

Prijava naučnog rada

Podaci o radu:

Rad ¹	A-TIG welding of structural steels for power engineering applications (СВАРКА АТІГ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ)
ISSN časopisa	0005-111X
Impakt faktor časopisa ²	0,102
Datum objavljivanja rada	2002
Naziv liste kojoj časopis pripada	SCOPUS
Ukupan broj autora	4
Broj autora koji nisu zaposleni na UCG	1
Naziv vodećeg autora	Darko Bajić

Autori rada:

R.B.	Ime i prezime autora zaposlenih na organizacionoj jedinici
1	Prof.dr Darko Bajić, Mašinski fakultet
2	
3	
4	
5	

Datum podnošenja prijave:

16.03.2018.

Podnosioci prijave:

1. prof.dr Darko Bajić
(Ime i prezime autora)
2. _____
(Ime i prezime autora)
3. _____
(Ime i prezime autora)
4. _____
(Ime i prezime autora)
5. _____
(Ime i prezime autora)

¹ Puna referenca rada

² Ne smije biti stariji od 2015. godine



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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН
 Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
 В. Ф. Грабин, В. Н. Замков,
 А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,
 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, Л. И. Миходуй,
 Л. П. Мойсов, В. Ф. Мошкин,
 О. К. Назаренко, В. В. Пешков,
 И. К. Походня, И. А. Рябцев,
 Ю. А. Стеренбоген,
 Б. В. Хитровская (отв. секр.),
 В. Ф. Хорунов, В. К. Шелег, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
 РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

И. Арата (Япония), Н. П. Алешин (Россия),
 И. Гривняк (Словакия),
 У. Дилтей (Германия),
 Е. А. Дорошкевич (Беларусь),
 П. Зайффарт (Германия),
 А. С. Зубченко (Россия),
 К. Иноуэ (Япония), К. Мацубучи (США),
 Н. И. Никифоров (Россия),
 Б. Е. Патон (Украина),
 Я. Пилярчик (Польша)

Адрес редакции:

03680, Украина, г. Киев-150,
 ул. Боженко, 11
 Институт электросварки
 им. Е. О. Патона НАН Украины
 Тел.: (044) 227 63 02, 269 26 23
 Факс: (044) 268 04 86
 E-mail: journal@paton.kiev.ua
 http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр,
 Т. В. Юштина, Л. В. Герасименко
Электронная верстка:
 И. С. Баташева, И. Р. Наумова,
 И. В. Петушков, Т. Ю. Снегирева

Свидетельство о государственной
 регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

Журнал входит в перечень утвержден-
 ных ВАК Украины изданий для публи-
 кации трудов соискателей ученых сте-
 пеней

Перепечатка материалов из журнала
 «Автоматическая сварка» возможна при
 обязательном письменном согласо-
 вании с редакцией журнала

При перепечатке материалов ссылка на
 журнал «Автоматическая сварка» обяза-
 тельна

За содержание рекламных материалов
 редакция журнала ответственности не
 несет

СОДЕРЖАНИЕ**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

- Акопьянц К.С., Нестеренков В.М., Назаренко О.К.** Электронно-лучевая сварка сталей толщиной до 60 мм с продольными колебаниями луча 3
- Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Ульянов Н.В., Йенсен Дж., Вольке Г.** Исследование биокерамических покрытий, полученных методом микроплазменного напыления 6
- Коринец И.Ф., Цзи Чжень Чун.** Математическая модель технологической адаптации робота по зазору при дуговой сварке 9
- Маркашова Л.И., Арсенюк В.В., Григоренко Г.М., Бердникова Е.Н.** Особенности фазообразования при сварке давлением разнородных металлов в условиях высокоскоростного деформирования 12
- Лазебнов П.П., Пулина Н.Н.** Шлам водоподготовительных установок теплоэнергетики как сырье для электродных покрытий 18
- Гулаков С.В., Носовский Б.И.** К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом 24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Ющенко К.А., Монько Г.Г., Старущенко Т.М., Белорусец Б.О., Наумов А.С.** Сварка крупногабаритных сферических изотермических резервуаров на монтаже для хранения криогенных продуктов 30
- Байич Д.Р., Савицкий М.М., Мельничук Г.М., Лупан А.Ф.** Сварка ATIG конструкционных сталей, применяемых в энергетическом оборудовании 35
- Белоус В.Ю.** Дуговая сварка в узкий зазор титановых сплавов (Обзор) 39
- Письменный А.С., Шинлов М.Е., Юхименко Р.В.** Высокочастотные силовые трансформаторы для индукционных установок 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Сидоренко С.М., Размышляев А.Д., Раевский В.Р.** Распределение индукции управляющего продольного магнитного поля при сварке тавровых соединений 48
- Харченко Г.К., Фальченко Ю.В., Арсенюк В.В., Половецкий Е.В.** Ударная сварка в вакууме алюминия с медью 50
- Диссертации на соискание ученой степени 51
- Патенты в области сварочного производства 52
- По зарубежным журналам 53
- Предложение редакции 54

ХРОНИКА

- Открытие памятника Евгению Оскаровичу Патону 56
- 55-я Ежегодная ассамблея Международного института сварки 57
- Наши поздравления 58

