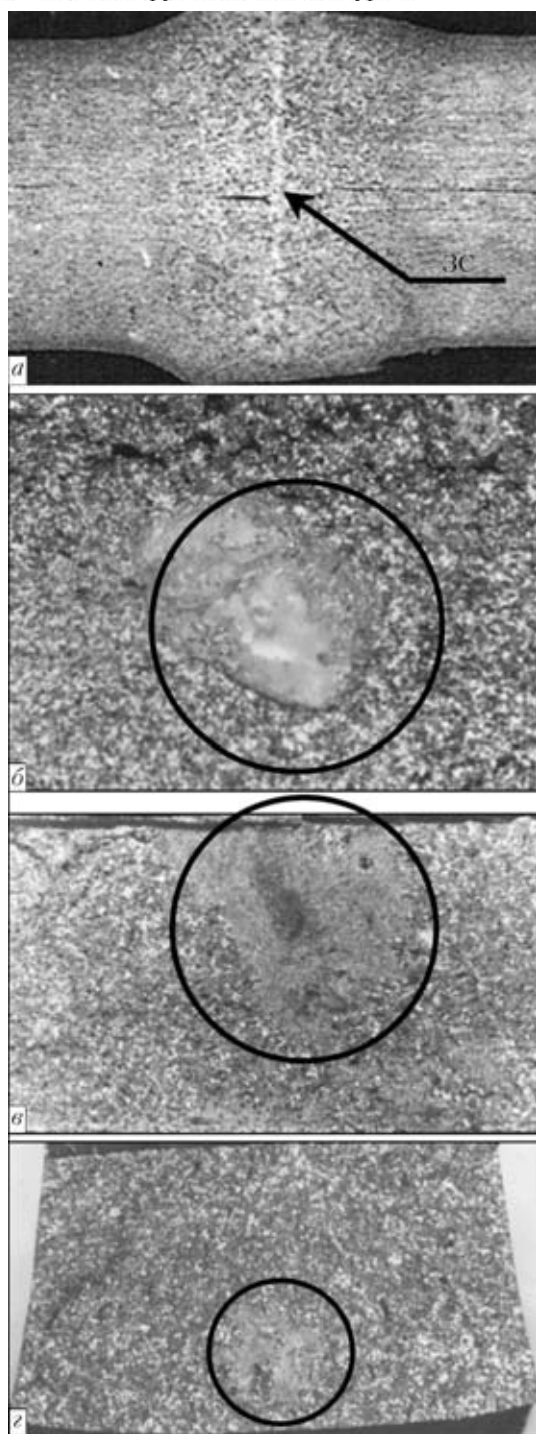


Рис. 1. Макрошлиф сварного соединения (а) и характерные дефекты на поверхности его изломов: б — незакрывшийся кратер; в, г — соответственно толстая и раздробленная оксидная пленка

так и в сварных соединениях и оказывать отрицательное влияние на их свойства.

Цель настоящей работы — исследование эффективности УЗК с применением различных методов и аппаратуры при обнаружении указанных выше дефектов, которые могут образоваться в сварных соединениях трубных сталей, полученных КСС, в результате различных нарушений технологии подготовки труб, сварочного и вспомогательного оборудования для сварки, а также в

процессе ее выполнения и отрицательно влиять на механические свойства соединений. На первом этапе исследований для обнаружения дефектов различного рода использовали критерии, принятые при УЗК электродуговых швов.

Исследования проводили на образцах сварных соединений труб диаметром от 114 до 1420 мм с толщиной стенки 6...18 мм, а также на сварных пластинах, вырезанных из этих труб. Все отклонения основных параметров режима от оптимальных значений, которые закладывались для получения в сварных соединениях необходимых дефектов, регистрировались компьютеризированной системой контроля [3]. После УЗК из каждой партии сварных соединений одну половину стыков подвергали стандартным механическим испытаниям и на растяжение и на загиб, а другую — принудительному разрушению по зоне соединения, для чего перед испытаниями по центру сварного стыка делали надрез. После испытаний для подтверждения результатов УЗК исследовали поверхность изломов всех разрушенных образцов.

На рис. 1, а изображен макрошлиф сварного соединения, выполненного КСС. В зоне соединения (ЗС) могут встречаться дефекты, представленные на рис. 1, б–г. На рис. 1, б показана поверхность излома с дефектом типа незакрывшегося кратера. В этом случае в месте дефекта существует газовый промежуток между контактными поверхностями свариваемых труб. Такие объемные дефекты обнаруживаются с помощью классических методов УЗК, используемых при контроле швов, выполненных дуговыми способами сварки.

Практически аналогичные условия для тех же приемов УЗК создаются и при поиске толстых оксидных пленок. Такой дефект представляет собой обыкновенную окалину (рис. 1, в). В силу ее физических свойств в процессе охлаждения сварного стыка после сварки в ней возникают большие внутренние напряжения, которые разрушают ее с образованием многочисленных макротрещин (неплотностей). Этому способствует и пластическая деформация металла в плоскости стыка во время осадки. На поверхности изломов образцов с такими дефектами трещины видны невооруженным глазом. Амплитуды эхо-сигналов от этих дефектов превышают порог обнаружения, выбранного по контрольным отражателям, используемым при контроле сварных соединений электродуговых швов. Достоверность их обнаружения превышала 0,9.

При поиске такого дефекта, как раздробленные оксидные пленки, в которых неплотности отсутствуют (рис. 1, г), технологические возможности классических методов УЗК заметно сужаются. В сварном стыке указанный дефект возникает на участках металла торцов труб, где есть возможность образования оксидных пленок

толщиной менее 200 мкм. При осадке металл торцов претерпевает значительную пластическую деформацию. В результате в плоскости соединения возникают растягивающие напряжения, которые разрывают оксидную пленку с образованием нескольких макрофрагментов. В местах разрыва формируется металлическая связь между свариваемыми трубами. Такие дефекты методом РК не выявляются. При УЗК ввиду отсутствия полости между свариваемыми трубами ультразвуковой сигнал ослабевает, но его уровень все же выше, чем у структурных шумов. Исследования показали, что для выявления раздробленных оксидных пленок в сварных соединениях толщиной 14...32 мм наиболее эффективным методом УЗК является эхо-зеркальный метод, который реализуется с помощью преобразователей, включенных по схеме тандем, а также адаптивным выбором порога обнаружения, основанным на статистической обработке амплитуд эхо-сигналов, получаемых от сварного соединения по всей его длине [1]. Данная методика особенно эффективна при применении электронной техники. Достоверность выявления дефектов с использованием этой технологии составляла свыше 0,75.

Для обнаружения раздробленных оксидных пленок при сварке труб диаметром 114...325 мм с толщиной стенок 4...8 мм применяют метод УЗК с раздельно-совмещенными преобразователями хордового типа, которые обеспечивают прозвучивание всего сечения шва прямым лучом, при этом помехи, вызванные отражением от усиления, практически отсутствуют [5, 6]. Исследования показали, что благодаря этим особенностям достигается минимальный уровень эхо-сигналов от возможных помех по сравнению с сигналами, полученными при использовании традиционных ультразвуковых преобразователей, что значительно повышает достоверность контроля. Хордовые преобразователи позволяют прозвучивать сварное соединение в раздельно-совмещенном и совмещенном режимах, что дает возможность на основе определения коэффициента формы классифицировать дефекты по видам (объемный и плоскостной).

Для настройки уровня браковочной чувствительности контроля при работе с хордовым преобразователем с целью обнаружения плоскостных (сжатых) дефектов использовали эталонный отражатель в виде торцевого отверстия диаметром 1,2 мм с плоским дном. Уровень поисковой чувствительности недопустимых дефектов в зоне соединения устанавливали на 12 дБ выше браковочного уровня.

Высокий уровень достоверности УЗК с хордовыми преобразователями установлен при контроле нескольких партий сварных стыков труб диаметром 114...325 мм с толщиной стенки 6...9 мм,

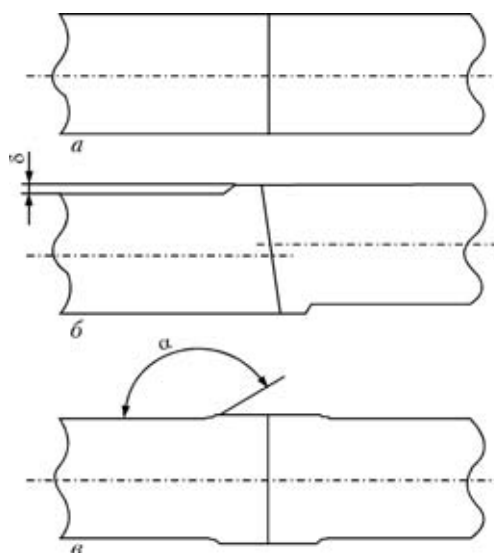


Рис. 2. Схемы сварных соединений, полученных КСС, со снятым гратом (а), смещением δ свариваемых кромок (б) и усилением (в)

полученных на различных режимах КСС, включая оптимальные и с грубыми нарушениями. После УЗК стыки принудительно разрушали по зоне соединения.

При контроле качественных стыков с удаленным гратом заподлицо с внутренней и наружной поверхностями (рис. 2, а) на экране дефектоскопа появляются сигналы только от структурных шумов (рис. 3, II, а). Положение верхнего строба 1 отвечает браковочному уровню чувствительности, а нижнего 2 — поисковому уровню чувствительности.

Дефекты, сигналы от которых находятся в области допустимых значений — между нижним 2 и верхним 1 стробами (рис. 3, II, б), чаще всего являются структурной неоднородностью (различного рода включениями). Вместе с тем, отметим, что их влияние на свойства сварных соединений проявляется неоднозначно. Об этом свидетельствует разброс результатов механических испытаний соединений с дефектами указанных типов.

Сигнал, превышающий уровень верхнего порога (рис. 3, II, в), является признаком наличия брака. Сопоставление данных УЗК и результатов анализа поверхности изломов позволило определить достоверность обнаружения сжатых дефектов, которая составляла 0,8...0,9.

В процессе контроля на экране дефектоскопа возможно появление ложных сигналов. Помимо структурных шумов, основными помехами при УЗК являются выступы, образующиеся от смещения свариваемых кромок (рис. 2, б) и наличия усиления шва, остающегося после удаления грата (рис. 2, в).

Смещение свариваемых кромок происходит при сварке труб, которые отличаются допусти-

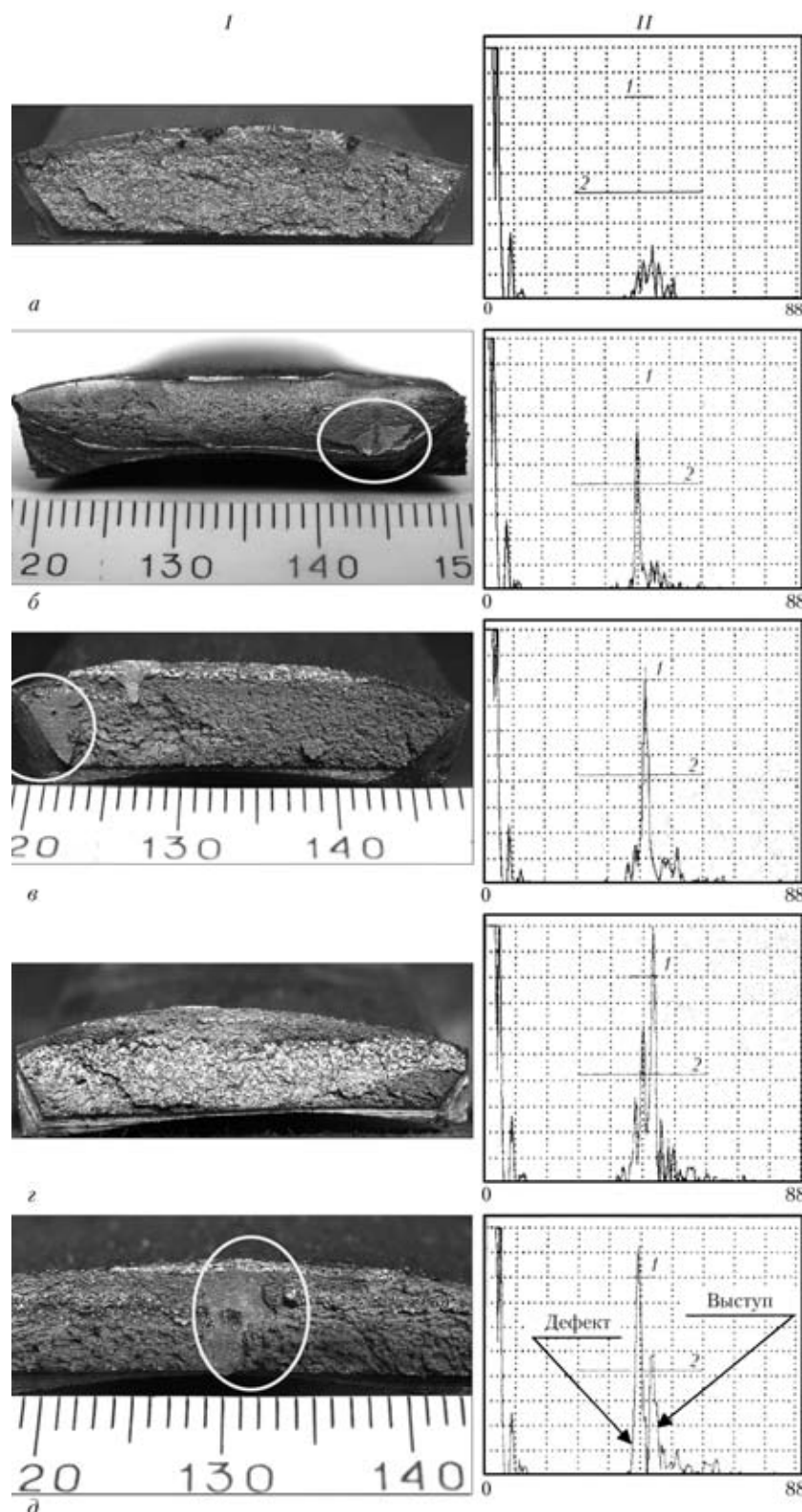


Рис. 3. Вид изломов (I) и отображение (II) эхо-сигналов от металла в зоне сварки (а), структурной неоднородности (б), раздробленной оксидной пленки (в), выступа (г), дефекта и выступа (д)

мыми размерами, или нарушении технологии центровки торцов труб перед сваркой.

Усиление образуется после удаления грата, при этом остается узкий поясик на отдельных участках стыка или по всей его протяженности как резуль-

тат неполного удаления выдавленного металла при осадке. Высота усиления во многом зависит от технологии удаления грата. Например, на первых сварочных машинах К700 (комплекс «Север») применяли внутренний гратосниматель протяжного типа, при работе которого режущие устройства перемещались вдоль образующей трубы. Недостатком гратоснимателя является ограниченная возможность режущего инструмента копировать профиль трубы в зоне сварки. В процессе сварки торцы труб нагреваются до высоких температур, в результате диаметр труб на этом участке увеличивается за счет термического расширения металла. По этой причине режущие устройства не могут копировать реальную поверхность труб в зоне сварки, а поэтому и не могут осуществить полное удаление грата.

В сварочных машинах нового поколения этот недостаток устранен за счет применения внутренних гратоснимателей роторного типа, у которых режущий инструмент относительно небольших размеров движется не по образующей трубы, а по ее окружности. Такие гратосниматели могут удалять грат практически полностью до уровня внутренней поверхности сваренных труб.

На рис. 3, II, г показан эхо-сигнал от допустимого выступа высотой 2 мм при УЗК качественного стыка. В данном случае его уровень выше браковочного, установленного для обнаружения дефектов в зоне соединения. Амплитуда эхо-сигнала от одного и того же выступа может изменяться в зависимости от направления прозвучивания относительно плоскости зоны соединения. При перемещении ультразвуковых преобразователей вдоль стыка эхо-сигнал от выступа может изменяться в зависимости от направления прозвучивания или высоты усиления.

При наличии в зоне контроля и дефекта, и выступа (любого происхождения) на экране дефектоскопа будут наблюдаться два сигнала, смещенных во времени. При использовании хордового

преобразователя передние кромки выступов (кромки, расположенные перед ЗС со стороны установок преобразователей) не дают помех, поскольку эхо-сигнал от них не поступает на преобразователь-приемник. Однако помехами при УЗК могут оказаться кромки, расположенные за пределами плоскости ЗС. В этом случае первым приходит сигнал от дефекта, а за ним — сигнал от выступа (рис. 3, II, д). Интервал между ними составляет 4,5 мкс, что отвечает разности расстояний между дефектом и выступом по лучу длиной 7 мм.

Интенсивность эхо-сигналов от выступов зависит от угла α между двумя смежными поверхностями — поверхностью трубы и боковой стороны усиления (см. рис. 2, в). Установлено, что с увеличением этого угла амплитуда эхо-сигнала уменьшается. Наибольшие помехи при поиске дефектов в зоне соединения имеют место при контроле соединений, полученных КСС на режимах, при которых создаются условия для образования угла $\alpha = 95...110^\circ$. Наиболее благоприятны условия для обнаружения дефектов, когда этот угол составляет $150...170^\circ$. В этом случае сигналы от усиления практически отсутствуют. На таких режимах сваривают трубы большого диаметра с толщиной стенки 12...20 мм и более.

Для определения местоположения и типа дефектов в образцах сварных соединений, предназначенных для механических испытаний, был применен УЗК, который выполняли двумя способами — используя раздельно-совмещенный наклонный преобразователь с поверхности образцов (поперечными волнами) и прямой преобразователь с торцов образцов (продольными волнами). Дефекты, обнаруженные только наклонным преобразователем, классифицируются как оксидные пленки, а обнаруженные наклонным и прямым преобразователями — как несплошности.

Сравнительный анализ данных, полученных УЗК, и результаты ударных испытаний партии из 20 образцов сечением 10×10 мм показали высокую эффективность предложенного способа идентификации, достоверность которого составляла 0,95.

Выводы

It is shown that the efficient method of ultrasonic inspection of large-diameter thick-walled pipes is the echo-reflection method involving transducers connected in tandem. For inspection of small-diameter thin-walled pipes, it is expedient to use the chord-type TR transducers. Echo signals from defects and interferences in the form of protrusions are shown to differ in time of arrival, which allows a reliable identification of defects and interferences from the protrusions that may be caused by displacement of the weld edges, or by reinforcement left after removal of flash.

1. При отсутствии в соединении выступов достоверность выявления грубых дефектов (незакрывшихся кратеров и толстых оксидных пленок) составляла 0,95. При наличии выступов на внешней и внутренней поверхностях труб, особенно в случае образования смещений, достоверность выявления дефектов понижается до 0,8 за счет перебраковки.

2. В результате исследований установлено, что для контроля сварных соединений труб малого (до 325 мм) диаметра с толщиной стенок 6...8 мм целесообразно использовать раздельно-совмещенные преобразователи хордового типа, у которых акустическая ось проходит через тело трубы в плоскости, перпендикулярной к вертикальной оси зоны соединения.

3. Исследования показали, что эхо-сигналы от дефектов и помех в виде выступов отличаются временем прихода, что позволяет надежно идентифицировать дефекты и помехи от возможных выступов, образующихся от смещения свариваемых кромок или усиления оставшегося после удаления грат.