- РЕКЛАМА** 59

Главные спонсоры журнала:

Каховский завод электросварочного оборудования



ОАО «Фирма СЭЛМА»

Ново-Краматорский машиностроительный завод



ПЛИИ Бинцель Украина ГмбХ

Avtomaticheskaya SVARKA

№ 9 (594)
September 2002

Published since March, 1948

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

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B.E. PATON

Yu.S. Borisov, N.M. Voropai,
V.F. Grabin, V.N. Zamkov,
A. T. Zelnichenko, A. Ya. Ishchenko,
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, L. I. Mikhoduj,
L. P. Mojsov,
V.F. Moshkin, O.K. Nazarenko,
V. V. Peshkov, I.K. Pokhodnya,
I.A. Ryabtsev, Yu.A. Sterenbogen,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V.F. Khorunov,
V.K. Sheleg, K.A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

I. Arata (Japan),
N.P. Alyoshin (Russia),
I. Hrivnak (Slovakia),
U. Diltey (Germany),
E.A. Doroshkevich (Belorus),
P. Seyffarth (Germany),
A.S. Zubchenko (Russia),
K. Inoue (Japan),
K. Masubuchi (USA),
N.I. Nikiforov (Russia),
B. E. Paton (Ukraine),
Ya. Pilyarchik (Poland)

Address:

The E. O. Paton Electric
Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23
Fax: (38044) 268 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotlyar,
L. V. Gerasimenko, T. V. Yushchina

Electron galley:

I. S. Batasheva, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov, T. Yu. Snegireva

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Akopyants K.S., Nesterenkov V.M., Nazarenko O.K.** Electron beam welding of steels of up to 60 mm thickness using longitudinal beam oscillations 3
- Borisov Yu.S., Voinarovich S.G., Ulyanchich N.V., Enssen G., Wolke G.** Investigation of bioceramic coatings produced by the method of a microplasma spraying 6
- Korinets I.F., Gi Gian Chun.** Mathematical model of technological adaptation of robot to the gap in arc welding 9
- Markashova L.I., Arsenyuk V.V., Grigorenko G.M., Berdnikova E.N.** Peculiarities of phase formation in pressure welding of dissimilar metals in the conditions of high-rate deformation 12
- Lazebnov P.P., Pulina N.N.** Slime of water-treatment heat power plants as a raw material for electrode coatings 18
- Gulakov S.V., Nosovsky B.I.** About the problem of construction of weld pool model in consumable electrode arc welding 24

INDUSTRIAL

- Yushchenko K.A., Monko G.G., Starushchenko T.M., Belorusets B.O., Naumov A.S.** Site welding of large-sized spherical tanks for storage of cryogenic products 30
- Bajich D.R., Savitsky M.M., Melnichuk G.M., Lupan A.F.** ATIG welding of structural steels used in power machine-building 35
- Belous V.Yu.** Narrow-gap arc welding of titanium alloys (Review) 39
- Pismennyyi A.S., Shinlov M.E., Yukhimenko R.V.** High-frequency power transformers for induction units 44

BRIEF INFORMATION

- Sidorenko S.M., Razmyshlyayev A.D., Raevsky V.R.** Distribution of induction of controlling magnetic field in welding T-joints 48
- Kharchenko G.K., Falchenko Yu.V., Arsenyuk V.V., Polovetsky E.V.** Percussion vacuum welding of aluminium with copper 50
- Theses for scientific degrees 51
- Patents in the field of welding 52
- Review of foreign journals 53
- Offers of Editorial Board 54

News

- Opening of monument of Paton Evgeny Oskarovich 56
- 55th Annual Congress of IIW 57
- Our congratulation 58

- ADVERTISING 59

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

News

IX International Conference
«Mathematical modeling and
information technologies in
welding and related processes»,
Ukraine, Odessa, 10-14
September, 2018 (The First Call for
Papers)

2018.01.20 Proceedings of the
Eight International Conference
«Beam Technologies in Welding
and Materials Processing».

Starting from 2018.01.08, you can
download PDF files of journals for
the year 2016!

2018.01.07 The site have migrated
from http to https

2017.11.02 International
conference «Titanium 2018:
Production and application in
Ukraine»

2016.11.16 International
Conference «Welding and
related technologies - present
and future», 5-6 december, 2018,
Kiev, Ukraine (The First Call for
Papers)

2016.08.06 New book: Pogrebysky
D. **Welding of Metals:
Classification, Brief History,
Development**

The most recent issues
of journals on the site

Avtomaticheskaya Svarka №01
(2018), **Paton Welding Journal**
№01 (2018), **Tekhnicheskaya**
Diagnostika
i Nerazrushayushchiy Kontrol
№4 (2017), **Sovremennaya**
Elektrometallurgiya №4 (2017).