4. Совместное применение прямых и наклонных преобразователей, излучающих и принимающих соответственно продольные и поперечные ультразвуковые волны, позволило идентифицировать дефекты по типам — несплошности или оксидные пленки.

1. *Неразрушающий контроль качества сварных конструкций* / В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров. — Киев: Техника, 1986. — 159 с.
2. *API Standart 1104. Welding of pipelines and related facilities.* — 19th Edition, 1999.
3. *Казимов Б. И., Горішняков А. І., Радько В. П.* Комплексний контроль якості з'єднань, виконаний пресовими видами зварювання: Міжнар. наук.-техн. конф. «Зварювання в енергетиці», м. Київ, 2–3 жовтн. 1996 р. — К., 1996. — С. 49–50.
4. *Мазур И. И., Серафин О. М., Карпенко М. П.* Электроконтактная сварка трубопроводов: пути совершенствования // Стр-во трубопроводов. — 1988. — № 4. — С. 8–11.
5. *Исследование и особенности обнаружения дефектов типа окисных плен при ультразвуковом контроле соединений, выполненных контактной стыковой сваркой* / В. П. Радько, В. А. Троицкий, Б. И. Казимов и др. // 5-а Нац. наук.-техн. конф. і виставка «Неруйнівний контроль та технічна діагностика», м. Київ, 10–14 квітн. 2006 р. — К., 2006. — С. 55–60.
6. *Гиллер Г. А., Могильнер Л. Ю.* Ультразвуковые хордовые преобразователи в дефектоскопии сварных стыков трубопроводов // В мире неразрушающего контроля. — 2000. — № 2 (8). — С. 18–20.

Поступила в редакцию 14.10.2006



УДК 621.791.001.12/18

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И РЫНОК СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ

В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук, **О. К. МАКОВЕЦКАЯ**, канд. экон. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены данные о современном состоянии сварочного производства, рынка сварочной техники и его секторов, а также об основных факторах, влияющих на тенденции их развития. Показана роль сварки в современной экономике, в частности, приведены результаты комплексного исследования вклада сварки в экономику США и Германии.

Ключевые слова: экономика, сварка, производство, рынок сварочной техники

Сварочное производство, имеющее межотраслевой характер, в настоящее время представляет собой одну из науко- и инженероемких составляющих мировой и национальных экономик. В металлообрабатывающих отраслях промышленного производства и строительстве, где сварка и родственные ей процессы сегодня являются базовыми технологиями соединения и обработки конструкционных материалов, сварочное производство — это самостоятельный технологический сектор, в той или иной мере интегрированный в общий производственный процесс.

Собственно сварочное производство в широком его представлении включает, с одной стороны, компании, фирмы, научные центры и университеты, создающие инновационный продукт в виде технологических процессов, высокопроизводительного сварочного оборудования и прогрессивных сварочных материалов, а с другой стороны, отраслевые предприятия и фирмы — потребители сварочной техники и технологий, а также смежные структуры, обеспечивающие профессиональную подготовку и аттестацию сварочного персонала, создание систем нормативного и информационного обеспечения и др.

Наиболее важным фактором, определяющим текущую деятельность и перспективное развитие сварочного производства, является наличие развитых рынков конструкционных материалов и сварочной техники, а также взаимосвязь этих рынков между собой. Уже давно не требует доказательств тот факт, что основным конструкционным материалом для производства сварных конструкций и сооружений была и остается сталь, физико-технические свойства и сортамент которой постоянно совершенствуются и обновляются. Мировое

производство стали в 2004 г. перешагнуло рубеж 1 млрд т и ожидается, что в 2006 г. оно достигнет 1 млрд 176 млн т. Прогноз Международного института чугуна и стали (IISI) свидетельствует о продолжающемся росте в мире реального потребления стали и превышении спроса над рыночными предложениями производителей металлопродукции. Видимое потребление стальной продукции в последние годы постоянно возрастает на 4...6 % в год. По оценкам экспертов, мировое видимое потребление стали в 2006 г. также превысит 1 млрд т и выйдет на уровень 1,040...1,055 млн т [1].

Аналитические исследования IISI однозначно подтверждают существование прямой зависимости между ростом потребления стали и общим экономическим уровнем стран, которым присущ высокий темп роста внутреннего валового продукта (ВВП). Наиболее ярким примером этой тенденции является КНР, которая в последние годы имеет самый высокий и устойчивый темп прироста ВВП (8...10 %) и занимает первое место в мире по объему и темпам прироста потребления стали. Доля этой страны в мировом потреблении стали в 2005 г. превысила 30 %. Еще одним примером могут быть страны Европейского Союза (25), здесь прирост производства стали составляет 1...3 %. В 2005 г. в этих странах выпущено 188,5 млн т стали. Сохраняет положительную динамику и потребление стали в странах Европейского Союза (25): так, в 2005 г. объем потребления стали достиг 168 млн т. Такое умеренное развитие потребительского рынка стали отвечает и умеренному росту ВВП в этих странах (в среднем 2...3 % в год).

Тенденция взаимосвязи между приростом потребления стали и общим ростом экономики представляется вполне закономерной также для оценки взаимосвязи развития сварочного производства и рынка сварочной техники от объемов потребления стали и других конструкционных материалов. Мировой опыт производства сварных конструкций

и изделий в различных отраслях позволил установить, что примерно 2/3 потребляемого стального проката идет непосредственно на изготовление сварных конструкций. При этом на каждую тонну потребляемого проката расходуется около 4...6 кг сварочных (присадочных) материалов. Существует также высокая положительная корреляция структуры и объемов потребляемой сварочной техники с объемами потребления стальной металлопродукции основными отраслями машиностроительного производства и строительства. Мировые и национальные статистические данные о потреблении стальной металлопродукции могут служить вполне достаточным базовым ориентиром при прогнозных исследованиях и оценке развития сварочного производства и основных секторов рынка сварочной техники. Стабильный рост потребления стали позволяет обоснованно судить о благоприятной перспективе стабильного и устойчивого роста мирового и национальных сварочных производств и соответственно о повышении вклада сварки и родственных технологий в экономику ведущих промышленных стран. В последнее время эти проблемы привлекают внимание экономистов ряда стран и уже нашли отражение на страницах мировой сварочной периодики.

Состоявшаяся в 2005 г. в Эссене (ФРГ) международная выставка «Сварка и резка 2005» дала полное и наглядное представление о нынешнем уровне мировой сварочной индустрии, инновационном наполнении основных секторов сварочного рынка и роли сварочного производства в современной экономике на начало XXI века. В экспозиции были представлены аппаратура для неразъемного соединения (сварка, пайка и др.) и разделительной резки, оборудование для наплавки и газотермического напыления, технологические лазеры и лазерные системы, техника для склеивания и механического соединения, сварочные роботы и другие средства автоматизации, системы управления процессами сварки и родственных технологий, средства и методы неразрушающего контроля; сварочные и присадочные материалы (сварочные электроды и проволоки, порошки, припои и др.), вспомогательные расходные материалы (сварочные газы и газовые смеси, флюсы, клеи и др.); механическое оборудование, оснастка и инструмент для сварки; средства защиты сварщика и экологической безопасности рабочей среды. На выставке также экспонировали учебно-методические материалы, учебные тренажеры и мультимедийные средства обучения, пакеты программного обеспечения для расчета сварных конструкций, моделирования сварочных процессов, а также разнообразную научно-техническую и нормативно-справочную литературу [2].

Как показала выставка, современную аппаратуру для сварки и родственных технологий, пос-

тавляемую на рынок ведущими мировыми разработчиками и производителями, отличает оригинальность и высокий уровень инновационности. Сегодня она, как правило, соответствует двум основным требованиям потребителей — эффективность при ее применении в производственном процессе и максимальное использование в ней последних научно-технологических разработок и аппаратурных решений, гарантирующих высокое и стабильное качество соединений. Обширный и разнообразный арсенал традиционных технологических процессов сварки и обработки конструкционных материалов соответствующим оборудованием с применением сварочных (присадочных) материалов создает условия для их конкурентного выбора потребителем. Наряду с непрерывным совершенствованием существующей техники и технологий соединения и обработки на рынок поступает оборудование для принципиально новых инновационных технологий, в том числе для сварки трением с перемешиванием (STIR), электродуговой сварки с активированным флюсом (A-TIG) и ряда комбинированных процессов. Среди них наиболее активно развиваются комбинированные процессы, основанные на сочетании электрической дуги или плазмы и лазерного излучения. Эта ранее известная идея получила активное развитие благодаря применению инновационных решений в области электроники, сенсорики, техники управления и др. В последние 2–3 года, так называемые гибридные процессы (в первую очередь на базе лазерной сварки) находят широкое применение в автомобильной промышленности, судостроении, транспортном машиностроении и др.

Сегодня потребителю на рынке предоставлена возможность сопоставления и широкого выбора различных технологий и оборудования для сварки и обработки конструкционных материалов одного класса и размера. Это позволяет варьировать уровень затрат на приобретение соответствующей техники в зависимости от показателей ее производительности, степени автоматизации и эксплуатационной надежности, а также критериев гарантированного качества получаемых соединений и соответствия технологии сварки требованиям стандарта ISO 14000.

Особенности национальной сварочной индустрии и сварочного рынка наиболее полно можно продемонстрировать на примере Германии. Благодаря усилиям Немецкого общества сварки и родственных технологий (DVS) Германия является одной из немногих стран мира, где экономико-статистические данные об объемах годового производства, экспорта и импорта полной номенклатуры электротехнического оборудования для сварки, пайки и резки металлических материалов и пластмасс, запасных деталей к ним, а также сварочных и присадочных материалов открыты



для широкого круга специалистов. Эта информация базируется на официальных данных Федерального статистического управления Германии и соответствует классификации выпускаемой продукции Европейского Союза (Statistical Classification of Products by Activity in the European Economic Community — CPA). Такая статистика и ее подробный анализ ежегодно публикуются в журнале «Schweissen und Schneiden», издаваемом DVS [3]. Расширение технологического арсенала техники соединений сопровождается возникновением новых (кроме сварочной техники) секторов сварочного рынка, к которым следует отнести лазеры и лазерные аппараты, а также промышленные роботы. По данным работы [4], в 2003 г. рынок сварочной техники Германии имел следующую структуру:

Сектор рынка	Объем продаж, млн евро
Сварочная техника (без сварочных материалов)	1338
Лазеры и лазерные системы	340
Техника пайки	185
Техника термического напыления	152
Сварочные роботы	122
Техника разделительной резки	90
Техника механического соединения	58
Техника склеивания	14
Роботы для склеивания	7

С учетом многопрофильности структуры сварочного рынка немецкие специалисты для основных видов продукции ввели новый термин FTV-продукция — продукция для соединения (F-Fügen), резки (T-Trennen) и нанесения покрытий (B-Beschichten) [4].

Наличие достаточно полной и достоверной экономико-статистической информации об объемах производства и внешней торговли сварочной техникой в сочетании с экспертной оценкой объема продажи других секторов рынка сварочной техники и услуг, включая затраты на обучение и переподготовку кадров и другие виды услуг, позволили экономистам оценить общий объем немецкого рынка сварочной техники. В 2004 г. общий объем внутреннего сварочного рынка Германии превысил 3,6 млрд евро, при этом объем собственно сварочной техники (оборудование и материалы) составил всего 1,3 млрд евро. По консервативной оценке немецких специалистов, объем европейского сварочного рынка в 3 раза превышает

объем немецкого рынка и составляет примерно 11 млрд евро. Согласно их же, но более осторожной оценке, мировой рынок сварочной техники и услуг также в 3 раза превышает стоимостной объем европейского рынка — около 33 млрд евро или около 42 млрд дол. [5]. Это, в частности, совпадает с нашей ориентировочной оценкой объема мирового рынка сварочной техники и услуг к началу XXI века — около 40 млрд дол. [6].

Структура мирового и национальных сварочных рынков в процессе их развития претерпевает заметные изменения. Как видно на примере сварочного рынка Германии, интенсивно растут объемы секторов инновационной техники, которые уже сопоставимы с объемами продаж базового сектора техники для сварки и родственных технологий. К ним относятся два сравнительно

новых сектора — «Технологические лазеры и системы» и «Сварочные роботы и робототехнические комплексы», которые в соответствии с CPA относятся к самостоятельным группам, не входящим в группу «Сварочное оборудование».

Среди основных областей применения технологических лазеров соединение и обработка материалов занимают доминирующее положение. Для этих целей рынок потребляет до 50 % общего объема промышленных лазерных систем. Общий объем стоимости технологических лазерных систем, предназначенных для сварочного производства, в 2006 г. превысит 3 млрд евро, а к 2010 г. ожидается увеличение до 5 млрд евро [7].

Сварочные роботы и робототехнические комплексы — наиболее прогрессивные и эффективные средства автоматизации сварочных и родственных процессов, легко интегрируемые в общий производственный процесс. В 2004 г. общемировой парк единичных промышленных роботов насчитывал около 850 тыс. ед., из них 254 тыс. ед. составляли сварочные роботы [8]. Согласно статистической информации Международной федерации робототехники, в 2004 г. в мире произведено 95,4 тыс. ед. промышленных роботов общей стоимостью около 5 млрд дол. В том же году в общей массе промышленных роботов на мировой рынок поставлено 26,7 тыс. ед. сварочных роботов на сумму около 1,4 млрд дол. [9], а на сварочный рынок Германии — около 3 тыс. ед. промышленных роботов для сварки и других технологий (резка, склеивание, напыление) на сумму более 130 млн евро (162 млн дол.). Приведенные данные свидетельствуют о значительном и все возрастающем объеме поставок на сварочные рынки мира оборудования и аппаратуры для но-

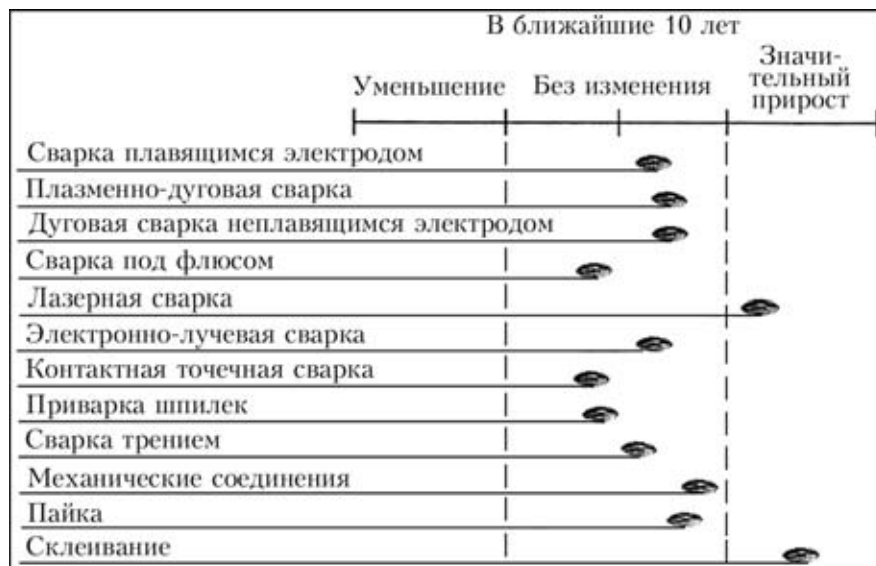
вых нетрадиционных технологий и средств автоматизации, а также о необходимости включать продукцию этих групп в сводные экономико-статистические показатели мирового и национальных сварочных рынков.

До последнего времени при прямой или сопоставительной оценке общеэкономического значения национальных сварочных производств специалисты в основном оперировали общей стоимостью сварочной техники, произведенной в стране, или объемом внутреннего сварочного рынка. При таком подходе не учитывался реальный экономический вклад, вносимый произведенной сварочной техникой в формирование добавленной стоимости на всех стадиях изготовления сварных изделий, конструкций и сооружений. Поскольку сварка и родственные ей технологии являются базовыми безальтернативными технологиями в промышленном производстве и строительстве, следует ожидать значительного повышения реального вклада этих технологий как в мировую, так и национальные экономики, в частности в ВВП, что и подтвердили исследования, проведенные недавно в США и Германии по инициативе Американского общества сварщиков и DVS.

Проведено комплексное исследование вклада сварки в экономику США на базе семи ведущих отраслей производства (включая строительство), которые являются основой промышленной инфраструктуры, национальной обороны и благосостояния страны [10]. Общий объем производства этих отраслей составляет немного более трети ВВП США. В данном проекте акцент сделан на исследования и анализ общих и производственных затрат на сварку (по всем статьям структуры затрат). В результате установлено, что общие затраты на сварку в семи обследованных отраслях в 2000 г. превысили 34 млрд дол., а собственно производственные затраты на сварку составили 30,7 млрд дол., что в среднем составляет 1,4 % общих производственных затрат этих отраслей. Расширение полученных данных об уровне экономического вклада сварки в отрасли машиностроения, горнорудную промышленность, топливно-энергетический комплекс и строительство, где сварка является ключевой технологией, показало, что стоимость конечной продукции этих отраслей, произведенной с применением сварки, превысила 57 % общего объема ВВП США [11]. По данным статистического ведомства США, в ука-

занных отраслях численность сварщиков и резчиков, включая наладчиков и операторов сварочных и других установок, составляет около 480 тыс. чел. [12].

Рейнско-Вестфальским институтом экономических исследований проведена оценка фактического вклада сварки в экономику Германии в рамках проекта «Общеэкономическая и отраслевая добавленная стоимость от производства и применения сварочной техники». Изучен и проанализирован вклад, который вносит сварочная техника в общехозяйственную добавленную стоимость на всех стадиях процесса производства в отраслях интенсивного применения сварочных процессов. При этом учитывалась как прямая, так и косвенная добавленная стоимость. Результаты исследования убедительно показали мультипликативный эффект увеличения добавленной стоимости при производстве сварочной аппаратуры в процессе ее последующего применения в течение всего производственного цикла в 28 раз (в 2004 г.). Авторы указанного проекта показали, что при учете всех источников добавленной стоимости в производстве сварочного оборудования и сварочных материалов, а также в производстве сварных конструкций с применением этой сварочной техники и технологий общеэкономическая добавленная стоимость в 2004 г. составила 27 млрд евро (33,7 млрд дол.) или 4,8 % добавленной стоимости всего производящего сектора Германии. При этом доля последнего сектора составляла 562,5 млрд евро (703,1 млрд дол.) или 33,75 % ВВП. Собственно техникой и технологией соединения в Германии заняты более 640 тыс. чел., иными словами, каждое шестнадцатое рабочее место в промышленном производстве связано со сваркой и родственными ей процессами [4, 13].



Технология развития процессов соединения по представлению европейских производителей [14]



Европейские производители сварочного оборудования, внимательно отслеживающие появление научных и инновационных разработок в области техники и технологии соединения, а также конъюнктурный спрос отраслей производства и строительства на основные типы оборудования для сварки и соединения, выработали корпоративную оценку тенденций развития сварочного рынка и его секторов по базовым технологиям [14]. Представление производителей о развитии основных процессов соединения отражено в рисунке.