New book: *Sydorets V., Pentegov I.*
Deterministic Chaos in Nonlinear
Circuits with Electric Arc. Kiev:
IAW, 2013. – 272 p.
Hard cover, 165x235 mm. (in
Russian)

Official Facebook Page



IP: 127.0.0.1



Paton Welding Journal

The Paton Welding Journal 2002 №09

2002 №08

2002 №10

Paton Welding Journal 2002 №09



CONTENTS

Akopiants K.S., Nesterenkov V.M. and Nazarenko O.K. Electron beam welding of 60 mm thick steels using longitudinal oscillations of beam. 2

Borisov Yu.S., Vojnarovich S.G., Ulianchich N.V., Jensen J. and Wolke J. Investigation of bioceramic coatings produced by microplasma spraying. 4

Korinets I.F. and Ji Cheng Chung. Mathematical model of technological adaptation of the robot to the gap in arc welding 7

Markashova L.I., Arsenyuk V.V., Grigorenko G.M. and Berdnikova E.N. Peculiarities of phase formation in pressure welding of dissimilar metals under conditions of high-rate deforming 9

Lazebnov P.P. and Pulina N.N. Slime of water-conditioning units of thermal power engineering as raw material for electrode coatings 15

Gulakov S.V. and Nosovsky B.I. On construction of the model of weld pool in consumable-electrode arc welding. 21

Yushchenko K.A., Monko G.G., Starushchenko T.M., Belorusets B.O. and Naumov A.S. Field welding of large-size spherical isothermal tanks for storage of cryogenic products. 26

Contact the publisher:

International Association
"Welding"

03680, 11 Kazimir Malevich str.,
Kiev, Ukraine
Tel.: (+38044) 200 82 77
Fax: (+38044) 200 81 45
E-mail: journal@paton.kiev.ua

Exhibitions and Conferences

International
Conference «Welding
and related
technologies - present
and future»
5-6 december, 2018
Kiev, Ukraine

IX International
Conference
«Mathematical
modeling and
information
technologies in
welding and related
processes»
Ukraine, Odessa,
Arkadia, Hotel
«Kurortniy»
10-14 September, 2018

International
conference «Titanium
2018: Production and
application in Ukraine»
Kyiv, 11–13 June, 2018,
E.O. Paton Electric
Welding Institute of the
NASU

Exhibitions and conferences
have taken place

Bajic D.R., Savitsky M.M., Melnichuk G.M. and Lupan A.F. A-TIG welding of structural steels for power engineering applications. 30

Belous V.Yu. Narrow-gap arc welding of titanium alloys (Review). 35

Pismenny A.S., Shinlov M.E. and Yukhimenko R.V. High-frequency power transformers for induction units. 39

Sidorenko S.M., Razmyshlyayev A.D. and Maevsky V.R. Distribution of induction of control longitudinal magnetic field in welding T-joints. 43

Kharchenko G.K., Falchenko Yu.V., Arsenyuk V.V. and Polovetsky E.V. Vacuum percussion welding of aluminium to copper. 46

Sorry, the PDF of this issue is not yet available

[Pricing information for subscription](#)

The cost of subscription/purchase order journals or individual articles

Journal/Currency	Annual Set	1 copy	one article
AS/UAH	1800 UAH	150 UAH	100 UAH
AS/RUB	10800 RUB	900 RUB	600 RUB
AS/USD	180 \$	15 \$	10 \$
AS/EUR	180 €	15 €	10 €
TPWJ/UAH	4800 UAH	400 UAH	100 UAH
TPWJ/RUB	10800 RUB	900 RUB	900 RUB
TPWJ/USD	348 \$	29 \$	10 \$
TPWJ/EUR	348 €	29 €	10 €
SEM/UAH	600 UAH	150 UAH	100 UAH
SEM/RUB	3600 RUB	900 RUB	600 RUB
SEM/USD	60 \$	15 \$	10 \$
SEM/EUR	60 €	15 €	10 €
TDNK/UAH	600 UAH	150 UAH	100 UAH
TDNK/RUB	3600 RUB	900 RUB	600 RUB
TDNK/USD	60 \$	15 \$	10 \$
TDNK/EUR	60 €	15 €	10 €

AS = «Avtomaticheskaya Svarka» - 12 issues per year;

TPWJ = «PATON WELDING JOURNAL» - 12 issues per year;

SEM = «Sovremennaya Elektrometallurgiya» - 4 issues per year;

TDNK = «Tekhnicheskaya Diagnostika i Nerazrushayushchiy Kontrol» - 4 issues per year.

In Russian is the table of contents of the journal

[Avtomaticheskaya Svarka №09 2002](#)

Site Development - LeftFootSite

© 2013-2018 Paton Publishing House. All Rights Reserved.



Paton Publishing House

PENCENG

PUBLISHING HOUSE

JOURNALS

BOOKS

COMPILATIONS

PROCEEDINGS OF CONFERENCES

AVAILABILITY OF ARTICLES

Paton Welding Institute ► Publishing House ► Journals ► Avtomaticheskaya Svarka ► 2002

News

IX International Conference
«Mathematical modeling and
information technologies in
welding and related processes»,
Ukraine, Odessa, 10-14
September, 2018 (The First Call for
Papers)

2018.01.20 Proceedings of the
Eight International Conference
«Beam Technologies in Welding
and Materials Processing».

Starting from 2018.01.08, you can
download PDF files of journals for
the year 2016!

2018.01.07 The site have migrated
from http to https

2017.11.02 International
conference «Titanium 2018:
Production and application in
Ukraine»

2016.11.16 International
Conference «Welding and
related technologies - present
and future», 5-6 december, 2018,
Kiev, Ukraine (The First Call for
Papers)

2016.08.06 New book: Pogrebisky
D. **Welding of Metals:
Classification, Brief History,
Development**

The most recent issues
of journals on the site

Avtomaticheskaya Svarka №01
(2018), **Paton Welding Journal**
№01 (2018), **Tekhnicheskaya**
Diagnostika
I Nerazrushayushchiy Kontrol
№4 (2017), **Sovremennaya**
Elektrometallurgiya №4 (2017).

New book: *Sydorets V., Pentegov I.*
Deterministic Chaos in Nonlinear
Circuits with Electric Arc. Kiev:
IAW, 2013. – 272 p.
Hard cover, 165x235 mm. (in
Russian)

Official Facebook Page



IP: 127.0.0.1



Avtomaticheskaya Svarka

Avtomaticheskaya Svarka 2002 №09

2002 №08

2002 №10

Avtomaticheskaya Svarka 2002 №09



Contact the publisher:

International Association "Welding"

03680, 11 Kazimir Malevich str.,
Kiev, Ukraine
Tel.: (+38044) 200 82 77
Fax: (+38044) 200 81 45
E-mail: journal@paton.kiev.ua

Exhibitions and Conferences

International
Conference «Welding
and related
technologies - present
and future»
5-6 december, 2018
Kiev, Ukraine

IX International
Conference
«Mathematical
modeling and
information
technologies in
welding and related
processes»
Ukraine, Odessa,
Arkadia, Hotel
«Kurortniy»
10-14 September, 2018

International
conference «Titanium
2018: Production and
application in Ukraine»
Kyiv, 11–13 June, 2018,
E.O. Paton Electric
Welding Institute of the
NASU

Exhibitions and conferences
have taken place

CONTENTS

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Акопянц К.С., Нестеренков В.М., Назаренко О.К.** Электроннолучевая сварка
сталей толщиной до 60 мм с продольными колебаниями луча... 3
- Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Ульянович Н.В., Йенсен Дж., Вольке Г.**
Исследование биокерамических покрытий, полученных методом микроплазменного
напыления ... 6
- Коринец И.Ф., Цзи Чжень Чун.** Математическая модель технологической
адаптации робота по зазору при дуговой сварке ... 9
- Маркашова Л.И., Арсенюк В.В., Григоренко Г.М., Бердникова Е.Н.** Особенности
фазообразования при сварке давлением разнородных металлов в условиях
высокоскоростного деформирования ... 12
- Лазебнов П.П., Пулина Н.Н.** Шлам водоподготовительных установок
теплоэнергетики как сырье для электродных покрытий ... 18
- Гулаков С.В., Носовский Б.И.** К вопросу построения модели сварочной ванны при
дуговой сварке плавящимся электродом ... 24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Ющенко К.А., Монько Г.Г., Старущенко Т.М., Белорусец Б.О., Наумов А.С.
Сварка крупногабаритных сферических изотермических резервуаров на монтаже для хранения криогенных продуктов ... 30

Байич Д.Р., Савицкий М.М., Мельничук Г.М., Лупан А.Ф. Сварка АТIG конструкционных сталей, применяемых в энергетическом оборудовании ... 35

Белоус В.Ю. Дуговая сварка в узкий зазор титановых сплавов (Обзор) ... 39

Письменный А.С., Шинлов М.Е., Юхименко Р.В. Высокочастотные силовые трансформаторы для индукционных установок ... 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Сидоренко С.М., Размышляев А.Д., Раевский В.Р. Распределение индукции управляющего продольного магнитного поля при сварке тавровых соединений ... 48

Харченко Г.К., Фальченко Ю.В., Арсенюк В.В., Половецкий Е.В. Ударная сварка в вакууме алюминия с медью ... 50

Диссертации на соискание ученой степени ... 51

Патенты в области сварочного производства ...52

По зарубежным журналам ... 53

Предложение редакции ... 54

ХРОНИКА

Открытие памятника Евгению Оскаровичу Патону ... 56

55-я Ежегодная ассамблея Международного института сварки ... 57

Наши поздравления ... 58

РЕКЛАМА ... 59

[View/Download PDF of this issue, the file size \(Kbytes\): 4905](#)
[Pricing information for subscription](#)

The cost of subscription/purchase order journals or individual articles

Journal/Currency	Annual Set	1 copy	one article
AS/UAH	1800 UAH	150 UAH	100 UAH
AS/RUB	10800 RUB	900 RUB	600 RUB
AS/USD	180 \$	15 \$	10 \$
AS/EUR	180 €	15 €	10 €
TPWJ/UAH	4800 UAH	400 UAH	100 UAH
TPWJ/RUB	10800 RUB	900 RUB	900 RUB
TPWJ/USD	348 \$	29 \$	10 \$
TPWJ/EUR	348 €	29 €	10 €
SEM/UAH	600 UAH	150 UAH	100 UAH
SEM/RUB	3600 RUB	900 RUB	600 RUB
SEM/USD	60 \$	15 \$	10 \$
SEM/EUR	60 €	15 €	10 €
TDNK/UAH	600 UAH	150 UAH	100 UAH
TDNK/RUB	3600 RUB	900 RUB	600 RUB
TDNK/USD	60 \$	15 \$	10 \$
TDNK/EUR	60 €	15 €	10 €