Как видно из рисунка, в ближайшие десять лет наибольший рост и расширение объемов производственного применения следует ожидать в первую очередь в области лазерной сварки, включая гибридные процессы, а также в таких альтернативных сварке процессах соединения, как склеивание, механическое соединение (клинчевание, чеканка, просечка и др.) и пайка. Темп развития последних несколько ниже, но заметно превышает развитие традиционных технологий электродуговой и контактной сварки. В этот же период ожидается увеличение объема некоторых секторов рынка оборудования по таким инновационно привлекательным процессам, как сварка трением с перемешиванием, ультразвуковая сварка, нанесение покрытий и др. Устойчивый рост сохраняют секторы рынка источников питания для сварки плавлением, систем автоматического управления и слежения, диагностики и неразрушающего контроля качества сварных соединений. Характерно, что точка зрения европейских производителей техники соединений практически совпадает с мнением потребителей этой техники и в целом отвечает тематическим направлениям научных исследований и технологических разработок, которые ведутся в национальных научных центрах, сварочных институтах и лабораториях вузов.

В заключение следует отметить, что для промышленно развитых стран характерна достаточно устойчивая динамика развития как сварочного производства, так и сварочного рынка, которая определяется ключевым характером технологий сварки и соединений в различных отраслях промышленности и строительства, стабильным ростом потребления конструкционных материалов и расширением их ассортимента, а также появлением на сварочном рынке новых прогрессивных технологий и оборудования для сварки, соединения и обработки конструкционных материалов. Стратегии развития национальных сварочных производств на среднесрочную перспективу практически не имеют резких отличий и ориентированы

на решение наиболее актуальных задач: увеличения объемов и расширение областей применения сварки и родственных технологий, в том числе в тех секторах промышленности и строительства, которые ранее сварку не применяли; повышения производительности технологических процессов при одновременном обеспечении высокого качества соединений; снижения энергопотребления и общепроизводственных затрат на сварку и родственные технологии; расширения применения в сварных конструкциях и сооружениях новых прогрессивных металлических, композитных и неметаллических материалов на основе применения для их соединения и обработки новой техники и технологий.

Устойчивое и эффективное развитие сварочных производств в промышленных странах базируется на использовании результатов фундаментальных и прикладных исследований, высоком научно-инженерном потенциале, квалифицированных трудовых ресурсах и активном трансфере высоких сварочных технологий и других инноваций.

1. *Steel statistical yearbook-2004* // International Iron and Steel Institute of Economic Studies. — Brussels, 2004. — 192 p.
2. *Internationale Fachmesse «Schweißen und Schneiden»* — Stand und Entwicklungstendenz // *Schweißen und Schneiden*. — 2005. — № 12. — S. 1–40.
3. *Janben R., Moos W.* Schweißen und Schneiden 2004. Schweißtechnik knüpft wieder an hohes Expansion tempo vergangener Jahrean // *Ibid.* — № 5. — S. 444–455.
4. *Moos W., Jenßen-Timmen R.* Wertschoepfung und Beschäftigung durch Produktion und Anwendung von Fuegetechnik // *Ibid.* — 2005. — № 9. — S. 438–443.
5. *Weltweit fuehrende Plattform fuer Branche* // *Stahlmarkt*. — 2005. — № 7. — S. 56–57.
6. *Бернадский В. Н., Мазур А. А.* Состояние и перспективы мирового сварочного рынка // *Автомат. сварка*. — 1999. — № 11. — С. 49–55.
7. *Optech consulting.* Market report on laser materials processing // <http://www.optech-consulting.com/laserprocessing-summary.html>.
8. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Экономико-статистические данные по сварочному производству (СВЭС-ТА-2005). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2005. — 87 с.
9. *World robotics 2004.* UN Economic Commission for Europe (UNECE) — International Federation of Robotics // *United Nations*. — New York; Geneva, 2004. — 406 p.
10. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Вклад сварки в экономику США // *Свароч. пр-во*. — 2004. — № 5. — С. 43–50.
11. *Welding's economic impact established* // *Welding J.* — 2002. — 81, № 4. — P. 4.
12. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Экономико-статистические данные по сварочному производству (СВЭС-ТА-2001). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2001. — 85 с.
13. *Moos W.* Wertschoepfung durch Schweißtechnik // *Schweißen und Schneiden*. — 2001. — № 9. — S. 548–551.
14. *Neueste Trends in der Fuegetechnik* // *Stahlmarkt*. — 2005. — № 8. — S. 58–59.

Data are given on the state-of-the-art in welding industry, welding engineering market and its sectors, as well as the key factors affecting their development trends. The role of welding in the present-day economy is shown. In particular, the results of comprehensive evaluation of the contribution of welding to the U.S. and German economy are presented.



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВЫХ СИСТЕМ

В. Н. СИДОРЕЦ, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны блок-схемы для моделирования в пакете математических программ MATLAB сварочных систем, содержащих дугу с плавящимся электродом. Моделирование позволяет ставить численный эксперимент, решать нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие динамику изменения длины дуги при плавлении электрода и величины сварочного тока.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, дуга с плавящимся электродом, импульсный источник, нелинейные дифференциальные уравнения

Разработка современного сварочного оборудования и анализ его свойств невозможны без экспериментальных исследований. Применение компьютерной техники позволяет часть натурных экспериментов заменить компьютерным моделированием. В работе [1] была предложена математическая модель системы «источник питания — дуга с плавящимся электродом», которая представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, связывающих длину дуги и ток сварки с параметрами сварочного процесса и источника питания. Пакет Simulink компьютерных математических программ MATLAB позволяет проводить численные исследования динамики нелинейных систем, не решая в явном виде дифференциальные уравнения [2, 3]. Однако в наборе блоков пакета Simulink отсутствуют блоки,

описывающие электрическую дугу с плавящимся электродом, и специализированные источники питания дуги (например, импульсные).

Целью данной работы является разработка блок-схем для компьютерного моделирования систем дуговой сварки с плавящимся электродом, содержащих импульсный источник питания дуги. Блок-схема системы «источник питания — дуга с плавящимся электродом» приведена на рис. 1, где в качестве сварочного источника питания используется импульсный источник питания дуги И-169 [4], разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона. Моделируемая система состоит из трех основных элементов: дуга — блок «Duga», электрическая цепь — блок «Source» и импульсный источник — блок «I_Source_New».

Входные параметры блока «Duga», моделирующего сварочную дугу с плавящимся электродом (рис. 2), следующие: начальная длина дуги l_0 ; расстояние между мундштуком и изделием l_w ; сва-

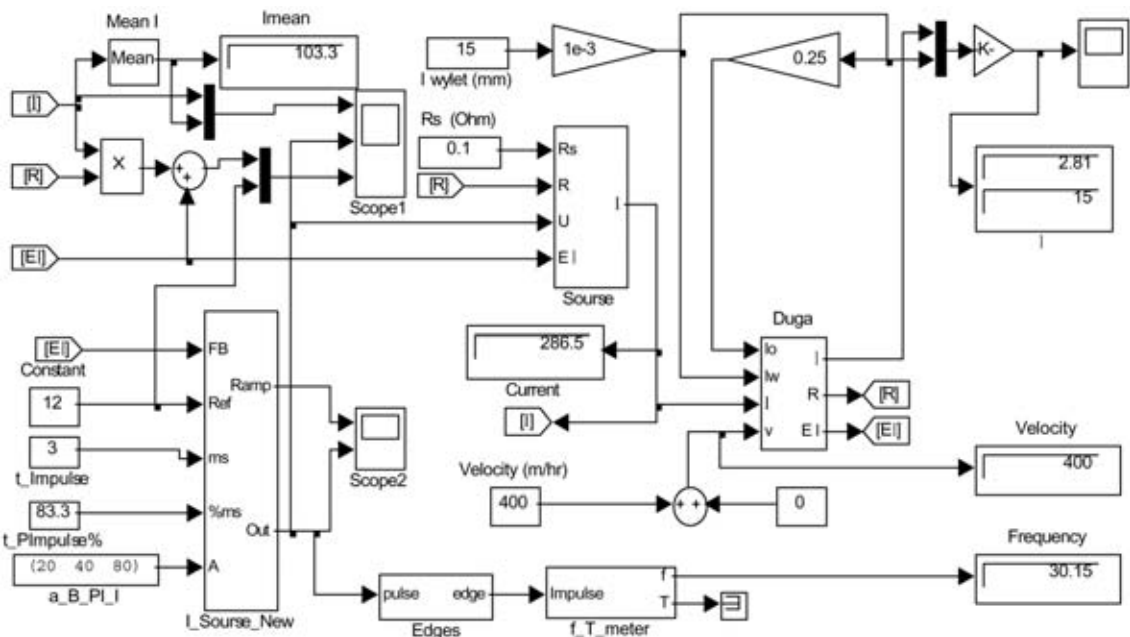


Рис. 1. Блок-схема системы «источник питания — дуга с плавящимся электродом» для моделирования в пакете MATLAB

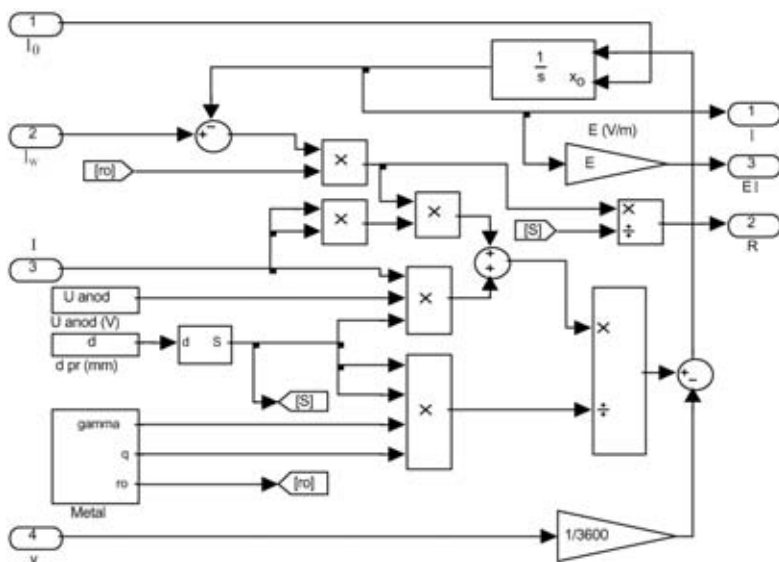


Рис. 2. Блок, моделирующий сварочную дугу с плавящимся электродом

рочный ток I ; скорость подачи сварочной проволоки v . Выходные параметры блока «Duga»: длина дуги l ; сопротивление электродной проволоки R ; падение напряжения на дуге El (где E — напряженность электрического поля в столбе дуги). Основным входом (3) является сварочный ток I , а выходом (1) — длина дуги l . Остальные входы параметрические, т. е. задающие параметры.

С помощью блока «Duga» численно решается нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее динамику изменения длины дуги при плавлении электрода [1]:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{SU_A i + \rho(l_w - l)i^2}{\gamma S^2 [c(T_{\text{melt}} - T_0) + \lambda]} - v,$$

где S — площадь поперечного сечения электрода; U_A — прианодное (или прикатодное, в зависимости от полярности тока сварки) падение напряжения с учетом потенциала выхода; i — мгновенное значение сварочного тока; ρ — удельное электрическое сопротивление металла электрода; γ , c — соответственно плотность и удельная теплоемкость металла электрода; T_{melt} — темпера-

тура плавления металла; T_0 — температура проволоки при выходе из мундштука; λ — удельная теплота плавления металла; v — скорость подачи проволоки.

Как видно из рис. 2, в блок «Duga» входит блок «Metal». Это параметрический блок, в котором задаются тепло- и электрофизические характеристики металла электродной проволоки. В блоке «Metal» также вычисляется параметр q ($q = c(T_{\text{melt}} - T_0) + \lambda$ — константа, описывающая теплофизические свойства металла электродной проволоки, который поступает на выход блока для дальнейшего использования в блоке «Duga».

Наряду со стандартными блоками использован дополнительный блок « d , S », который по диаметру электродной проволоки d вычисляет площадь ее поперечного сечения S (рис. 2).

Ядром блока «Duga» является блок-интегратор, который собственно решает дифференциальное уравнение путем интегрирования

$$l = \int \left(\frac{SU_A i + \rho(l_w - l)i^2}{\gamma S^2 [c(T_{\text{melt}} - T_0) + \lambda]} - v \right) dt + l_0.$$

Вход интегратора x_0 используется для задания начального значения l_0 .

Блок, моделирующий электрическую цепь «Source», приведен на рис. 3. Основным входом блока является падение напряжения на дуге « El », остальные входы параметрические. Выходом является сварочный ток I . Как и в блоке «Duga», в блоке «Source» используются стандартные блоки Simulink: умножитель, делитель, сумматор, масштабный коэффициент. Блоком, который несет основную нагрузку, является интегратор с дополнительным входом для ввода начального значения. Этот блок решает дифференциальное уравнение, которое описывает электрическую цепь [1]:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} \left(U_{ps} - R_s i - \rho \frac{l_w - l}{S} i - El \right),$$

где L — индуктивность источника питания и подводящих кабелей; U_{ps} — напряжение источника питания дуги, которое может быть как постоянным, так и импульсным; R_s — активное сопротивление источника питания и подводящих кабелей.

Решение производится таким же образом, как и в блоке «Duga», т. е.

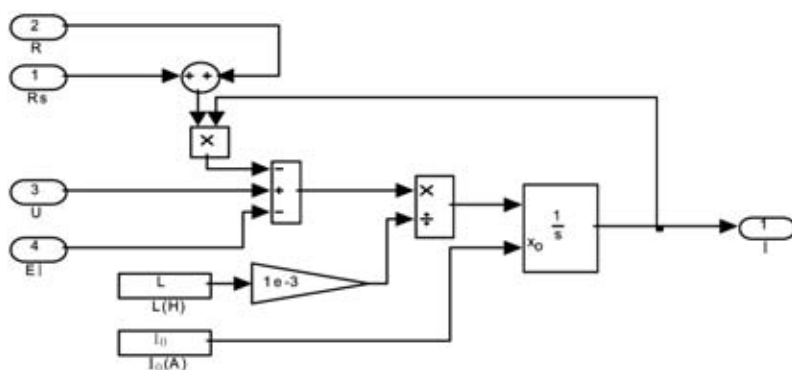


Рис. 3. Блок, моделирующий электрическую цепь

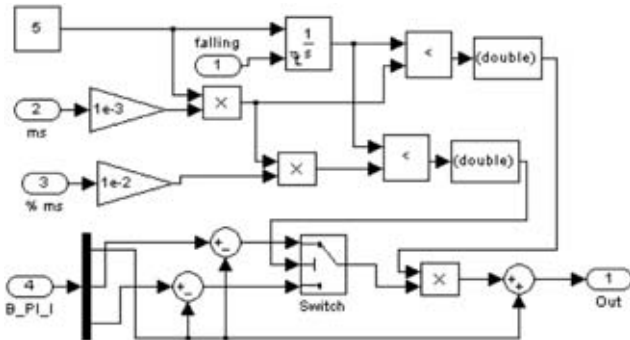


Рис. 4. Блок, моделирующий источник питания для импульсно-дуговой сварки

дифференциальное уравнение сводится к интегральному:

$$i = \int \left(\frac{1}{L} (U_{ps} - R_s i - \rho \frac{l_w - l}{S} i - El) \right) dt + i_0.$$

Если необходимо рассматривать источник питания постоянного тока, то вход «U» связывается с блоком «Constant», который задает напряжение холостого хода (см. рис. 3). Если исследуется источник питания, выходное напряжение которого зависит от времени, этот вход должен связываться со специализированным блоком. Состав блока «I_Source_New», моделирующего источник питания для импульсно-дуговой сварки, представлен на рис. 4.

Блок «I_Source_New» состоит из двух частей: формирователя амплитудных и временных характеристик сварочного тока (блок «PI-I») и регулятора по среднему значению за период. Регулятор интегрирует разность между сигналом обратной связи U_{FB} и сигналом задания U_{Ref} .

$$\int (U_{FB} - U_{Ref}) dt.$$

При достижении сигналом нулевого значения регулятор вырабатывает перепад из логической единицы в логический нуль (задний фронт). Этим перепадом интегратор обнуляется, а также запускает блок «PI-I», который формирует импульсы высокого и низкого уровней сварочного тока (в случае ступенчатого импульса). Приравняв интеграл нулю, регулятор вырабатывает длительность, которая обеспечила бы стабильность среднего за период значения

$$\int_0^T U_{FB} dt = U_{Ref}$$

Блок «Constant» (5) подает постоянный сигнал на вход интегратора, который периодически обнуляется задним фронтом по входу «falling» (1). На выходе интегратора формируется пилообразный сигнал, который посредством двух компараторов «<» сравнивается с уровнями, которые со-

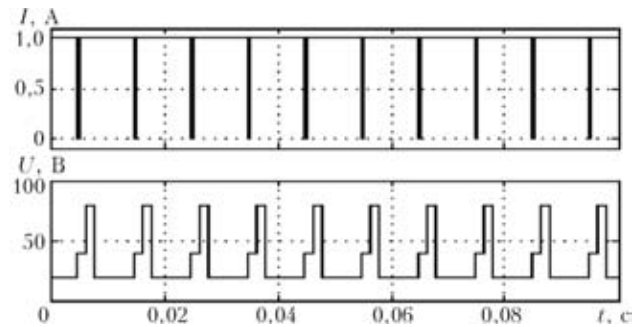


Рис. 5. Временные диаграммы, демонстрирующие работу блока формирователя

ответствуют длительностям низкого и высокого уровней сварочного тока. Ключ «Switch» подает сигналы, соответствующие амплитуде низкого и высокого уровня импульса на выход «Out» (1) блока «PI-I» в соответствующие интервалы времени. Когда время больше длительности импульса, на выход «Out» подается сигнал, соответствующий базовому току.

На рис. 5 приведены временные диаграммы работы блока «PI-I» для импульсно-дуговой сварки со следующими параметрами: напряжение базового тока, напряжение импульса нижнего и верхнего уровня 20, 40, 80 В соответственно, длительность импульса 3 мс, импульс верхнего уровня 1,5 мс (50 % импульса) при частоте задания от внешнего генератора 100 Гц.

Схему, приведенную на рис. 1, применяли при моделировании импульсно-дуговых источников питания дуги с заданием частоты следования импульсов внешним генератором [1]. Аналогичные, но модернизированные схемы, использовали при создании систем автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге и тока сварки с воздействием на частоту следования импульсов и скорость подачи сварочной проволоки [5].

Выводы

1. Опыт использования компьютерных программ MATLAB при моделировании импульсно-дуговых систем показывает перспективность применения этого пакета при создании нового сварочного оборудования.

2. При решении исследовательских задач и в учебном процессе целесообразно использовать разработанные блок-схемы для моделирования систем, содержащих дугу с плавящимся электродом, и импульсные источники питания, позволяющие решать нелинейные дифференциальные уравнения, которые описывают динамику изменения длины дуги при плавлении электрода и сварочного тока.

1. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М. Численное моделирование системы источник питания—дуга с плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 2004. — № 12. — С. 10–16.



2. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. — 616 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 6/ 6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 576 с.
4. А. с. 4696750/27 СССР, МКП⁵ В 23 К 9/09. Источник тока для импульсно-дуговой сварки / В. М. Павшук, П. П. Шейко. — Заявл. 31.05.89; Оpubл. 07.10.91, Бюл. № 37. — 6 с.
5. Жерносеков А. М. Системи автоматичної стабілізації процесу імпульсно-дугового зварювання плавким електродом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К., 2006. — 19 с.

Block diagrams have been developed for simulation of welding systems containing a consumable electrode arc in MATLAB software package. Simulation allows staging numerical experiments, solving non-linear differential equations, describing the dynamics of variation of the arc length at electrode melting and of welding current.

Поступила в редакцию 22.09.06

УДК 621.791:629.113

ОБЛЕГЧЕННЫЕ СВАРНЫЕ БАЛЛОНЫ ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТА

М. М. САВИЦКИЙ, д-р техн. наук, **А. А. САВИЧЕНКО**, **В. М. КУЛИК**, кандидаты техн. наук,
А. Ф. ЛУПАН, **Г. М. МЕЛЬНИЧУК**, **Л. А. ЧЕРТОРЫЛЬСКИЙ**, **Н. А. ГОЛУБ**, **В. А. СУПРУНЕНКО**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описана конструкция сварного баллона для автотранспорта с композиционной оболочкой. Отмечена возможность производства облегченных баллонов различных типоразмеров с удельной массой 0,60...0,65 кг/л. Гарантированный срок эксплуатации баллонов составляет 15...20 лет.

Ключевые слова: дуговая сварка, высокопрочная сталь, композиционная оболочка, облегченный баллон, удельная масса

Загрязнение окружающей среды токсичными продуктами сгорания горючего достигает в крупных городах 70 % общего загрязнения. Использование в качестве моторного топлива природного газа (метана) снижает выбросы CO, углеводородов, оксидов азота и исключает выбросы соединений свинца. Кроме того, эквивалентное количество газа в 2-3 раза дешевле бензина.

Для работы автомобилей на сжатом метане применяют баллоны с рабочим давлением до 19,6 МПа. В настоящее время на грузовом транспорте и автобусах в Украине эксплуатируются автомобильные баллоны из углеродистых и легированных сталей с удельной массой 1,25 и 1,86 кг/л. Для использования баллонов на легковых автомобилях и сельскохозяйственных машинах их удельная масса должна быть не более 0,7...0,8 кг/л, что возможно путем увеличения прочности конструкционного материала до $\sigma_b \geq 1275$ МПа при использовании труб из никельсодержащей стали 20ХН4ФА для горячей закатки днищ и горловин. В связи с отсутствием в Украине производства качественных равнотолщинных труб требуемого размера при изготовлении таких баллонов трубы размером 219×8,5 мм приходится протачивать изнутри и снаружи до размера 215×4,5 мм.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны конструкция (рис. 1) [1] и технология изготовления сварного комбинированного баллона удельной массой 0,60...0,65 кг/л. Герметичный корпус, состоящий из прямошовной обечайки 1 и двух штампованных днищ 4 одинаковой толщины со стыковыми соединениями 3, изготавливают из листовой высокопрочной легированной стали с применением аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом [2]. В листовом прокате толщиной 3...6 мм предельное отклонение по толщине в 3-4 раза меньше, чем в трубах, а процесс производства его на металлургических предприятиях хорошо налажен. Получаемые соединения характеризуются мелкокристаллической структурой и плавными переходами от шва к основному металлу на границе сплавления. Заданный химический состав и комплексная обработка продольного шва обеспечивают его равнопрочность и сообщают ему достаточно высокую конструктивную и усталостную прочность.

Учитывая, что в цилиндрической части корпуса напряжения в 2 раза больше, чем в полусферических днищах, на ней формируется усиливающая композиционная оболочка 2 заданной толщины стенки путем поперечной намотки с натяжением стеклянных волокон, пропитываемых эпоксидным связующим, и полимеризации при повышенных температурах. В цилиндрической части сварного корпуса композиционной оболочкой создаются кольцевые напряжения сжатия, ко-

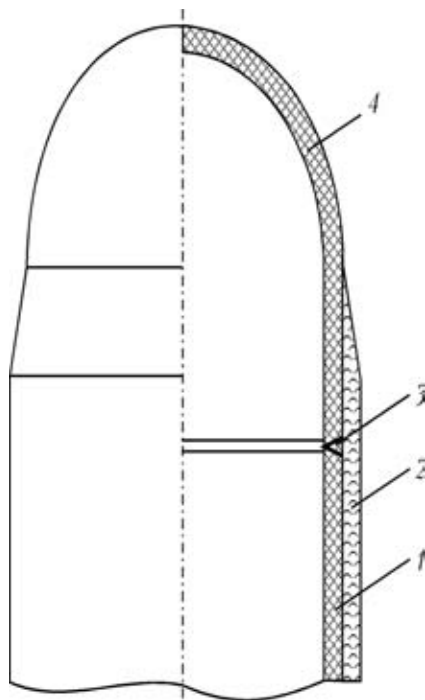


Рис. 1. Схема комбинированного баллона со сварным корпусом из листовой стали: 1 — обечайка; 2 — оболочка; 3 — стыковое соединение; 4 — днище

торые частично компенсируют кольцевые напряжения растяжения в металле при рабочем давлении, в результате чего работоспособность баллона повышается. Уменьшение толщины стенки стального корпуса путем усиления его цилиндрической композиционной оболочкой обеспечивает снижение удельной массы автомобильного баллона. Таким образом могут быть изготовлены автомобильные баллоны (рис. 2) различных типовых размеров по толщине стенки, диаметру и длине, которую можно изменять как за счет длины вальцующей заготовки, так и сварки нескольких обечаек кольцевыми швами.

При гидравлических испытаниях комбинированные баллоны вместимостью 20, 30 и 60 л (длина 610, 845 и 1575 мм) выдерживают внутреннее давление не менее 52 МПа, что более чем в 2,6 раза превышает рабочее давление. В зависимости от соотношения толщины стенки стального кор-



Рис. 2. Внешний вид комбинированных сварных баллонов различных типовых размеров

пуса и композиционной оболочки комбинированные баллоны могут изготавливаться диаметром 200...400 мм. Они выдерживают от 15000 до 24000 циклов нагружений внутренним давлением, причем после 15000 циклов коэффициент запаса прочности не уменьшается и сохраняется более 2,6. Приведенные количества циклов нагружений (заправок) баллона обеспечивают минимальный (15) и максимальный (20 лет) сроки эксплуатации [3] из расчета (менее 1000 циклов нагружений в год).

Технология изготовления комбинированных баллонов со сварным корпусом вместимостью 28...50 л диаметром 219 мм освоена предприятиями г. Киева, а также осваивается в г. Фастове (сварные баллоны диаметром 335 мм вместимостью 50, 70 и 100 л) и в г. Симферополе (баллоны диаметром 360 мм). В качестве конструкционного материала используется относительно недорогая листовая сталь 30ХГСА, не содержащая дефицитных легирующих элементов и давно производимая в Украине.

1. Пат. Україна 61162. Балон тиску / Б. Є. Патон, М. М. Савицький, В. М. Кулик та ін. — 2003. — Бюл. № 11. — 6 с.
2. Пат. Україна 55385. Спосіб зварювання металів і сплавів у середовищі захисного газу / М. М. Савицький, В. М. Кулик, А. П. Лупан, Г. М. Мельничук. — 2003. — Опубл. 15.04. Бюл. № 4. — 6 с.
3. ДСТУ UNECE R 110-00:2002.

Design of a welded cylinder for motor transport with a composite shell is described. Possibility of production of light-weight cylinders of different typesizes with the specific weight of 0.60...0.65 kg/l is outlined. Guaranteed life of the cylinders is 15...20 years.

Поступила в редакцию 09.10.2006



СИСТЕМА ВОДОСТРУЙНОЙ РЕЗКИ ФИРМЫ «ALIKO»

Фирма ООО «Aliko Automation» предлагает своим клиентам прогрессивное решение для обработки плотного материала

Система водоструйной резки (рисунки), разработанная фирмой, используется для обеспечения особо точной резки, а также для резки материалов, обработка которых традиционными способами затруднительна. Система водоструйной резки изначально была разработана именно для водоструйной резки.

Достоинства оборудования

- Превосходная точность $\pm 0,1$ мм: устойчивая стальная конструкция гарантирует точность резки
- Максимум долговечности: места, подверженные проникновению влаги и попаданию грязи, защищены силиконовым уплотнителем
- Легкое в применении цифровое программное управление CNC предоставляет возможности для изготовления изделий как поштучно, так и целыми сериями
- Почти неограниченная длина резки: программа задания максимальной длины резки равна объему записи жесткого диска

Глубокая обработка

При водоструйной резке с использованием наконечников поступающая тонкая водяная струя со скоростью, в три раза превышающей скорость звука, пронзает любой материал от стали до стекла, камня и пластмассы. Станок X-Y ALIKO пред-



назначен, главным образом, для глубокой обработки плотного материала.

Точное управление

За ходом резки следит точное цифровое программное управление ALIKO (ЦПУ/СМС), разработанное фирмой «Aliko». Используемую программу автоматизированного проектирования/производства можно интегрировать с разнообразным программным обеспечением.

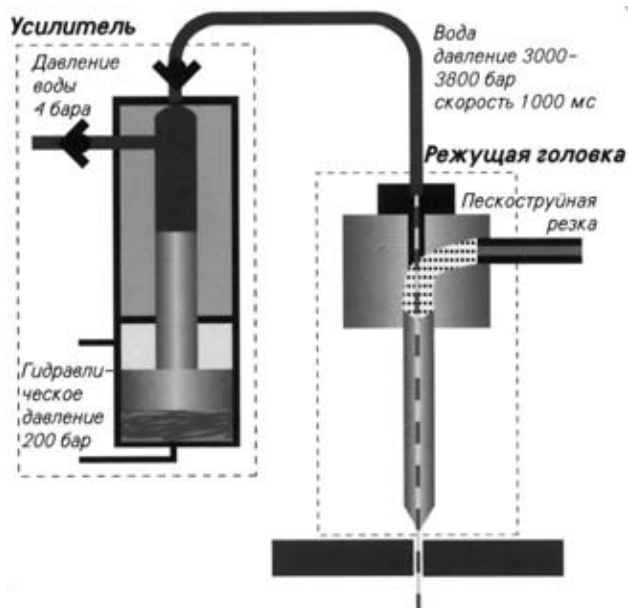
- Понятный пользовательский интерфейс
- Станок X-Y ALIKO управляется с помощью понятного интерфейса ALIX на базе Windows.
- ALIX обладает большим числом функций, упрощающих его использование, таких как задний ход, точная настройка скорости резки и имитация резки.
- Все важные параметры для резки можно сохранить в специальной библиотеке для последующего использования.
- Отдельный режущий блок легко подключить к локальной сети предприятия.

Эффективный метод

С помощью воды можно вырезать сложные формы, отверстия и углы. Посредством данного метода можно сразу изготовить конечные детали, отверстия и т. п., тем самым, этот метод значительно сокращает объем дополнительных работ.

Водоструйная резка не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. В процессе резки не образуются вредные газы. Водоструйная резка не деформирует деталь, поскольку тепловая энергия не оказывает на нее воздействия. Готовые изделия сохраняют свою первоначальную структуру поверхности.

Метод подходит для различных материалов. Прочный материал режут с помощью смеси песка и воды, подаваемых под высоким давлением. Чистую воду используют при резке мягкого и тонкого материала.





НКМЗ ЗАВЕРШАЕТ МАСШТАБНУЮ РЕКОНСТРУКЦИЮ ТОЛСТОЛИСТОВОГО СТАНА 2800 НА АЛЧЕВСКОМ МЕТКОМБИНАТЕ

«С НКМЗ можно строить будущее», — так сказал председатель совета директоров корпорации «Индустриальный союз Донбасса» (ИСД) Сергей Тарута, оценивая работу нового современного толстолистого прокатного стана 3000 (ТЛС 3000), поставленного новокраматорцами на Алчевский металлургический комбинат (АМК). 7 ноября на стане выполнена пробная прокатка. Сейчас завершаются последние наладочные работы. С каждым днем шаг за шагом стан реализует новые функции и приближается к работе в автоматическом режиме. Конструкторский надзор и наладку стана выполняют сегодня большая группа специалистов НКМЗ и более тысячи представителей других фирм. Официальный пуск должен состояться в ближайшее время, но и в процессе наладки стан выпускает товарную продукцию.

ТЛС 3000 — результат масштабной реконструкции его предшественника ТЛС 2800, для которой новокраматорцы изготовили около 7 тыс. т интеллектуального оборудования. Теперь по качеству получаемого проката, уровню возможностей и автоматизации технологических процессов ТЛС 3000

соответствует аналогичным станам, выпускаемым известными мировыми брендами «Фест Альпине» (Австрия), «Маннесманн Демаг» (Германия).

Металлурги, осваивая новые возможности ТЛС 3000 и сравнивая его с предшественником, убеждаются — это действительно современный прокатный комплекс, на котором к тому же комфортно работать.

Заказчики довольны. Делясь впечатлениями после осмотра стана, Сергей Тарута сразу же отметил как тихо (по шкале металлургов) работает новый стан, а рядом с ТЛС 2800 — голос тонул в оглушающем грохоте. Он подчеркнул, что возможности нового стана в комплексе с работающей линией непрерывной разливки стали производства «Фест Альпине», позволят алчевским металлургам освоить выпуск проката самых ответственных марок стали: высокопрочных — для трубной промышленности и износостойких — для машиностроения, и внедриться в новые сегменты рынка.

Впечатлил новый стан и члена правления, руководителя металлургического сектора «Фест Альпине» Карла Грубера. Он сказал, что «ТЛС 3000 — это очень удачные инвестиции для корпорации ИСД, которые обеспечат ей хорошие преимущества». Карл Грубер поздравил коллектив НКМЗ, создавший новый стан, и пожелал новокраматорцам дальнейших успехов.

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

В. Л. Князьков (АНО «Кузбасский центр сварки») защитил 14 декабря 2006 г. кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счет автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу».

В работе показано, что причинами низкой производительности и низкого качества сварных соединений при ручной дуговой сварке электродами с покрытием относительно тонкостенных металлоконструкций (трубопроводов) в пространственных положениях, отличных от нижнего, является отсутствие у сварщика возможности регулирования тепловой мощности дуги в зависимости от теплофизической обстановки в зоне сварки без прерывания горения дуги и использования в полной мере сварочно-технологических свойств электродов с основным покрытием на режимах, рекомендованных в нормативной документации.

Предложена модель переноса электродного металла при сварке модулированным током, учитывающая геометрическую форму втулочки, образующейся при плавлении покрытия, и как одну из основных сил силу давления газов, образующихся при разложении газообразующих компонентов покрытия.

Предложены методы активного управления тепловой мощностью дуги с импульсной модуляцией параметров режима, реализующие концепцию «машина–человек–технология», при которых модулирующим параметром является напряжение дуги U_d (его отклонение от заданного U_z не более чем 2 В), а модулируемыми параметрами являются длительности протекания тока основных импульсов и основных пауз. Разработана методика обоснованного определения амплитудного значения тока основных и дополнительных импульсов и заданного напряжения дуги U_z , при которых максимально проявляются лучшие сварочно-технологические свойства электродов с покрытием.



Экспериментально установлено, что разработанные методы активного управления тепловой мощностью сварочной дуги позволяют регулировать объем сварочной ванны без прерывания дуги снижением среднего значения тока $I_{ср}$ до 30 А без снижения технологической устойчивости процесса (электродами марок ЦУ-5 и ЦЛ-39 диаметром 2,5 мм).

Экспериментально установлено, что частота дополнительных импульсов — $f_{и,доп}$ более 50 мс и длительностью дополнительных импульсов — $t_{и,доп}$ в пределах 0,5...2 мс устраняет вредное воздействие на зрительную функцию сварщика пульсаций светового потока и одновременно обеспечивает высокую устойчивость горения дуги и тех-

нологическую устойчивость процесса на интервале основной паузы — $t_{п}$.

Выполненные экспериментальные исследования показали, что при сварке с импульсной модуляцией сварочного тока в диапазоне средних значений тока, равных диапазону значений тока в стационарном режиме, рекомендованных в нормативной документации, сварочно-технологические свойства электродов ЦУ-5 и ЦЛ-39 выше не менее чем на 30 %; содержание легирующих элементов в наплавленном электродами типа Э-09Х1МФ металле выше (С — 0,015 %; Si — 0,12 %; Mn — 0,2 %; V — 0,05 %), содержание Cr и Mo при сварке модулированным током зависит от величины $I_{и}$ и не зависит от величины $I_{ср}$.

УДК 621.79(088.8)

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 величиной нагрузки, необходимой и достаточной для формирования сжимающих напряжений в критических участках наплавленной детали, в которых возможна наибольшая вероятность разрушения. Патент РФ 2264281. М. В. Павлов, А. С. Анфилофьев, В. Б. Цкипуришвили [32 за 2005 г.].

Устройство для термической резки труб, отличающееся тем, что тележка, перемещаемая по рельсам основания, снабжена установленными на предусмотренных консолях валов пары приводных ходовых колес с их внешней стороны зубчатыми шестернями, взаимодействующими с зубчатыми рейками, закрепленными на основании параллельно рельсам, при этом диаметр делительной окружности зубчатых шестерен равен наружному диаметру приводных ходовых колес. Патент РФ 2278769. О. М. Фартушный, Б. И. Самохин, В. В. Машечков и др. (ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения») [18].

Устройство автоматического управления положением сварочной горелки, содержащее источник питания дуги, шунт в сварочной цепи, сварочную горелку, датчик сварочного тока, первый аналоговый коммутатор, первую — одиннадцатую аналоговые памяти, первое — двенадцатое устройства сравнения, первую — одиннадцатую постоянные аналоговые памяти, первый и второй сумматоры, первый, второй и третий компараторы, первый и второй аналоговые ключи, усилитель привода управления высотой, привод управления высотой и привод движения сварочной горелки поперек стыка для управления движением сварочной горелки. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2278770.

Э. М. Соколов, В. М. Панарин, Н. И. Воронцов и др. (Тульский ГТУ) [18].

Способ электродуговой сварки неподвижным плавящимся электродом, отличающийся тем, что плавящийся электрод формируют из M пластин толщиной δ и длиной, не превышающей произведения скорости сварки на интервал времени, соответствующий нагреву сварочным током каждой пластины до заданной допустимой температуры, пластины располагают последовательно друг за другом с продольным зазором длиной $l_1 = (1 + 4)\Delta$ между обращенными друг к другу торцами рядом расположенных пластин и по всей длине зазора между соединяемыми изделиями, пластины дополнительно электрически изолируют друг от друга диэлектрическим материалом толщиной, равной длине продольного зазора, причем каждую пластину подключают к соответствующему полюсу источника питания с помощью соответствующего токоподвода, который устанавливают на расстоянии $l_2 = (1 + 6)\delta$ от ее хвостового торца, а электрическую дугу зажигают между нижней частью переднего торца первой пластины и изделиями. Патент РФ 2278771. В. О. Бушма, Д. В. Калашников [18].