AS = «Avtomaticheskaya Svarka» - 12 issues per year;
TPWJ = «PATON WELDING JOURNAL» - 12 issues per year;
SEM = «Sovremennaya Elektrometallurgiya» - 4 issues per year;
TDNK = «Tekhnicheskaya Diagnostika i Nerazrushayushchiy Kontrol» - 4 issues per year.
[In English is the table of contents of the journal](#)
[Paton Welding Journal №09 2002](#)

Поиск

Site Development - LeftFootSite

© 2013-2018 Paton Publishing House. All Rights Reserved.



СВАРКА АТIG КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Д. Р. БАЙИЧ, инж. (Техн. ун-т, г. Подгорица, Черногория),
М. М. САВИЦКИЙ, д-р техн. наук, Г. М. МЕЛЬНИЧУК, А. Ф. ЛУПАН, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучена эффективность применения сварки конструкционных низколегированных углеродистых и теплоустойчивых сталей вольфрамовым электродом в инертном газе с активирующим флюсом (сварка АТIG). Показано, что увеличение проплавляющей способности дуги на пониженных токах может инициировать образование в соединениях структурных составляющих, повышающих прочность и снижающих пластичность металла. Для устранения влияния этого фактора на конструктивную прочность соединений целесообразно их подвергать отпуску, в том числе местному, совмещенному с автоопрессовкой, используемой для получения удовлетворительной геометрии шва.

Ключевые слова: аргодуговая сварка, активирующий флюс, формирование шва, автоопрессовка, конструкционные стали, химический состав, механические свойства, структура металла

Выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона исследования в области металлургии сварки высокопрочных сталей и сплавов титана показали, что интенсификация окислительно-восстановительных реакций в дуге с инертной атмосферой малыми дозами химически активных элементов увеличивает глубину проплавления свариваемого металла и улучшает качество сварных соединений [1]. На основе эффекта активации в настоящее время разрабатываются перспективные технологические процессы сварки неплавящимся и плавящимся электродами в инертных газах [2]. Причем в некоторых странах, в частности США и Японии, эти работы были включены в перечень приоритетных направлений развития сварки [3, 4]. В ИЭС им. Е. О. Патона накоплен большой опыт применения активаторов для многих классов сталей — от высоколегированных до низкоуглеродистых кипящих. Целью настоящей работы было ознакомление читателей с некоторыми новыми результатами, касающимися сварки конструкционных углеродистых низколегированных и теплоустойчивых сталей.

Использование эффекта активации при сварке неплавящимся электродом конструкционных сталей, как показали наши исследования, существенно улучшает технологические и экономические показатели сварочных технологий (табл.1). В связи с увеличением глубины проплавления на стали толщиной 5...16 мм не требуется разделка кромок, сокращается количество проходов и суммарное время сварки, уменьшается расход присадочного металла, защитного газа и электроэнергии.

Что касается элементов-активаторов, то их стоимость в общем балансе затрат не-

значительна из-за малого расхода. Экспериментально установлено, что при использовании в качестве активатора кислорода его расход, отнесенный к массе расплавляемого металла, должен составлять около 0,02 %. Это количество кислорода можно получить из основного металла, например, при сварке слабораскисленных сталей. Однако в виду кратковременного пребывания расплавленного металла в жидком состоянии и непостоянства содержания кислорода в стали разных плавок обеспечить его равномерное поступление в междудуготный промежуток довольно сложно, а интенсификация его выделения из глубинных слоев сварочной ванны может привести к образованию пор. Более стабильные результаты дает введение кислорода через защитную атмосферу [5]. Но и в этом случае возникают определенные трудности с обеспечением точной подачи кислорода и защиты вольфрама от окисления.

Таблица 1. Затраты материалов и времени на погонную длину шва 1 м при сварке сталей способами TIG и АТIG

Способ сварки	Толщина свариваемого металла, мм	Количество проходов	Время сварки, мин	Расход		
				провода, кг	аргона, м ³	электроэнергии, кВт·ч
TIG						
односторонняя	5	3	26	0,28	0,26	1,10
	8	4	34	0,50	0,34	1,49
	10	5	40	0,64	0,43	1,95
двусторонняя	12	5	43	0,78	0,43	1,90
	14	7	60	0,81	0,60	2,60
	16	9	77	1,10	0,77	3,40
ATIG						
односторонняя	5	1	7	0,06	0,07	0,13
	8	1	15	0,08	0,15	0,63
	10	1	20	0,10	0,20	0,87
двусторонняя	12	2	24	0	0,24	0,88
	14	2	30	0	0,30	1,10
	16	2	40	0	0,40	1,53



Рис. 1. Емкости для хранения и нанесения активирующего флюса

Эффективным способом введения активаторов в зону сварки является применение активирующих флюсов. В ИЭС им. Е. О. Патона разработана серия активирующих флюсов (высокодисперсных смесей оксидного и оксидно-фторидного типов для разных классов сталей), а также способы их применения в различных условиях [6], которые позволяют получить необходимое количество активаторов в междуэлектродном промежутке при расходе флюса 1...2 г на погонную длину стыка 1 м. Широкое распространение получил вариант нанесения пастообразного флюса с помощью флюсографа многообразного использования, заправляемого из специальных емкостей (рис. 1). При этом компоненты флюса участвуют в обменных реакциях, происходящих на поверхности сварочной ванны, что позволяет микролегировать и модифицировать металл шва с целью улучшения его структуры и свойств. Представленные на рис. 2 данные свидетельствуют о том, что эти операции реальны и управляемы: количество элементов, переходящих в металл шва, соответствует их содержанию во флюсе.