Способ изготовления режущего инструмента с припаянной режущей пластинкой, включающий формирование лунки на поверхности режущей пластинки, припайвание ее к корпусу-державке и охлаждение, отличающийся тем, что на поверхности корпуса-державки в месте припайвания режущей пластинки формируют лунки, диаметр которых равен 0,1...0,2 толщины режущей пластинки, а глубина равна величине зазора между деталями. Патент РФ 2279338. А. Н. Тарасов, В. Н. Тилюпалов, В. А. Макаровский (Калининградский ГТУ) [19].

Способ сварки открытой дугой, сварной шов и расходный электрод, включающий подачу в место сварки трубчатого расходного электрода с азотсодержащим сердечником для получения шва, содержащего азот, отличающийся тем, что используют электрод с содержанием хрома в сердечнике в пределах 17...30 мас. % и азота до 0,3 мас. %. Патент РФ 2279339. С. Этамерт, В. К. Стекли, Ж.-Л. Делла (Велдинг Эллойз Лимитед, Великобритания) [19].

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2006 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



Электрододержатель для ручной дуговой сварки, отличающийся тем, что элемент для крепления электродов выполнен сменным, длиной, не более двух длин полый рукоятки, причем один конец соединен с кабелем для подвода сварочного тока, а другой, выступающий за рукоятку, — с электродом. Патент РФ 2279340. В. В. Битюков, В. И. Лизенко [19].

Плазменная горелка с контактным возбуждением, содержащая катодное тело, предназначенное для электрического соединения с отрицательным выводом источника питания; анодное тело, предназначенное для электрического соединения с положительным выводом источника питания; первичный газовый канал для подачи рабочего газа от источника рабочего газа через горелку; токопроводящий элемент, выполненный из электропроводного материала и смонтированный без жесткого соединения с катодным телом и анодным телом; горелка, работающая между холостым режимом, в котором токопроводящий элемент создает токопроводящую дорожку между катодным телом и анодным телом, и дежурным режимом, в котором формируется вспомогательная дуга между токопроводящим элементом и, по меньшей мере, одним из указанного катодного тела и указанного анодного тела и предназначенная для ввода горелки в рабочий режим путем подачи рабочего газа в первичный газовый канал в горелку в виде ионизированной плазмы. Приведены отличительные признаки горелки. Патент РФ 2279341. Д. П. Джоунс, Р. В. Хьюитт, К. Д. Хорнер-Ричардсон, Д. А. Смол (Термал Дайнемикс Корпорейшн, США) [19].

Флюс для сварки сталей, покрытых алюминием, отличающийся тем, что флюс дополнительно содержит криолит, при следующем соотношении компонентов, мас. %: 7,1...11,8 цирконового концентрата; 22,9...37,6 никеля; 9...12,6 плавикового шпата; 41...57,4 криолита. Патент РФ 2279342. А. И. Ковтунов, В. П. Сидоров, В. А. Лабзин, Т. В. Чермашенцева (Учебный центр «Спектр») [19].

Способ электрошлаковой наплавки прокатных валков в вертикальном положении, отличающийся тем, что в токоподводящей секции кристаллизатора выполняют дополнительные вертикальные пазы, в которых устанавливают изолирующие прокладки, разделяющие токоподводящую секцию на секционные элементы равной длины, источник питания выполняют многофазным, при этом делают число его фаз равным числу секционных элементов, к одному концу каждого из секционных элементов осуществляют токоподвод от одного полюса одной фазы многофазного источника питания, порядок следования фаз устанавливают в соответствии с порядком расположения секционных элементов по периметру вала, вторые полюса многофазного источника питания соединяют в общую точку и подключают к токоподводящему поддону, на каждый из секционных элементов от источника питания поочередно подают импульсы напряжения, чередуя их с бестоковой паузой. Патент РФ 2279954. И. С. Сарычев, В. Н. Мещеряков, В. П. Меринов [20].

Способ образования стыковых сварных швов на трубах, отличающийся тем, что сборку труб выполняют, достигая контакта по торцам, симметрично контактной поверхности на внешней поверхности сопрягаемых концов труб размещают промежуточный элемент в виде втулки из присадочного материала, производят холодный обжим соединяемых элементов путем приложения радиального сжимающего усилия к внешней поверхности втулки, формируя контактное остаточное напряжение между соединяемыми элементами, выполняют сплавление материала втулки с материалом труб, после чего горячий стык подвергают радиальному обжиму на оправке с окончательным формированием внутренней поверхности стыка операцией дорнования, для чего после

сплавления в полость, образуемую трубами, вводят дорн. Патент РФ 2279955. С. И. Козий, Г. А. Батраев, С. С. Козий (Самарский ГЭУ им. акад. С. П. Королева) [20].

Способ изготовления штампа холодного деформирования, включающий наплавку на рабочую часть штампа сварочного материала, отличающийся тем, для наплавки используют сварочный материал, дополнительно содержащий ванадий и молибден при следующем соотношении компонентов: 0,5...1,5% Co; 0,2...2,0% Si; 0,3...6,0% Mn; 0,3...10% Cr; 0,3...10% Cu; 0,3...2,0% V и 5,0...10,0% Mo, неизбежные примеси и Fe — остальное, наплавленный металл охлаждают со скоростью, выше критической скорости закалки, в температурном интервале $A_{r1} \div 600$ °C, а после обработки холодом наплавленный металл подвергают отпуску. Патент РФ 2279956. Е. Н. Зубкова, Н. С. Зубков, А. А. Золотов, Д. В. Булкин (Тверской ГТУ) [20].

Припой на основе меди для пайки разнородных соединений бериллия с конструкционными сплавами, отличающийся тем, что он дополнительно содержит бериллий, марганец, титан, железо, алюминий, кремний, магний, никель при следующем соотношении компонентов, мас. %: 1,65...2,0 бериллия; 0,5...0,7 марганца; 0,3...0,5 титана; 0,2...0,4 никеля; 0,15...0,25 железа; 0,1...0,2 магния; 0,1...0,15 алюминия, 0,1...0,15 кремния, остальное — медь. Патент РФ 2279957. Е. Н. Каблов, А. Н. Фоканев, В. С. Каськов и др. [20].

Универсальный стенд для сборки под сварку плоских решетчатых металлоконструкций, отличающийся тем, что между ложементами поддона из легкоплавкого сплава установлены биметаллические пластины для приподнятия металлоконструкции над затвердевшим легкоплавким сплавом и дополнительные нагреватели, соединенные с источником тока, для нагрева указанных биметаллических пластин. Патент РФ 2279958. А. А. Котельников, Т. В. Алпеева (Курский ГТУ) [20].

Горелка для дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах, отличающаяся тем, что на поверхности корпуса цангодержателя установлен асбестоцементный изолятор с посаженной на него латунной втулкой, зафиксированный на корпусе при помощи прижимного кольца-распределителя, выполненного с цилиндрической поверхностью, переходящей в коническую с радиальными отверстиями, перпендикулярными оси сопла, которое закреплено на латунной втулке. Патент РФ 2280545. В. Е. Орехов [21].

Инструмент для фиксации лопаток и его применение для сварки лопаток трением, отличающийся тем, что он содержит раму, имеющую боковые удерживающие поверхности, выполненные с возможностью поперечного удержания лопатки, верхняя из которых расположена вблизи верхней части устанавливаемой лопатки, и две нижние — вблизи нижних частей передней и задней кромок лопатки, подвижный замок, установленный на раме напротив верхней удерживающей поверхности, две подвижные зажимные губки, установленные на раме с возможностью перемещения в направлении к нижним частям передней и задней кромок устанавливаемой лопатки, приблизительно совпадающих, но не совмещенных, и также установленные приблизительно по направлению к нижним удерживающим поверхностям, систему управления зажимными губками и две горизонтальные удерживающие поверхности. Патент РФ 2280546. А. К. Ф. Колло, Ж.-П. Ферт (Снекма Мотёр, Франция) [21].

Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях сталей аустенитного класса, отличающийся тем, что внешнее воздействие осуществляют в процессе кристал-



лизации металла введением в околошовную зону ультразвуковых колебаний частотой 22,1...22,7 кГц. Патент РФ 2280547. А. И. Трофимов, С. И. Минин, В. Н. Деметьев (Обнинский ГТУ атомной энергетики) [21].

Флюс для низкотемпературной пайки алюминия и его сплавов, отличающийся тем, что он содержит загуститель — ацетамид, а в качестве активатора — бифторид аммония, при следующем соотношении компонентов, мас. %: 43...75 триэтанолamina; 25...50 бифторида аммония; 0...7 ацетамида. Патент РФ 2280548. В. Е. Дьяков [21].

Способ контактной стыковой сварки оплавлением, отличающийся тем, что контроль изменения физического состояния оплавляемых деталей осуществляют следующим образом: до начала оплавления устанавливают эталонные значения определенного интеграла по времени произведения текущих значений сварочного тока на сварочное напряжение, которые определяют заранее опытным путем, устанавливают эталонные значения укорочения свариваемых деталей для каждого из значений определенного интеграла по времени, а в процессе оплавления измеряют текущие значения сварочного тока и сварочного напряжения, вычисляют произведения указанных текущих значений и определенный интеграл по времени указанного произведения, при этом при достижении определенным интегралом по времени эталонного значения замеряют соответствующее ему укорочение свариваемых деталей, сравнивают измеренное значение укорочения с эталонным путем вычитания эталонного значения из измеренного, причем при положительном результате вычитания сварочное напряжение снижают, а при отрицательном повышают. Патент РФ 2281190. Д. И. Беляев, А. В. Бондарук, А. В. Гудков и др. [22].

Устройство для герметичного закрывания и разрезания участка трубы за счет устройства ультразвуковой сварки, включающего в себя волновод — концентратор с двумя первыми, дистанцированными друг от друга сваривающими поверхностями, которые согласованы с двумя вторыми сваривающими поверхностями противоположного электрода, и проходящим между двумя первыми сваривающими поверхностями и выступающим над первыми сваривающими поверхностями разделительным или режущим элементом, который согласован с пазом между двумя вторыми сваривающими поверхностями противоположного электрода, отличающееся тем, что ширина отмытой области паза меньше, чем ширина донной области паза. Патент РФ 2281191. Р. Мершнер, У. Вагенбах (Штапла Ультрашаль-Техник, ГмбХ, Германия) [22].

Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях металлов, отличающийся тем, что в процессе сварки на кристаллизующийся металл сварного соединения воздействуют ультразвуковыми колебаниями от ультразвукового излучателя, который устанавливают на расстоянии 50...150 мм от оси сварного соединения в зависимости от режима сварки под углом 10...20° к плоскости сварного соединения. Патент РФ 2281192. А. И. Трофимов, С. И. Минин, В. Н. Делантьев, С. В. Нелюбов (Обнинский ГТУ атомной энергетики) [22].

Устройство для кислородной ручки металла, отличающееся тем, что излучатель ультразвука резки, расположенный concentрично внутреннему соплу, выполнен в виде кольцевого углубления на поверхности кольцевого выступа, выполненного на стенке центрального сprofilированного канала внутреннего сопла, с образованием острой кромки, направленной в сторону входного участка центрального сprofilированного канала внутреннего сопла. Патент РФ 2281839.

Ю. И. Пичугин, Ю. А. Шмелев [23].

Резак для газокислородной резки, содержащий головку с каналами подачи горючего газа, подогревающего и режущего кислорода, мундштук со средством для образования горючей смеси, соединенный с головкой и сопряженный с ней по конической поверхности с образованием раздельных имеющих входы и выходы кольцевых камер для горючего газа и подогревающего кислорода, хвостовик со штуцерами для подачи горючего газа и подогревающего кислорода, сообщенными с соответствующими каналами, и центральным штуцером для подачи режущего кислорода, сообщенным с проходящим через головку и мундштук центральным каналом для подачи режущего кислорода, имеющим на выходе мундштука коническую форму, и калиброванные отверстия для раздельной подачи горючего газа и подогревающего кислорода, сообщенные с выходом соответствующей кольцевой камеры. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2281840. А. Г. Корниенко, А. К. Никитин [23].

Способ контактной стыковой сварки оплавлением детали с неравномерным поперечным сечением, отличающийся тем, что свариваемое сечение разбивают на элементарные участки, для каждого из элементарных участков определяют K — коэффициент формы профиля как частное от деления его большего линейного размера на меньший, к элементарному участку с наименьшим коэффициентом профиля подводят наибольшее по величине сварочное напряжение, к элементарным участкам с более высокими коэффициентами профиля подводят соответственно более низкие по величине сварочные напряжения. Патент РФ 2281841. Д. И. Беляев, А. В. Бондарук, А. В. Гудков и др. [23].

Способ стыковой сварки, отличающийся тем, что используют сварочный элемент в виде полого шнура с термитным составом внутри, оболочка которого выполнена в виде слоя асбеста, размещенного внутри гофрированной картонной трубки, при этом шнур имеет клеевую основу, с помощью которой при размещении его фиксируют на всей длине стыка. Патент РФ 2281842. В. И. Трофимов, А. А. Максимов (Тверской ГТУ) [23].

Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей, отличающаяся тем, что стальная оболочка выполнена из ленты из аустенитной хромоникелевой стали, а сердечник дополнительно содержит ферросиликомарганец, мрамор, ферротитан при следующем соотношении компонентов, мас. %: 32,0...38,0 рутилового концентрата; 24,0...32,0 плавиково-шпатового концентрата; 1,0...7,0 оксида хрома; 5,0...12,0 хрома металлического; 0,5...5,0 порошка никелевого; 4,5...7,0 ферросиликомарганца; 7,0...13,0 мрамора; 3,0...9,0 ферротитана; 2,0...7,0 феррониобия; 0,6...5,0 феррованадия. Патент РФ 2281843. С. Н. Гаврилов, Д. Л. Поправка, В. Н. Очаков (Кубанский ГТУ) [23].

Кантователь для сборки и сварки изделий, состоящий из двух зеркальных синхронно работающих частей, каждая из которых содержит две стойки, состоящие из телескопически соединенных неподвижных и подвижных частей, траверсу, один конец которой шарнирно соединен с подвижной частью одной стойки, а другой конец выполнен с опорной поверхностью для подвижной части второй стойки, механизмы подъема и поворота траверсы и держатель изделия, установленный на траверсе с возможностью осевого перемещения и вращения. Патент РФ 2281844. А. С. Самогородский, В. И. Приходько, Ю. Н. Масловец и др. (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод») [23].



По зарубежным журналам*

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2006. — Рос. 50, № 3 (пол. яз.)

Dworak J. Техника лазерной сварки, результаты исследований и возможности применения, с. 27–32.

Papkala H. Рельефная сварка латуни, с. 33–38.

Klimpel A. et al. Автоматизированная плазменная сварка стыковых соединений листов из аустенитной стали AISI 321, с. 38–44.

Pasek-Siurek H., Piatek M. Технические и экономические условия процесса плазменной сварки и новое оборудование, разработанное в Институте сварки, с. 45–51.

Zeman W. Проектирование как элемент снижения стоимости сварных конструкций, с. 52–57.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2006. — Vol. 75, № 2 (яп. яз.)

Araki T. Красота природы и сварка, с. 3–4.

Sato M. Повышение скорости дуговой сварки под флюсом несколькими (4-мя) электродами, с. 5.

Специальный выпуск. Численные расчеты. Повышение достоверности прогнозирования многофазного переноса

Yabe T. Моделирование лазерной обработки методом кучбически интерполированных псевдочастиц, с. 7–9.

Koshizura S. Цифровой анализ методом частиц, с. 10–12.

Nakasumi Sh. Структурный анализ методом суперпозиции сеток, с. 13–16.

Noguchi H. Анализ взаимодействия жидкости и структуры бесситовым методом, с. 17–20.

Nakayama T. Курс лекций. Коррозионное растрескивание под напряжением углеродистой и низколегированной стали, с. 21–25.

Hirai Y. Курс лекций для практикующих инженеров. Напыление антикоррозионных покрытий на большие стальные мосты, с. 26–30.

Uchida M. et al. Газотермическое напыление антикоррозионных покрытий на стройплощадках, с. 31–35.

PRAKTIKER (Германия) 2006. — № 4 (нем. яз.)

В электропромышленности в 2006 г. ожидается прирост 2...3%, с. 102–105.

От слесарных работ до сертифицированной обработки листов, труб и профилей лазерным лучом, с. 106–107.

Voilrath K. Успешная реорганизация производства среднего предприятия прагматичными способами, с. 108–111.

Aichele G., Undi T. Сварка вольфрамовыми электродами в инертном газе (ВИГ-сварка) — в том числе в узкий зазор и при орбитальной сварке (Ч. 2), с. 112–118.

Lutz W. Короткое время такта: четыре сварочных робота для седельных прицепов, с. 122–123.

QUARTERLY JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY (Япония) 2006. — Vol. 24, № 1 (February) (яп. яз.)

Furukawa K. et al. Зависимость между режимом сварки и временным изменением усилия на электроде, с. 3–9.

Furukawa K. et al. Влияние давления электрода и режимов сварки на максимальную растягивающую нагрузку при сдвиге, с. 10–16.

Liu Z. et al. Гибридная сварка CO₂-лазер-МАГ высокопрочной стали 590 МПа, с. 17–25.

Suita Y. et al. Явление зажигания дуги при дуговой сварке полым вольфрамовым электродом в среде защитного газа с

* 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).



помощью метода зажигания дуги прикосновением электрода к изделию в вакууме, с. 26–31.

Naito Y. et al. Характеристики проплавления при гибридной сварке ТИГ-ИАГ-лазером и поведение дуги факела плазмы в процессе сварки, с. 32–38.

Naito Y. et al. Влияние окружающей атмосферы на геометрию проплавления при обычной лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварке, с. 39–44.

Naito Y. et al. Электрические измерения дуги в процессе гибридной сварки, с. 45–51.

Nakatani M., Ohji T. Влияние импульсного режима на форму проплавления шва, с. 52–56.

Komizo Y. et al. Наблюдение изменения фаз на месте при сварке плавлением заэвтектоидной углеродистой стали, с. 57–64.

Sonoya K. et al. Вязкость разрушения покрытий YSZ, полученных плазменным напылением, с. 65–69.

Miyazaki K. et al. Влияние расстояния от центра шва до установленного конца на остаточные напряжения и коэффициент интенсивности напряжений в сварных швах труб, с. 70–77.

Miyazaki K., Mochizuki M. Влияние распределения остаточных напряжений и геометрии компонентов на коэффициент интенсивности напряжений и характеристики роста поверхностных трещин, с. 78–86.

Fukumoto M. et al. Синтез и определение характеристик наноструктурных интерметаллических никель-алюминиевых смешанных покрытий, с. 87–92.

Sakamoto R. Компьютеризированные экспертные системы для переходного соединения в жидкой фазе, с. 93–99.

Sakamoto R. et al. Оптимизация переходного соединения в жидкой фазе суперсплава IN738LC на никелевой основе, с. 100–107.

Watanabe T. et al. Сварка в твердом состоянии стали и сплава магния с помощью вращающегося штыря, с. 108–115.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2006. — An. LVIII, № 1 (итал. яз.)

Scasso M. Мир сварки в начале третьего тысячелетия, с. 23–26.

Costa G., Lezzi F. Ежегодный конгресс Международного института сварки в Праге, 2005 г., с. 27–35.

Volpone M., Mueller S. Проблемы изготовления полуфабрикатов с защитным слоем грунтовок разного типа и толщины, с. 37–41.

Baratta F. et al. Эхо-импульсный метод неразрушающего контроля для оценки качества точечных швов, с. 43–54.

Rivela C., Galli R. Лазерная сварка полимеров, с. 59–64.

Di Summa P. et al. Обзор основных типов конструкций морских платформ и анализ отклонений, возникающих в процессе изготовления, с. 67–76.

Shackleton D. N. Док. МИС XI-836-05. Снижение риска разрушения в сварных компонентах, с. 79–83.

Источники питания для дуговой сварки, с. 87–94.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2006. — № 5 (нем. яз.)

Плавный подъем экономики в Западной Европе в 2006 г., с. 214–215.

«Открывать технику. Формировать будущее»: Парк идей в Ганновере, с. 215.

Права на интеллектуальную собственность в Китае, с. 216–217.

Электронно-лучевая сварка усиленных стекловолокном поршней дизельных двигателей, с. 219–220.

«KINETIKS» — следующее поколение систем холодных газов для термического напыления, с. 220–222.

Wilden J., Bergmann J.-P. Исследование металлургических основ соединительной плазменно-порошковой сварки тонких алюминиевых листов, с. 225–228.

Woeste K. Модификация электрошлакового процесса открывает возможности при наплавке, с. 229–237.

Bach F. W. et al. Меры снижения внутренних напряжений в плоских паяных соединениях в микросистемной технике, с. 238–246.

Jansen I., Bohme R. Обработка лазерным лучом усиленных стекловолокном пластмасс перед склеиванием, с. 247–249.

Стандартизация снижает затраты, с. 249–252.

О работе службы информации — обзор литературы по сварке и родственным технологиям, с. 252–253.

SCHWEISS-& PRUEFTECHNIK (Австрия) 2006. — № 5 (нем. яз.)

Kuhlmann U. Изменение долговечности сварных конструкций из строительных сталей повышенной прочности в связи с применением ультразвуковой ударной обработки, с. 67–70.

Roye W., Schieke. Ультразвуковые искатели для специальных случаев применения, с. 71–73.

Повышение высокой мощности: лазерный луч плюс дуга, с. 74.

Huppertz P. H. Конференция в Мюнхене 14–17 февраля 2006 г. Сварка в аппаратостроении и сосудостроении, с. 78.

SCHWEISS-& PRUEFTECHNIK (Австрия) 2006. — № 6 (нем. яз.)

Tas M. Строительство здания Т-образной формы в Мюнхене, с. 83–85.

ФИРМА Кемпи получила международную премию за дизайн, с. 86.

Точечная сварка бегущей ленты, с. 87.



SOLDADURA y TECNOLOGIAS DE UNION (Испания) 2005. — Año XVI, N 96 (Diciembre) (исп. яз.)

Gonzalez A. V. Анализ разработки материалов, систем контроля и критериев приемки, а также последних технических достижений в области сварки, с. 16–20.

Veron P. Характеристики поверхности раздела между основным металлом (низколегированная сталь) и аустенитной

нержавеющей сталью, наплавленной дуговой сваркой применительно к нефтехимическим реакторам, с. 22–25.

Системы гармонизации в Европе, используемые для аттестации персонала и сертификации систем контроля качества, с. 34–42.

SUDURA (Румыния) 2006. — Vol. XVI, № 2 (рум. яз.)

Parvu M. Технология подводной мокрой сварки с помощью самозащитной порошковой проволоки для ремонта подводного газопровода, с. 5–13.

Cramer H. et al. Сварка сталей с повышенным содержанием углерода с использованием методов конденсаторной сварки и среднечастотной сварки, с. 15–22.

Burca M. et al. Методы удержания сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом, с. 24–26.

Simler H. et al. Большие потенциальные возможности по применению плазменно-дуговой резки с жесткими размерными припусками. Ч. 1, с. 30–33.

Schreiber F. Использование термического напыления инструментов позволило впервые в мире поднять самое крупное затонувшее судно, с. 34–37.

Killing R., Lorenz H. Влияние полярности на проплавление при сварке ТИГ, с. 38–41.

TRANSACTION of JWRI (Япония) 2005. — Vol. 34, № 2 (англ. яз.)

Tashiro Sh. et al. Численное моделирование сварки ТИГ в разных газовых атмосферах, с. 1–5.

Kawahito Y., Katayama S. Адаптивное управление и ремонт нахлесточных сварных швов на листовом алюминии на основе контроля в процессе производства, с. 7–15.

Zhang J., Kobayashi A. Стойкость к коррозии композиционных покрытий $Al_2O_3 + ZrO_2$, напыленных на подложки из нержавеющей стали, с. 17–22.

Kobayashi A., Hamanaka H. Разложение газа CO_2 плазменной струей туннельного типа и система его утилизации, с. 23–27.

Matsumoto T. et al. Измерение поверхностного натяжения расплавленного металла с помощью падающей капли при кратковременном падении капли в трубе под действием микрогравитации, с. 29–33.

Morks F. M., Kobayashi A. Влияние параметров напыления на свойства гидроксипатитовых покрытий, напыленных плазмой туннельного типа, с. 35–39.

Fahim F. N., Kobayashi A. Плазменное напыление туннельного типа пленок карбида кремния для термоэлектрических областей применения, с. 41–43.

Miyamoto Y. et al. Новый метод производства интерметаллических сплавов с помощью 3-мерной микросварки, с. 45–49.

Komizo Y. et al. Наблюдение на месте затвердевания шва на стали и изменения фаз с помощью синхротронного излучения, с. 51–55.

Gao F. et al. Разрушение разнородных композиционных материалов вследствие термических напряжений при наличии трещин, с. 57–61.

НОВЫЕ КНИГИ

Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Машиностроение, 2006. — 432 с.

Описаны принципы построения современных систем оперативного управления качеством сварного соединения при различных способах сварки.

Рассмотрены микропроцессорные системы управления пространственным положением источника нагрева относительно стыка; системы программного регулирования и стабилизации параметров процесса и оборудования при дуговой, контактной и электронно-лучевой сварке; роботизированные комплексы для дуговой и контактной сварки.

Для студентов высших учебных заведений. Может быть полезно аспирантам и специалистам, работающим в области сварочного производства.





Бабаскин Ю. З., Щипицын С. Я., Кирчу И. Ф. Конструкционные и специальные стали с нитридной фазой. — Киев: Наук. думка, 2005. — 372 с.

В монографии изложены научные основы эффективного легирования основных видов стали азотом в комплексе с нитридообразующими элементами и их термической обработки. Рассмотрены механизмы и закономерности влияния концентрации азота в твердом растворе и избыточного высокотемпературного нитрида на термодинамику, кинетику и морфологию перлитного, бейнитного и мартенситного превращений, распада пересыщенных твердых растворов при высоком отпуске закаленных сталей с $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением, однофазных ферритных и аустенитных сталей. Показано, что только в случае комплексной оптимизации температурно-временных параметров нормализации, закалки, высокого отпуска и температуры равновесного растворения нитридной фазы достигается коренное повышение эксплуатационных свойств конструкционных, инструментальных штамповых, нержавеющей мартенситных, коррозионно-стойких однофазных ферритных и ферритно-аустенитных, а также жаропрочных сталей. В зависимости от классов сталей и их назначения рассмотрены их эксплуатационные и технологические свойства.

Для инженерно-технических работников машиностроительной и металлургической промышленности, научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.



Воеводин В. Н., Неклюдов И. М. Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов. — Киев: Наук. думка, 2006. — 374 с.

В монографии обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований эволюции структурного состояния и композиционного состава основных конструкционных материалов, применяемых в ядерной энергетике под облучением. Рассмотрена связь этих процессов с радиационной стойкостью облучаемых материалов.

Для научных работников, инженеров, специалистов в области радиационного материаловедения и физики радиационных повреждений, преподавателей и студентов соответствующих факультетов вузов.



Паяння матеріалів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів паяння / В. В. Квасницький, В. Ф. Квасницький, Б. В. Бугаєнко, Г. В. Єрмолаєв / Під наук. ред. В. Ф. Квасницького. — Миколаїв: НУК, 2006. — 160 с.

В пособие входят работы, которые знакомят студентов с физико-химическими и технологическими факторами пайки, показывают их влияние на формирование и качество паяного соединения.

Пособие составлено в соответствии с программой курса «Пайка материалов» и предназначено для студентов специальности «Технология и оборудование сварки» корабле- и машиностроительных вузов. Будет полезно также для инженеров сварочного производства и аспирантов.





WELDEX/РОССВАРКА-2006

7–10 ноября 2006 г. в Москве в МВЦ «Сокольники» состоялась Международная специализированная выставка Weldex/Россварка-2006, организованная выставочным холдингом МВК при поддержке Министерства промышленности и энергетики РФ и содействии КВЦ «Сокольники», РНТСО, Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков (ММАГС), Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции, компании «Элсвар».

«Россварка-2006» — это уже 6-я специализированная выставка «Сварочных материалов, Оборудования и Технологий», проходящая ежегодно в Сокольниках. С каждым годом она все более и более представительнее. В этом году количество участников-экспонентов было более двухсот. Они представляли 14 стран мира. Экспозиция размещалась в двух павильонах. К общим впечатлениям от выставки следует отнести:

ощущение тщательной подготовки к выставке, выраженное, в частности, в весьма разнообразных дизайнерских решениях в оформлении стендов;

высокая посещаемость выставки, чему способствовала реклама на телевидении, радио, в метро, в городе;

деловая обстановка, разнообразная программа мероприятий: открытие, заседание президиума и совета РНТСО, заседание клуба деловых встреч с участием ММАГС, конкурсы «Мисс Сварка России», «Искра», «Инженер-сварщик — Мистер Ум», «Лучший сварщик — Мистер Луч», круглый стол на тему «Опыт сотрудничества и деятельности международных организаций», заседание Национального комитета по сварке РАН.

По мнению выступавших на открытии, выставка «Россварка» уже вошла в десятку или даже пятерку крупнейших профильных выставок в мире. Залог ус-



пеха выставки: ее востребованность в условиях подъема экономики РФ и вера экспонентов и посетителей в ее продуктивность.

В целом выставочная деятельность в России набирает обороты. Так, в 2007 г. (29.05–01.06) в Сокольниках пройдет Промышленный форум (машиностроительная неделя) с разделом «Сварочное обо-





рудование». Ожидается участие около 2000 компаний. А в «Россварке-2007» (30.10–02.11) появится новый раздел «Сварка в искусстве».

На заседании Президиума и совета РНТСО рассматривалась деятельность этой организации по вопросу стандартизации и сертификации в сварочном производстве РФ (основные принципы и объекты сертификации, структура нормативных документов и др.). Обсуждалась сложившаяся ситуация с техническим регулированием в России. По мнению выступавших, в настоящее время министерства в состоянии осуществлять промполитику. Отсутствуют или недееспособны отраслевые и подотраслевые институты, на которые обычно опирались министерства. К настоящему времени Союз разработчиков и производителей сварочного производства РФ подготовил Государственную научно-техническую программу развития сварочного производства на 2007–2011 гг. Программа должна помочь разработчикам и производителям успешно ориентироваться в рыночной экономике, активно создавать и внедрять свои разработки в российскую промышленность. На эту программу ожидается крупное бюджетное финансирование, в том числе, для восстановления около 30 ведомственных институтов, которые должны обеспечить техническое регулирование (управление) в отраслях.

В 2007 г. — 15-летний юбилей РНТСО. Ожидается, что в апреле 2007 г. пройдет юбилейное мероприятие в Москве, которое должно включать пе-

ревыборы руководства РНТСО и проведение научно-технической конференции.

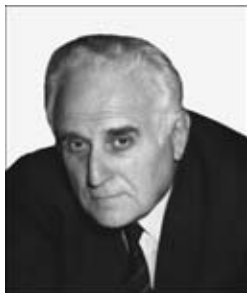
Украину на выставке представляли ОАО «Зонт» и «Техмаш» (г. Одесса), ИЭС им. Е. О. Патона, завод «Донмет», ООО «НавкоТех» (г. Киев), ГНПП «Коммунар» (г. Харьков) и СиМЗ (г. Симферополь). Теперь о работе на стенде «ИЭС им. Е. О. Патона». Большинство посетителей подходили к стенду, интересовались деятельностью института в последние годы. Многие вспоминали посещение института в советское время, выражали желание восстановить утраченные связи и находить новые темы для сотрудничества. Многие представители заводов и ряда технических вузов подтвердили доступность в части ознакомления с ежемесячными номерами журнала «Автоматическая сварка», высказывали добрые слова издателям. В то же время ряд известных вузов, например, Институт нефти и газа в течение ряда лет не подписывает «АС». Более того, «АС» не входит в перечень журналов по сварке и родственным процессам, которые засчитывает ВАК России при приеме диссертаций. Это, конечно же, резко ограничивает круг потенциальных авторов статей журнала «АС» из России. Вероятно, необходимы согласованные шаги для признания в Украине и России публикаций соответственно в журналах «Сварочное производство» и «Автоматическая сварка».

Многие посетители выставки проявляли интерес к разработкам института в области технологий электронно-лучевой сварки, оборудования для контактной сварки, сварки живых тканей, номенклатуре производимого сварочного оборудования и материалов на опытных заводах, дальнейшего усовершенствования технологии ЭШС и оборудования для ЭШС. Было высказано ряд предложений по проведению контрактных работ с институтом.

Прошедшая выставка продемонстрировала масштабность достижений в области сварочного производства России, повышенный интерес к ней со стороны зарубежных фирм и, что важно, высокую посещаемость специалистами из различных регионов России, СНГ и дальнего зарубежья.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук,
А. Т. Зельниченко, канд. физ.-мат. наук

И. К. ПОХОДНЕ — 80



Игорь Константинович Походня — известный украинский ученый в области металлургии и технологии металлов, материаловедения, электросварки, видный общественный деятель, крупный организатор науки, академик Национальной академии наук Украины, лауреат Государственных премий

СССР и Государственной премии Украины в области науки и техники, премии Совета Министров СССР, премии им. Е. О. Патона и премии им. Н. Н. Доррохова НАН Украины, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники Украины. Он является представителем всемирно известной научной школы, созданной Е. О. Патонем и Б. Е. Патонем. С именем И. К. Походни связаны фундаментальные исследования физико-химических процессов дуговой сварки, разработка новых высокопроизводительных процессов механизированной сварки и наплавки. И. К. Походня создал научную школу в области металлургии и технологии сварки, внес огромный вклад в развитие важнейших разделов теории дуговой сварки и в создание наукоемких технологий и прогрессивных сварочных материалов, в становление отечественного производства сварочных материалов. Он проводит активную деятельность по реализации научных идей в конкретные разработки и их широкомасштабному внедрению во многие отрасли народного хозяйства.

И. К. Походня родился 24 января 1927 г. в Москве. В 1930–1941 гг. жил и учился в Минске. Во время Великой Отечественной войны эвакуировался в Тамбовскую область (Россия). Работал чернорабочим, затем трактористом. В 1944 г. экстерном окончил среднюю школу и поступил в Киевский политехнический институт (КПИ). В 1949 г. окончил КПИ и получил квалификацию инженера-механика. В 1950–1952 гг. он — инженер-сварщик, начальник бюро сварки Донецкого машиностроительного завода им. 15-летия комсомола Украины. Руководил работами по автоматизации сварки конструкций горно-шахтного оборудования. В 1952 г. аспирант, инженер-исследователь Института электросварки им. Е. О. Патона Академии наук Украинской ССР. С тех пор вся жизнь и деятельность И. К. Походни неразрывно связаны с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, с Национальной академией наук Украины.

В 1954 г. И. К. Походня получил основополагающие данные о средней температуре сварочной ванны при сварке под флюсом, о распределении температуры в ванне, взаимосвязи температуры ванны и ее химического состава. Эти результаты получили мировое признание.

И. К. Походня исследовал металлургические проблемы наплавки высокохромистых ледебуритных сталей, создал сплавы и технологии дуговой и электрошлаковой наплавки под флюсом и в защитных газах, которые до сих пор используются на предприятиях горно-металлургического комплекса. Эти исследования легли в основу кандидатской диссертации, успешно защищенной им в 1955 г.

В 1956 г. Б. Е. Патон инициировал разработку программы развития сварочной науки и техники СССР. И. К. Походня активно участвовал в этой работе. В 1958 г. директивные органы СССР утвердили эту программу. Выполнение ее предопределило прогресс сварочной науки и техники в СССР во второй половине XX века.

С 1958 г. И. К. Походня руководит лабораторией, а с 1962 г. отделом физико-химических процессов в сварочной дуге Института электросварки им. Е. О. Патона.

В 1960-е годы И. К. Походня создал оригинальный метод скоростной рентгеновской киносъемки быстротекущих процессов, который позволил впервые получить достоверные данные о процессах плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке покрытыми электродами, под водой и под флюсом. Изучены процессы абсорбции и десорбции газов расплавленным металлом в условиях существования дугового разряда. Установлены закономерности влияния режимов сварки, плотности и полярности тока на температуру капель, время взаимодействия капель с окружающей средой, влияния типа покрытия на процесс плавления и переноса металла при сварке покрытыми электродами. Результаты этих исследований обобщены в докторской диссертации (1968) и в монографии «Газы в сварных швах». Эти работы явились крупным вкладом в теорию сварочных процессов, стали теоретической базой для создания многих новых марок низкотоксичных и высокопроизводительных электродов. Было организовано массовое производство этих электродов. Широкое внедрение низкотоксичных электродов позволило коренным образом улучшить условия труда сварщиков и рабочих смежных профессий и резко снизить количество профзаболеваний.

Несколько десятилетий под руководством И. К. Походни проводятся исследования металлургических процессов сварки порошковыми проволоками.

В 1959 г. разработан промышленный образец порошковой проволоки, не требующей дополнительной защиты расплавленного металла. Открыто новое эффективное направление механизации дуговой сварки. Разработка самозащитных порошковых проволок явилась принципиально новым шагом в технике и технологии сварочного производства. Их применение позволило решить проблему механизации сварочных процессов на монтаже, в открытых цехах, в полевых условиях, на стапелях.

И. К. Походня вместе с сотрудниками отдела создал гамму газозащитных порошковых проволок и организовал их промышленное производство в Украине и России.

Приоритет наших ученых защищен авторскими свидетельствами СССР, Болгарии и ЧССР, патентами США, ФРГ, Великобритании, Франции, Италии, Австрии, Швейцарии, ГДР, ВНР и других стран. Отечественные технологические линии, оборудование, «ноу-хау» поставлены фирмам США, ФРГ, Франции, Японии, ЧССР, ВНР, НРБ, Аргентины, Китая.

Исследования основных закономерностей формирования металла шва, легирования и кристаллизации сварочной ванны в условиях искусственного охлаждения поверхности шва и изменяющегося пространственного положения ванны, проведенные под руководством И.К.Походни, позволили создать новые самозащитные порошковые проволоки, прогрессивную технологию и оборудование для дуговой сварки неповоротных стыков труб. Эти решения осуществлены в специализированном комплексе «Стык». Широкое внедрение прогрессивной технологии дуговой сварки и оборудования позволило технически перевооружить сварочное производство при сооружении магистральных трубопроводов.