Указанный расход флюса практически не влияет на состав отработанных газов в месте расположения сварочного поста. Оценка интенсивности выделения твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА)* показала, что в процессе сварки в аргоне низколегированной стали марки 12Х1МФ на предельных токах (до 300 А) с применением оксидного флюса ВС-2э ТССА составляет 0,274 г на погонную длину шва 1 м. Это преимущественно оксиды хрома (0,0179), марганца (0,0156), титана (0,0139), кремния (0,0175) и железа (0,1625). При расходе аргона 0,2 м³ на погонную длину шва

* Авторы благодарят О. Г. Левченко и его сотрудников за выполненную оценку.

Таблица 2. Химический состав и механические свойства металла различных участков сварного соединения

Участок сварного соединения	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	O ₂	N ₂
ОМ	0,18	0,33	1,52	0,05	0,02	< 0,005	0,013	0,015	0,0021	0,0061
Шов	0,16	0,31	1,50	0,07	0,02	< 0,005	0,012	0,015	0,0025	0,0051
ОМ	0,11	0,23	0,80	0,23	0,05	0,01	0,015	0,017	0,0020	0,0086
Шов	0,09	0,21	0,81	0,27	0,05	0,01	0,013	0,017	0,0023	0,0078
ОМ	0,17	0,25	0,32	1,31	2,82	0,35	0,002	0,010	0,0018	0,0080
Шов	0,16	0,22	0,30	1,35	2,81	0,33	0,002	0,010	0,0023	0,0071

Примечание. Здесь ОМ — основной металл.

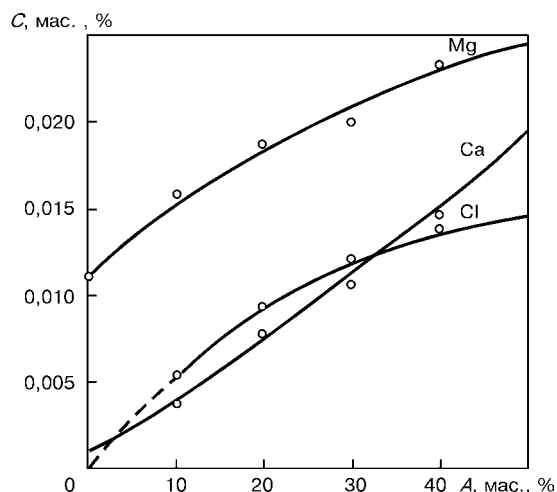


Рис. 2. Зависимость массовой доли элементов в металле шва С от их содержания в активирующем флюсе А

1 м общее количество аэрозолей не превышает 0,1 мас. %, т. е. применение сварки АТИГ не требует дополнительных средств для защиты персонала, поскольку может выполняться в тех же условиях, что и сварка ТИГ. Не требуется также специализированное сварочное оборудование, так как условия возбуждения и горения дуги в целом определяются защитным газом, а активаторы действуют в локальных зонах междуэлектродного промежутка.

Характерной особенностью сварки АТИГ является образование узких швов с глубоким проплавлением основного металла без разделки кромок: коэффициент их формы при U-образном проплавлении составляет ≤ 1 (рис. 3, а), а структура состоит из мелкодисперсных дезориентированных кристаллитов, что обуславливает высокую сопротивляемость металла образованию кристаллизационных трещин [2]. Не вступая в дискуссию со сторонниками не подтвержденного экспериментально предположения Хейпли о первостепенном влиянии на проплавление стали поверхностного натяжения жидкого металла, отметим, что указанная особенность сильно влияет на комплекс технологических и служебных свойств сварных соединений. С одной стороны, она способствует снижению уровня сварочных напряжений и, следовательно, вызванных ими остаточных деформаций. Измерение последних показало, что при сварке АТИГ плоских стыковых соединений продольные и поперечные деформации примерно в два раза меньше, чем при сварке ТИГ, а угловые деформации

Продолжение табл. 2

Участок сварного соединения	Механические свойства					
	σ_b , МПа	σ_s , МПа	δ , %	KCV , Дж/см ² , при T , °C		
				+20	-20	-20
				Без отпуска		Отпуск 650 °C
ОМ	508,0	385,0	26,3	64,7	27,3	30,5
Шов	567,1	437,0	20,6	39,8	17,7	31,9
ОМ	459,7	360,1	29,1	71,1	32,3	34,0
Шов	485,8	375,6	22,9	41,5	23,2	35,3
ОМ	868,6	598,4	27,1	73,4	36,7	37,6
Шов	779,3	670,1	19,0	30,1	18,2	37,0

вообще близки к нулю. Эти результаты коррелируют с данными, полученными при испытаниях сварных соединений на трещиностойкость: при сварке по способу АТИГ стойкость соединений против образования горячих и холодных трещин выше стойкости соединений, выполненных сваркой ТIG [2].