В 1965 г. под руководством Б. Е. Патона начались работы по созданию способов и оборудования для сварки в космических условиях. И. К. Походня принимал активное участие в выполнении исследований поведения жидкого металла при дуговой сварке в условиях изменяющейся гравитации. В результате разработан оригинальный способ дуговой сварки в вакууме и невесомости. Испытание этого способа вошло в программу первого в мире технологического эксперимента — сварки в космосе, осуществленной в 1969 г.

В 1970-х годах И. К. Походня развивает новые идеи об использовании порошковых проволок для внепечной обработки металлических расплавов. Созданы новые типы проволок, содержащие высокоактивные элементы для микролегирования, модифицирования и десульфурации сталей и чугунов, разработаны технологии и оборудование для изготовления порошковых проволок большого диамет-

ра. Технологии обработки расплавов методом инъекции порошковых проволок широко применяются на заводах Украины, России, Белоруссии и других стран.

Для школы И. К. Походни характерны глубокий теоретический анализ, высокая техника эксперимента, широкое использование современных физических методов исследований.

Разработаны новые методы анализа диффузионного водорода в сварных швах. Они стандартизированы в СССР и включены в национальные стандарты США и Японии.

Созданы информационно-измерительные системы для статистического анализа электрических и временных параметров процессов дуговой сварки, исследования и контроля технологических свойств сварочных материалов, источников питания.

Результаты исследований обобщены в монографии «Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов» (1990), получившей мировое признание. Она была переведена на английский язык и в 1995 г. издана в Кембридже (Великобритания).

Одним из первых И. К. Походня применил методы математического моделирования сварочных процессов. В 1978 г. он представил на конгресс Международного института сварки доклад «Математическое моделирование поведения газов в сварных швах». Доклад вышел отдельным изданием, в нем описаны результаты исследований особенностей роста газового пузырька в кристаллизующейся сварочной ванне, взаимодействия расплавленного шлака с закристаллизовавшимся металлом, термодинамические исследования высокотемпературных процессов в системе «металл–газ–шлак», кинетические исследования взаимодействия слабоионизированной плазмы с расплавленным металлом, прогнозирование структуры зоны термического влияния сварного соединения, исследования кинетики твердофазного взаимодействия многокомпонентных систем и др.

Под руководством И. К. Походни продолжается поиск эффективных путей улучшения санитарно-гигиенических характеристик сварочных материалов. Исследования структуры и фазового состава аэрозоля, определение взаимосвязи растворимости твердой составляющей сварочного аэрозоля и его биологической активности позволили получить наиболее полные данные, необходимые для гигиенической оценки сварочных материалов. Разработаны методы экспресс-оценки токсичности сварочных аэрозолей. Результаты этих исследований получили мировое признание и изложены в монографии В. Г. Войткевич, изданной в Кембридже.

Работы последнего десятилетия, выполненные И. К. Походней и его учениками, посвящены дальнейшему развитию теории процессов дуговой свар-



ки и физическому материаловедению сварных соединений.

Следует упомянуть исследование ликвации элементов в сварных швах и образование химической микронеоднородности, изучение условий рационального легирования металла сварного шва и роли отдельных элементов (никеля, марганца, кремния, фосфора, меди, хрома, молибдена) в формировании структуры металла шва и изменении его хладостойкости.

Большое внимание уделяется исследованию проблемы газов в сварных швах. Физическая модель абсорбции газов при дуговой сварке, разработанная под руководством И. К. Походни, послужила базой для создания математического описания поглощения газов из плазмы дуги и развития компьютерного моделирования данного процесса. Исследована кинетика поглощения газов, установлены зависимости потока поглощаемого газа от времени, температуры плазмы, парциального давления газов и других факторов. Результаты этих исследований обобщены в монографии «Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами» (2004).

Под руководством И. К. Походни В. И. Швачко разработал новую модель водородного охрупчивания ОЦК-металлов. В соответствии с ней атомарный водород, адсорбированный на поверхности железа в виде отрицательных ионов, изменяет энергетическое состояние субмикротрещины, которая возникает в дислокационном кластере во время деформации, и в начальный период распространяется по классической схеме Гриффитса. Новая модель раскрывает физическую природу влияния водорода и позволяет объяснить качественно известные его особенности.

Новые представления о механизме влияния водорода позволили разработать методику экспериментального исследования чувствительности сталей к хрупкому разрушению в присутствии водорода. Для оценки сопротивления хрупкому разрушению предложен новый критерий.

Отдел, руководимый И. К. Походней, отличается тесная связь с производителями и потребителями сварочных материалов в нашей стране и за рубежом. Прогрессивные сварочные материалы — электроды, порошковые проволоки, флюсы, созданные в отделе, широко внедрены и сегодня применяются на тысячах предприятий и строек Украины, России, Беларуси и других стран ближнего и дальнего зарубежья.

И. К. Походня — автор и соавтор более 900 научных работ, в том числе 28 монографий, 8 из которых изданы в США, Великобритании, Китае, Чехословакии, 118 изобретений, 158 зарубежных патентов, 6 патентов Украины. Под его научным руководством подготовлено 38 кандидатов наук, шесть из которых стали докторами наук. За активную работу по подготовке научных кадров ему в 1970 г. присвоено звание профессора. В 2001 г. он был избран

почетным доктором НТУУ «Киевский политехнический институт».

За плодотворную научную и практическую деятельность, вклад в развитие народного хозяйства И. К. Походня награжден орденами СССР, многими медалями. Под его руководством осуществлены работы по реализации лицензий на производство новых сварочных материалов в США, ФРГ, Франции, Чехии и Словакии, Венгрии, Болгарии, Китае, Аргентине.

И. К. Походня принимал активное участие в организации работ по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС как член оперативной комиссии и председатель подкомиссии НАН Украины по научно-техническим проблемам. Его роль отражена в двухтомном издании НАН Украины «Чернобыль 1986–1987 гг.» и отмечена благодарностью председателя Правительственной комиссии СССР, Почетным знаком ликвидатора аварии на ЧАЭС, знаком отличия НАН Украины «За научные достижения».

На протяжении 36 лет И. К. Походня проводит плодотворную научно-организационную работу в Национальной академии наук Украины. Он внес большой вклад в развитие науки, в утверждение международного авторитета Украины. На посту главного ученого секретаря Президиума АН УССР (1970–1983 гг.) и первого вице-президента АН УССР (1983–1988 гг.) И. К. Походня много сил и энергии отдает совершенствованию планирования, организации и координации научных исследований, укреплению международных научных связей НАН Украины, пропаганде достижений институтов академии, распространению ее опыта по повышению эффективности научных исследований и сокращению сроков их реализации, подбору и обучению специалистов-организаторов научных исследований.

С 1988 г. И. К. Походня многократно избирается академиком-секретарем Отделения физико-технических проблем материаловедения НАН Украины. На этом ответственном посту он много внимания уделяет организации новых направлений исследований в области материаловедения, координации работ, подготовке кадров научных сотрудников и организаторов науки, работе с научной молодежью, укреплению материальной базы институтов.

И. К. Походня — ответственный редактор и автор монографий «Сучасне матеріалознавство: ХХІ століття», изданной в Украине и Великобритании, «Прогресивні матеріали і технології» в 2-х томах. В подготовке этих монографий принимали участие выдающиеся ученые-материаловеды Украины, России, Великобритании, Китая, Югославии, Польши, Словакии. В монографиях проанализировано состояние различных направлений материаловедения и прогнозируются пути его развития.

Отделение физико-технических проблем материаловедения, возглавляемое И. К. Походней, занимает достойное место в НАН Украины.

Научную и научно-организационную работу Игорь Константинович сочетает с активной общественной деятельностью. И. К. Походня был депутатом Верховного Совета УССР, членом Президиума Верховного Совета УССР, членом Совета профсоюзов Украины, комиссии Украины по делам ЮНЕСКО, в настоящее время является Президентом Общества «Украина – Беларусь».

За весомый вклад в развитие науки, разработку и внедрение новых высокоэффективных технологий, укрепление международного авторитета отечественной инженерной школы в области сварки, многолетнюю научную и общественную деятельность

И. К. Походня награжден орденами Украины «За заслуги» I, II и III степеней.

Игорю Константиновичу Походне — выдающемуся ученому, педагогу, видному общественному деятелю — присущи большая работоспособность, увлеченность делом, принципиальность, порядочность, скромность, чуткость. Эти качества снискали ему авторитет, уважение коллег и друзей.

Свой юбилей Игорь Константинович встречает новыми творческими замыслами и идеями, целеустремленно и энергично работает над воплощением их в жизнь.

Г. И. ЛЕСКОВУ — 85



В январе исполнилось 85 лет известному ученому и специалисту в области сварки Григорию Илларионовичу Лескову.

Г. И. Лесков — участник Великой Отечественной войны, прошедший четыре года на фронте в инженерных войсках, отмеченный боевыми орденами и медалями. После окончания

вуза он поступил в аспирантуру, стал доцентом, а затем профессором по специальности «Оборудование и технология сварочного производства», проректором по научной работе Брянского института транспортного машиностроения. Многие годы работал руководителем отдела технологии электронно-лучевой сварки Института электросварки им. Е. О. Патона.

Г. И. Лесковым выполнен большой объем фундаментальных исследований процессов, происходящих в электрической сварочной дуге. Результаты своих исследований вместе с обзором работ других ученых он обобщил в известной монографии «Электрическая сварочная дуга», которая широко используется специалистами в области дуговой сварки и в учебном процессе вузов. Г. И. Лесковым, его учениками и последователями разработаны современные импульсные стабилизаторы сварочных дуг переменного тока, методы оценки динамических свойств сварочных трансформаторов, эффективные технологические процессы дуговой сварки.

Качества вдумчивого аналитика, изобретателя, способности экспериментатора позволили Григорию Илларионовичу внести существенный вклад и в исследования процессов взаимодействия мощных электронных пучков с металлами, предложить и внедрить на практике технологию электронно-лучевой сварки толстостенных конструкций, создать новые приборы и оборудование для ее осуществления в производственных условиях.

Г. И. Лесков был награжден Почетной грамотой Президиума Верховного Совета УССР. Его изобретения отмечены медалями ВДНХ СССР. Более 140 работ ученого, в том числе 48 изобретений, опубликованы в научных журналах страны и за рубежом.

Григорий Илларионович сочетал научную работу с педагогической. Его лекции слушали студенты Брянского института транспортного машиностроения, Киевского политехнического института, филиала МФТИ. При его участии подготовлено более 1500 инженеров-сварщиков и 18 кандидатов наук.

В течение многих лет Г. И. Лесков был членом редколлегии журнала «Автоматическая сварка», ученого и двух квалификационных советов по защитах кандидатских и докторских диссертаций, Международного координационного совета по сварке.

В настоящее время профессор Григорий Илларионович Лесков по-прежнему на передовых рубежах науки, занимается исследованиями в области сварки в вакууме.



А. Я. ИЩЕНКО — 75



В январе 2007 г. исполнилось 75 лет со дня рождения заведующего отделом физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, члена-корреспондента НАН Украины, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники Украины Анатолия Яковлевича Ищенко.

После завершения среднего образования в Горловке А. Я. Ищенко окончил в 1956 г. Киевский политехнический институт и по распределению был направлен на Куйбышевское предприятие авиационных двигателей им. Н. Д. Кузнецова.

С 1961 г. работает в ИЭС им. Е. О. Патона. Здесь прошел путь от ведущего инженера до руководителя отдела, избран членом-корреспондентом Национальной академии наук Украины.

А. Я. Ищенко впервые в мировой практике разработал и внедрил в производство высокоэффективный процесс электрошлаковой сварки алюминия, защитил по этой теме кандидатскую диссертацию в 1967 г. Начиная с 1968 г. его научная деятельность связана с исследованием свариваемости высокопрочных алюминиевых сплавов и разработкой эффективных технологий сварки изделий аэрокосмической техники. Работая в тесном сотрудничестве с отраслевыми организациями он внес значительный вклад в создание и внедрение в производство новых свариваемых и сварочных материалов различных систем легирования. Этот цикл работ завершен широким внедрением технологических процессов, сварочных материалов и оборудования в промышленное производство. Он послужил основой докторской диссертации А. Я. Ищенко, которая была успешно защищена в 1983 г. В последующие годы им лично и его сотрудниками выполнены глубокие исследования свариваемости алюминий-литиевых и алюминий-скандиевых сплавов, получившие мировое признание. С 1987 г. А. Я. Ищенко в качестве руководителя отдела успешно проводит теоретические

и экспериментальные исследования явлений, которые происходят в зоне сварки при взаимодействии компонентов алюминиевых сплавов и композиционных материалов с плазмой дуги, электронным и лазерным пучками, изучает закономерности первичной кристаллизации и формирования структуры швов в неравновесных условиях и их влияние на физико-механические свойства сварных соединений. Значительные результаты достигнуты при разработке новых более эффективных методов неразъемного соединения в твердой фазе, нанотехнологий изготовления основных и присадочных материалов, обладающих субмикроскопической структурой, которая повышает технологические и функциональные свойства соединений перспективных высокопрочных материалов — жаростойких сплавов, высокодисперсных композитов, интерметаллидов и разнородных сочетаний. Отдел, в составе которого работают три доктора и четыре кандидата технических наук, поддерживает устойчивое международное сотрудничество и постоянные творческие контакты со многими институтами Национальной академии наук Украины.

А. Я. Ищенко является автором трех монографий и более 280 статей и изобретений. Он член ученого совета ИЭС им. Е. О. Патона и Специализированного совета по защитах кандидатских и докторских диссертаций, эксперт межведомственных комиссий ряда государственных программ, председатель Национального комитета «Алюминий» при Международном институте сварки, член Американского сварочного общества.

За цикл научных работ «Теоретические основы производства ответственных деталей и узлов машин из высокопрочных легких конструкционных материалов» он в составе группы авторов удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники (1995), «За разработку и внедрение в производство высокоэффективных методов и средств сварки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов» — премии Совета Министров СССР (1988). Награжден Почетной грамотой Верховного Совета УССР (1984).

А. А. МАЗУРУ — 70



В январе исполнилось 70 лет со дня рождения известного специалиста в области экономики сварочного производства, инноваций и инновационного развития экономики, моделей создания и функционирования технологических парков, ведущего научного сотрудника, научного руководителя отдела экономических исследований

Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, кандидата экономических наук Александра Анатольевича Мазура.

А. А. Мазур пришел в ИЭС им. Е. О. Патона в 1987 г. сформировавшимся специалистом с богатым опытом работы в промышленности и в отраслевой науке. Два высших инженерных образования (инженер-кораблестроитель и инженер-механик), ученая степень позволили ему успешно решать проблемы технологического и организационно-экономического совершенствования производства, возникавшие в ходе работы.

А. А. Мазур — один из создателей первого и наиболее крупного в СССР «центросвара» — Кадиевского завода сварных конструкций. Его теоретические разработки в области организационных проблем создания специализированных производств, экономики перевода чугунного и стального литья на сварно-

литое исполнение изделий органично вписались в тематику работ отдела экономических исследований ИЭС им. Е. О. Патона. Здесь получили дальнейшее развитие исследования экономической эффективности новой сварочной техники, снижения материало- и энергоемкости сварных конструкций, разработки методологии, алгоритмов и компьютерных программ оценки затрат при дуговой сварке с учетом затрат на вентиляцию.

В 1990-е годы А. А. Мазур активно и плодотворно занимается проблемами усовершенствования работы института в новых условиях, в том числе создания на его базе принципиально новых научно-технических и исследовательско-внедренческих структур.

А. А. Мазур — один из инициаторов создания в Украине технологических парков, как ускорителей инновационного развития страны. В качестве исполнительного директора он обеспечил становление технопарка «ИЭС им. Е. О. Патона», являющегося общепризнанным лидером среди украинских технопарков, успешно решающих проблемы коммерциализации научных разработок.

А. А. Мазур является автором и соавтором 84 печатных работ, включающих 6 монографий. За заслуги в решении экономических проблем развития сварочного производства он награжден Почетной грамотой Президиума НАН Украины (2003) и Почетной грамотой мера г. Киева (2004).

А. К. ЦАРЮКУ — 70



В январе исполнилось 70 лет известному специалисту в области сварочного материаловедения и технологии сварки энергомашиностроительных сталей, заведующему отделом Института электросварки им. Е. О. Патона кандидату технических наук Анатолию Корнеевичу Царюку.

А. К. Царюк работает в институте с 1959 г. после окончания сварочного факультета Киевского политехнического института. Основным направлением его научной работы является разработка и усовершенствование технологических процессов и специализированной аппаратуры для механизированной сварки узлов паровых и газовых турбин, котлоагрегатов, корпусного оборудования и трубопроводов тепловой и атомной энергетики, а также для изготовления уникальных изделий тяжелого и химического машиностроения. Особое внимание он уделяет созданию прогрессив-

ных сварочных материалов для механизированной сварки толстостенных соединений из теплостойких и жаропрочных сталей.

Большой заслугой А. К. Царюка является создание технологии и оборудования для механизированной сварки под флюсом в узкую разделку толстостенных конструкций с программным управлением процессом. Разработанная технология нашла применение на ряде крупнейших промышленных предприятий, в том числе на Харьковском заводе «Турбоатом» при сварке роторов турбин с толщиной стенки 60...200 мм, на Краматорском заводе тяжелого машиностроения при сварке корпусов цилиндров уникального гидропресса с толщиной стенки 600 мм, на заводе «Уралхиммаш» при изготовлении сварных конструкций толстостенных сосудов для химического машиностроения.

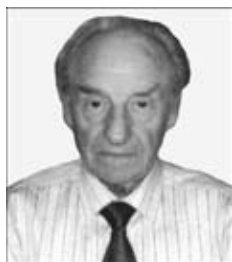
При участии А. К. Царюка разработана технология автоматической сварки неплавящимся электродом в узкую разделку соединения главного циркуляционного трубопровода с коллектором парогенератора для энергоблоков АЭС.

В последние годы под руководством А. К. Царюка ведутся исследования современных теплоустойчивых сталей повышенной прочности применительно к созданию энергоблоков ТЭС нового поколения.

А. К. Царюк является автором около 100 научных работ. Он успешно совмещает научную и препода-

вательскую деятельность, принимает активное участие в подготовке технических экспертов, является членом ученого совета ИЭС им. Е. О. Патона. Он награжден орденом «За заслуги» III степени и почетным нагрудным знаком «За весомый вклад в развитие атомной энергетики Украины».

Ф. БЛУМЕ — 80 ЛЕТ



В январе исполнилось 80 лет Фрицу Блуме, известному немецкому ученому в области автоматизации сварочного производства, доктору технических наук, профессору, бывшему заведующему кафедрой сварочного и сборочного производства Дрезденского технического университета.

Ф. Блуме свою трудовую деятельность начал слесарем на ремонтном заводе железных дорог (Reichsbahn) в Галле и Дрездене. В 1952 г. закончил инженерный институт г. Митвейда, а в 1955 г. получил диплом инженера по сварке. Годом позже он стал аудитором в области котельной продукции. С 1957 г. Ф. Блуме отвечает за подготовку инженеров по сварке и рабочих-сварщиков для организаций железных дорог бывшей ГДР. В 1970 г. он защитил кандидатскую диссертацию в Магдебургском техническом институте. Здесь он занимался вопросами прочности сварных соединений с учетом влияния различных дефектов. Его работы в этой области учтены при разработке различных норм по расчету прочностных характеристик сварных соединений. В 1971 г. Ф. Блуме был утвержден в ученом звании профессора и назначен заведующим кафедры сборки и сварки Дрезденского технического университета. В 1985 г. он защитил докторскую диссертацию.

Ф. Блуме внес значительный вклад в развитие сварочной науки и техники. Главные направления его деятельности: моделирование сварочных процессов; автоматизация сборочно-сварочных процессов; наплавка и применяемые наплавочные материалы; склеивание; информационное моделирование технологии сварки.

Ф. Блуме является автором более 120 печатных работ и 150 докладов, соавтором 8 монографий и около 40 авторских свидетельств. Ф. Блуме проводит большую работу по подготовке научных кадров. Под его руководством подготовлены 320 дипломированных инженеров, 76 кандидатов наук и 6 докторов наук. На протяжении многих лет Ф. Блуме активно сотрудничает с ИЭС им. Е. О. Патона. Он входил от ГДР в состав 15-й группы («Наплавка») в рамках работы координационного совета СЭВ. Здесь он принимал участие в разработке различных рекомендаций в области наплавки и наплавочных материалов. Он интенсивно сотрудничал в этом направлении с отделом № 2 ИЭС им. Е. О. Патона (зав. проф. И. И. Фрумин) и часто посещал институт. Ф. Блуме активно участвовал в общественной жизни сварочных организаций. Так, с 1968 по 1978 гг. избирался председателем Центрального совета по сварке в рамках деятельности Палаты техники ГДР, принимал участие в работе редколлегии журнала «Blechnik» (ГДР), являлся членом экзаменационного совета инженеров по сварке при Центральном институте сварки в Галле, был инициатором создания ассоциации немецких сварщиков «DVS DDR» в 1990 г.

С 1990 до 1996 гг. Ф. Блуме является председателем уже объединенной Ассоциации немецких сварщиков в Саксонии. Он пользуется заслуженным авторитетом и вниманием широких кругов ученых и инженеров по сварке как в Германии, так и за рубежом. Его ученики развивают начатые им научно-исследовательские работы, работая как в различных институтах Германии, так и за границей, а также на промышленных предприятиях.

Сердечно поздравляем юбиляров и желаем им крепкого здоровья, долгих лет плодотворной работы и новых творческих успехов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка»

*В ИЭС им. Е. О. Патона в 2006 г. разработана и изготовлена новая
электронно-лучевая установка КЛ-134*

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРОЧНАЯ УСТАНОВКА СО СКОЛЬЗЯЩЕЙ СВАРОЧНОЙ ПУШКОЙ КЛ-134 (см. 1-ю стр. обложки)

- ✓ Конструкция вакуумной камеры включает двойные стены, которые обеспечивают повышенную вакуумную целостность при более легкой общей массе. Высокая структурная устойчивость гарантирует кинематическую систему высокой точности и воспроизводимости.
- ✓ Уникальный высоковольтный регулятор контроля с вакуумной трубкой, обнаруживающий и гасящий дугообразование, позволяет производить сварку непрерывным швом без неоднородностей и дефектов.
- ✓ Сварка контролируется системой автоматического сопровождения шва в режиме реального времени и системой наблюдения вторичной эмиссии электронов RASTR.
- ✓ Система анализа пучка позволяет рабочему определить текущее рабочее состояние пучка до начала создания шва и уменьшить время оптимизации параметра шва.
- ✓ Лантановый гексаборидный катод используется для продолжительного срока работы (более 40 часов) и предотвращает «хождение пучка» при изменении фокусного положения.
- ✓ ЧПУ типа CNC+ПЛК (программируемый логический контроллер) всех систем установки.

Конструкция установки и исходные данные

Дверь камеры позволяет загрузить образец в вакуумную камеру. Рабочий стол имеет электропривод и размещается на рельсах платформы. Электронно-лучевая пушка устанавливается на механизме перемещения-скольжения для передвижения по осям Y-Y с точностью линейного позиционирования $\pm 0,1$ мм. Болты в шарово-винтовых парах, линейные направляющие качения во всех линейных модулях имеют металлическое покрытие для защиты от осаждения. Установка оснащена универсальным поворотным устройством, которое включает горизонтальные и вертикальные оси вращения.

Система управления

Система контроля основывается на принципах открытой архитектуры, которые обеспечивают использование ПК на всех уровнях управления и реализацию следующих функций:

- ✓ программируемое передвижение по трем осям координат (две оси линейного передвижения и одна ось поворотного устройства) с линейной и круговой интерполяцией;
- ✓ одновременное перемещение и контроль фокусировки сварки и токов отклонения;
- ✓ функционирование в полностью автоматическом режиме, в полуавтоматическом режиме, когда пользователь определяет место пуска и остановку, в ручном режиме, включая функцию управления вручную;
- ✓ упорядочивание блоков программной информации в единые ведущие программы;
- ✓ автоматическая система обучения отклонения с использованием системы RASTR, которая обеспечивает точное позиционирование пучка на соединении;
- ✓ регистрация данных всех команд управления и параметров, включая параметры сварки в графической и табличной форме;
- ✓ устройство диагностики для обнаружения и устранения неисправностей и ошибок.

Программное обеспечение

- ✓ компьютерные программы высшего класса, контролируемые OS Windows 2000, обеспечивают интерфейс для всех эксплуатационных операций и выводят на печать протоколы диагностики
- ✓ компьютерные программы низшего класса, контролируемые OS QNX 4.2, обеспечивают контроль оборудования во всех рабочих режимах

Основные технические параметры установки КЛ-134

Габаритные размеры установки, мм:

длина	6975
ширина	4890
высота	2707

Масса, т 15

Внутренние габариты вакуумной камеры, мм

длина	2020
ширина	1100
высота	1200

Рабочее давление камеры, торр $8 \cdot 10^{-5}$

Время накачки камеры и пушки, мин макс 20

«Скользящее» перемещение электронно-лучевой пушки вдоль оси Y-Y, мм 500

Скорость перемещения электронно-лучевой пушки вдоль оси, мм/с 0,16–33

Точность позиционирования электронно-лучевой пушки, мм 0,03

Скорость перемещения рабочего стола вдоль оси X-X, мм/с 0,16–33

Точность позиционирования рабочего стола, мм 0,03

Максимальная способность нагрузки на рабочий стол, кг 500

Диаметр лицевой панели поворотного устройства, мм 650

Максимальная способность нагрузки поворотного устройства, кг 300

Скорость вращения лицевой панели, обороты в минуту 0,04–10

Радиальное биение лицевой панели поворотного устройства, мм $\pm 0,05$

Торцевое биение лицевой панели поворотного устройства, мм $\pm 0,1$

Максимальные габариты образцов, мм:

на поворотном устройстве с горизонтальной осью $\varnothing = 800, D = 950$

на поворотном устройстве с вертикальной осью $\varnothing = 1000, D = 860$

Система отображения и прослеживания шва RASTR:

Точность прослеживания, мм $\pm 0,1$

Увеличение, раз 5

ЭЛА-60/30 (пушка, источник питания и система управления):

ускоряющее напряжение, кВ 60

стабилизация ускоряющего напряжения, % ± 1

Диапазон сварочного тока (с программируемым шагом, 125 А) 0 ± 500

Стабилизация тока пучка, % ± 1

Диапазон дальности работы, мм 50–500

Стабилизация тока фокусировки, % $\pm 0,5$

Частота колебания пучка для синусоиды, Гц 1...2000

Частота пульсации пучка при импульсной сварке, Гц 1...600

Срок службы катода, ч 40

Угол отклонения пуска при максимальной мощности, град ± 3

Общие технические требования:

потребляемая мощность, кВт макс 110

интенсивность расхода холодной воды, л/ч 1600

температура холодной воды при вводе, °C 20...25

давление холодной воды, кг/см² 3...4

давление сжатого воздуха, кг/см² мин 6

Подробная информация на сайте:
<http://www.nas.gov.ua/pwj/beam/index.html>

КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК В 2007 г. (СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ)

Дата	Место проведения	Название мероприятия	Организатор
13–16.02	Мюнхен, Германия	35-я конференция по сварке в аппарато- и сосудостроении	80636, Мюнхен, Германия
19–22.02	С.-Петербург, Россия	2-я Региональная выставка «Сварка и резка. Защита от коррозии. Оборудование. Технологии»	ВК «Кировский завод» тел.: (812) 327 37 90, 91, 92 (доб. 148) Лысенко Ю. В.
26–27.02	Бохум, Германия	8-я конференция по структуре и разрушению	D-44780 Bochum Prof. Dr.-Ing. Michael Pohl
27.02–02.03	Красноярск, Россия	Специализированная выставка «Сварка в Сибири» в рамках Сибирского промышленного форума	ВК «Алсима-Экспо» тел.: (3822) 286 990 e-mail: anis1@mail200.ru
07–09.03	Сидней, Австралия	5-я Азиатская конференция МИС	Институт сварочных технологий (Австралия) тел.: 612 9748 4443 факс: 612 9748 2858
13–16.03	Минск, Беларусь	Специализированная выставка «Металлообработка-2007» с разделом «Сварочное оборудование»	«Грин-Экспо», ВК «Минскэкспо»
14–16.03	Бремен, Германия	16-й симпозиум по композитным материалам	60325 Frankfurt, Niemcy
14–17.03	С.-Петербург, Россия	3-я Международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности»	e-mail: spbt pd@mail.ru
27–30.03	Минск, Беларусь	7-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка»	ЗАО «Минскэкспо» www.minskexpo.com тел./факс: (37517) 226 98 58 e-mail: e_fedorova@solo.by
28.03–01.04	Новосибирск, Россия	Специализированная выставка «Сварка в Сибири» с научно-технической конференцией «Проблемы металлообработки, металлургии, сварки»	ВК «Сибирская ярмарка» тел.: (3822) 286 990 e-mail: anis1@mail200.ru
03–06.04	Пермь, Россия	Промышленная выставка «Станки. Приборы. Инструмент. Металлообработка. Сварка»	ВЦ «Пермская ярмарка» тел.: (342) 262 58 21 факс: (342) 262 58 33 e-mail: musin@expoperm.ru
10–13.04	С.-Петербург, Россия	9-я Международная практическая конференция «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки»	www.plasmacentre.ru тел.: (901) 320 08 02 факс: (812) 528 74 84 e-mail: office@plasmacentre.ru
16–18.04	Куско, Перу	Международная конференция по сварке и соединению материалов	Phone: (51-1) 626 20 00, annex 4880 fax: (51-1) 626 28 00
16–19.04	Киев, Украина	Выставка «Сварка. Родственные технологии-2007» (в рамках недели «Промышленные выставки») с семинарами «Сварка и родственные технологии» и «Промышленная экология»	НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» www.paton-expo.kiev.ua тел./факс: (044) 200 80 91, 200 80 89, 287 12 38 e-mail: sv@ntk.in.ua
10–12.05	Сеул, Корея	Конференция «Современные технологии сварки и соединения/монтажа в XXI век»	e-mail: iwjc@iwjc2007.org www.iwjc2007.org
14–17.05	Пекин, Китай	Международная конференция-выставка по термическому напылению ITSC-2007	www.asminternational.org/itsc
15–17.05	Воронеж, Россия	8-я Международная конференция «Кибернетика и высокие технологии XXI века»	НПФ «Саквоее» тел.: (0732) 52 13 59; 55 46 75 доб. 20 02, 52 05 52
Май-июнь	Киев	Международная конференция по сварочным материалам	Ассоциация «Электрод» тел./факс: (38044) 287 72 35
15–18.05	Минск, Беларусь	8-я Международная специализированная выставка «Сварка» (в рамках «Беларуского промышленного форума 2007»)	ВП «Экспофорум» www.expoforum.by тел.: (37517) 299 83 99
21–25.05	Ялта, Кацивели, Украина	3-я Международная конференция «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» (LTWMP-2007)	ИЭС им. Е. О. Патона, НТУУ «КПИ», МАС тел./факс: (044) 529 26 23 e-mail: journal@paton.kiew.ua

Дата	Место проведения	Название мероприятия	Организация
24–27.05	С.-Петербург, Россия	4-я Международная выставка «Электротехнология»	ОАО «Ленэкспо» тел./факс: (812) 321 26 31, 321 27 22 e-mail: averkina@mail.lenexpo.ru
28.05–01.06	Харьков, Украина	8-й Международный научно-технический конгресс «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении» (ОТТОМ-8)	www.ottom.com.ua тел.: (057) 335 64 32 факс: (057) 335 25 45 e-mail: V.shulayev@kipt.kharkov.ua
29.05–01.06	Москва, Россия	Международная специализированная выставка «Сварка, резка и наплавка»	«Экспоцентр», Мессе Эссен ГмбХ тел.: (495) 205 00 00 факс: (495) 255 27 71 e-mail: galuninan@messedi.ru
29.05–01.06	Москва, Россия	Международная специализированная выставка «Сварочное оборудование» (в рамках Российского промышленного форума «Промышленные технологии для России»)	МВЦ «Крокс Экспо» www.svarka-expo.ru тел./факс: (495) 105 34 42 e-mail: msa@mvk.ru
26–29.06	Нижний Новгород, Россия	11-я Международная специализированная выставка «Сварка-2007»	ВЗАО «Нижегородская ярмарка» www.yarmarka.ru тел.: (8312) 77 55 89 e-mail: levin@yarmarka.ru
01–08.07	Дубровник, Хорватия	60-й Международный конгресс МИС	Хорватский союз сварщиков e-mail: hdtz@fsb.hr
10–13.09	Нюрнберг, Германия	Европейский конгресс и выставка по современным материалам и технологиям EUROMAT 2007	60325 Frankfurt, Niemcy
16–20.09	Детройт Мичиган, США	Конференция и выставка по материаловедению и технологиям «VM&T-2007»	Американское общество металлов Американское общество керамики Американское общество сварщиков www.matscitech.org
17–19.09	Базель, Швейцария	Большая сварочная неделя DVS	DVS факс: 49211/1591-300 e-mail: tagungen@dvs-hg.de
17–19.09	Базель, Швейцария	Сварочная конференция DVS (17–18.09) Конференция по роботам Roboter 2007 (18–19.09) Конференция по соединению пластмасс (19.09)	e-mail: tagungen@dvs-hg.de
24–27.09	С.-Петербург, Россия	9-я Международная выставка по судостроению, судостроительству, освоению океана «Нева-2007»	ОАО «Ленэкспо»
01–05.10	Ялта, Украина	15-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»	www.conference.kiev.ua тел./факс: (044) 573 30 40 e-mail: office@conference.kiev.ua
04–15.10	Москва, (Россия) Париж (Франция)	Международная конференция «Металлургия сварки» с посещением Международной выставки в Париже «Esope/Chaudronntrie 2007»	ОАО НПО ЦНИИТМАШ тел./факс: (495) 675 85 33 моб. тел.: 8-903-168-47-81
16–19.10	Киев, Украина	7-я Специализированная выставка с международным участием «Сварка Украина 2007» (в рамках «Промышленной недели 2007»)	НК «Экспоцентр Украины» www.weldexpo.com.ua тел./факс: (044) 526 91 84 e-mail: olga@welding.kiev.ua
17–20.10	Уфа, Россия	Международная специализированная выставка «Машиностроение» с разделами «Международный сварочный форум» и «Сварка, контроль, реновация»	ВЦ «Башэкспо» www.bashexpo.ru тел.: (3472) 56 51 80 факс: (3472) 90 87 07 e-mail: welding@bashexpo.ru
Ноябрь	Москва, Россия	Международная выставка «Интеринструмент. Экспосварка. Мера 2007»	Экспоцентр
30.10–02.11	Москва, Россия	7-я Международная специализированная выставка «Weldex/Россварка» (сварочные материалы, оборудование, технологии)	КВЦ «Сокольники» www.weldex.ru тел./факс: (495) 105 34 42 e-mail: msa@mvk.ru
05–06.12	Екатеринбург, Россия	5-я Специализированная выставка «Сварка» (оборудование, инструменты, материалы для сварки, резки, пайки) и 1-я Специализированная выставка «Контроль и диагностика»	Уральские выставки 2000 www.uv2000.ru тел.: (343) 355 51 74 e-mail: vystavka@r66.ru

С 1992 г. 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



т/ф (0612) 331058, 343623
(061) 2200079, 2132269

e-mail: weld@triada.zp.ua
www.triada-weld.com.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



ТОРГОВИЙ ДІМ ЗВАРЮВАННЯ 03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав. №21, тел./факс: (+380 44) 526-93-70, 526-93-75, 331-56-39, 526-92-20, e-mail: house@welding.kiev.ua, eduardch@ukr.net

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



ДОНМЕТ

Завод автогенного оборудования



Запоріжжя	(061) 224-11-56
Київ	(044) 200-80-67
Дніпропетровськ	(056) 370-54-45
Донецьк	(062) 381-88-93
Харків	(0572) 50-16-89
Луганськ	(0642) 595-165
Львів	(0322) 45-00-68
Полтава	(0532) 50-89-67
Вінниця	(0432) 53-16-38
Сімферополь	(0652) 54-32-11
Черкаси	(0472) 64-35-28

(06264) 5-77-13, 4-26-85

svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

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. Полевая, 24, офис 504

03056, Киев, Украина

тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485

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



г. Киев, 03150,
 ул. Боженко, 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-6 • 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

СпецСплав

www.spetsplav.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@spetsplav.dp.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

Украина, 03150, г. Киев, ул. Горького, 94-96, к. 14,
тел./факс: (38044) 271 20 36, 271 21 02

"ИЭС - ЭПС"

Специализированный магазин: "ИНПАТ-СЕРВИС",
тел.: (044) 220 92 89

АКЦИЯ!

При размещении в 2007 г.
полноцветной рекламы
(200×230 мм) на обложке или
внутри журнала рекламодатель
получает в подарок

КАТАЛОГ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

**«Техно-
логии.
Материалы.
Оборудо-
вание»**



MEGAFIL® — обеспечение точности благодаря совершенной форме: полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами для получения неразъемных соединений; благодаря своим стабильным размерам, отсутствию деформаций кручения она пригодна при решении широкого круга задач; гарантированная внутренняя защита от влаги позволяет использовать ее без повторной прокалки; важными преимуществами являются сверхвысокая электрическая проводимость и стабильное горение дуги. Поддержите свою форму с помощью MEGAFIL®.

MEGAFIL®: Продукция компании Дратцуг Штайн — наша серия бесшовных изделий, включая также высококачественные порошковые проволоки TOPCORE® и MECUFIL®.

DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
D-67317 Altleiningen
Tel: +49(0) 6356 966-0
Fax: +49(0) 6356 966-114
E-mail: postmaster@drahtzug.de; www.drahtzug.de

Официальный представитель в Украине
АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Вятский, 2а
Тел.: (062) 332-2650(52)
Тел./факс: 382-9449, 332-2651
E-mail: info@arcsel.dn.ua; www.arcsel.dn.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 – 2007 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
	180 грн.	360 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 13.12.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,14. Усл. кр.-отт. 9,99. Уч.-изд. л. 10,44 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.

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