С другой стороны, сварные швы с глубоким проплавлением, сформированные из основного металла без присадочной проволоки, которая, как правило, имеет пониженное содержание углерода, характеризуются более высокой склонностью к закалке, усиливаемой еще и тем, что сварка АТИГ осуществляется с меньшей погонной энергией, и скорость охлаждения сварных соединений возрастает. Последнее способствует более интенсивному образованию закалочных структурных составляющих в металле шва и ЗТВ, которые повышают его прочность, снижая пластичность и вязкость. Как следует из табл. 2, эта тенденция достаточно четко прослеживается в соединениях низколегированных сталей при испытании образцов без последующей термической обработки. Применение высокого отпуска устраняет различие свойств, обусловленное сваркой в пределах данного химического состава стали, в том числе и ударной вязкости при отрицательной температуре. Причем, как свидетельствуют результаты работы [6], этот эффект может быть достигнут посредством не только печной, но и местной термической обработки с использованием сварочной дуги при ее совмещении с выполнением декоративного слоя для улучшения геометрических размеров шва (рис. 3, б). Что касается влияния колебаний химического состава, присущих каждой марке стали, то оно всегда будет проявляться через разброс показателей механических свойств. Однако в отличие от соединений, выполненных другими способами дуговой сварки, изменение показателей механических свойств в нашем случае происходит синхронно для основного металла и металла шва тем более, что они весьма близки по химическому составу и свойствам.

Аналогичная тенденция прослеживается и для сталей, изготовленных по стандартам Украины, с той лишь разницей, что содержание в них примесей (S, P, O₂ и N₂) в 2...3 раза выше. Последнее обстоятельство способствует увеличению разброса результатов испытаний на ударную вязкость. Так, например, при сварке стали 20 без послесварочного

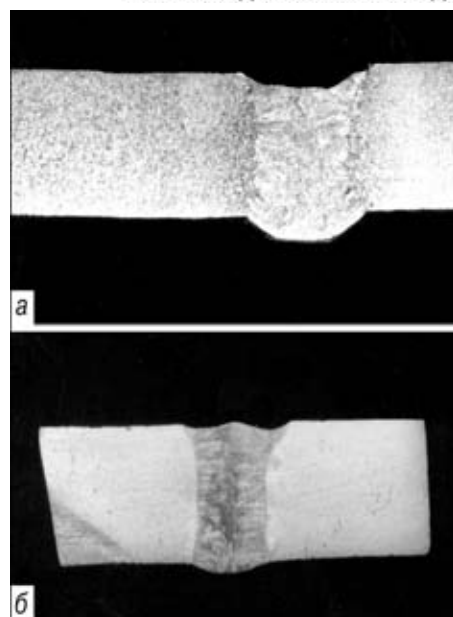


Рис. 3. Сварной шов, выполненный сваркой АТИГ без присадочной проволоки: а — без автоопрессовки; б — с автоопрессовкой

отпуска ударная вязкость KCV^{+20} составила для основного металла 54,1...39,7, а для металла шва 36,3...29,3 Дж/см². Немного лучшие показатели ударной вязкости получены при испытании соединения из сталей 12Х1МФ и 10ХСНД. Однако общая тенденция снижения ударной вязкости литого металла шва непосредственно после охлаждения со сварочного нагрева зафиксирована и в этих случаях, если не применяли послесварочный отпуск. Это обусловлено более высокими скоростями охлаждения сварного соединения при сварке АТИГ и образованием менее пластичных составляющих структуры из-за повышенной концентрации нагрева. При отпуске механические свойства сварных соединений, выполненных сваркой АТИГ, стабилизировались на уровне свойств основного металла. Это позволяет достигать равнопрочности металла всех участков сварного соединения.

Влияние последующего местного отпуска на механические свойства соединений труб из сталей 20 (размером 8Х160 мм), 10ХСНД (6Х120 мм) и 12Х1МФ (6Х76 мм), применяемых в энергетических установках, представлено в табл. 3. Сварку основного слоя шва в первом случае выполняли на токе 200, а во втором и третьем — 150 А. Для получения декоративного слоя шва (рис. 3) способом автоопрессовки и отпуска металла в предыдущем слое и ЗТВ изменяли скорость сварки таким образом, чтобы обеспечить оптимальное сочетание скоростей распространения тепла и нарастания термических напряжений в сварном соединении в период развития пластического течения металла.

Данные табл. 3 и рис. 3 показывают, что влияние автоопрессовки на форму и качество шва весьма положительное и может быть использовано для практических целей. При этом улучшается его структура. Литая дендритная структура, сформировавшаяся в процессе сварки первого (основного) слоя шва, после автоопрессовки становится менее четкой («размытой») (рис. 4). Аустенитное



Таблица 3. Механические свойства соединений сталей 20, 12Х1МФ и 10ХСНД при сварке АТИГ с автоопрессовкой

Марка стали	Участок сварного соединения	Температура испытаний, °С	σ_b , МПа	σ_s , МПа	δ , %	ψ , %	Ударная вязкость, Дж/см ²		
							С автоопрессовкой		Без автоопрессовки
							KCU	KCV	KCV
10ХСНД	ОМ	20	736,0	589,4	21,3	66,6	166,3	72,4	72,0
	Шов		751,2	674,3	20,0	55,6	159,1	71,1	23,1
12Х1МФ	ОМ	20	523,9	328,7	23,1	67,3	117,1	67,4	67,4
	Шов		567,1	368,1	26,7	64,1	121,3	69,9	32,6
Ст 20	ОМ	20	440,7	356,1	24,1	65,0	116,7	70,0	69,7
	Шов		499,3	374,4	22,6	71,6	118,1	78,0	29,1
	ОМ	100	495,4	268,3	18,2	62,0	Не определяли		
	Шов	200	547,8	263,5	17,3	58,6			
	ОМ	250	531,7	256,4	16,2	51,4			
	Шов	350	526,2	232,1	18,0	53,3			

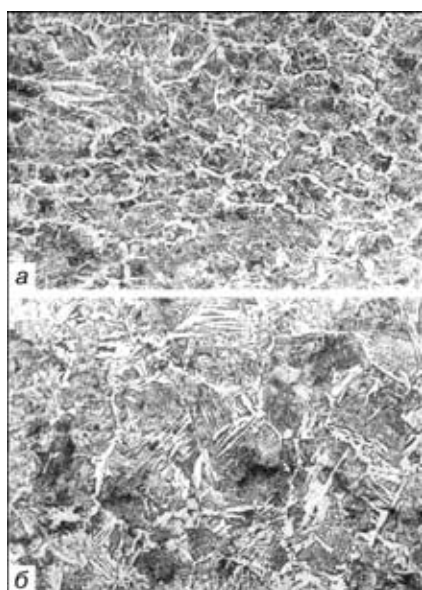


Рис. 4. Микроструктура (X200, уменьш. 4/5) металла шва (а) и металла ЗТВ (б) при сварке с автоопрессовкой

зерно в металле ЗТВ при этом практически не изменяется. Что касается вторичной структуры металла шва, то после сварки в основном слое шва на сталях 10ХСНД и 12Х1МФ ее можно идентифицировать как смесь глобулярного бейнита (HV_{50} 300...330) с мартенситом (HV_{50} 400...410). На участке перегрева металла ЗТВ пластины мартенсита встречаются реже и структура металла в основном представлена бейнитом (HV_{50} 270...350). После проведения автоопрессовки структура металла шва и металла ЗТВ становится более дисперсной. Микротвердость ее составляющих при этом практически не изменяется, снижается только разброс ее значений.

Для обеспечения необходимого сочетания прочностных характеристик сварных соединений с по-

казателями пластичности и вязкости переплав металла в аргоне всегда имеет положительное значение. Применение активирующего флюса не внесло противопоказаний. Согласно результатам измерений, проведенных с использованием микроскопа «Квантимет-720», более крупные и вытянутые в цепочки сульфиды и оксиды, присутствующие в основном металле, измельчаются и глобулизируются в швах, выполненных способом АТИГ. Если объемная доля сульфидов в основном металле составляла примерно 0,010, а оксидов 0,004...0,008 %, то в металле шва было обнаружено 0,0075 % сульфидов и 0,0073 % оксидов.

Таким образом, применение сварки АТИГ в комбинации с автоопрессовкой для углеродистых, марганцовистых и низколегированных сталей, используемых в энергетическом оборудовании, позволит повысить качество сварных соединений без применения таких сложных и дорогостоящих технологических приемов, как разделка кромок, объемный печной отпуск, а также специальных присадочных проволок.

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
2. Савицкий М. М., Кушнirenко Б. М., Олейник О. И. Особенности сварки сталей вольфрамовым электродом с активирующими флюсами (АТИГ-процесс) // Автомат. сварка. — 1999. — № 12. — С. 20–28.
3. Gordon J. R. Perspectives on welding research and development in the USA // Weld. Review Intern. — 1995. — № 9. — С. 95–108.
4. Технологии сварки и соединений в XXI веке // Jap. Weld. Soc. — 2001. — 70, № 3. — С. 6–18.
5. Способы применения активаторов для сварки в инертном газе / М. М. Савицкий, А. Ф. Лупан, Г. М. Мельничук, О. И. Олейник // Автомат. сварка. — 2000. — № 3. — С. 48–49.
6. Савицкий М. М., Кулик В. М., Бурский Г. В. Особенности дуговой обработки закаляющихся сталей без расплавления // Там же. — 2000. — № 5. — С. 31–36.

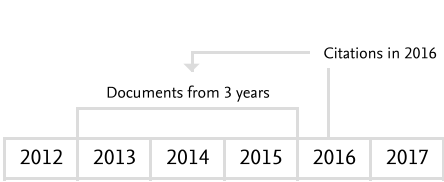
Effectiveness of application of ATIG welding of structural low-alloyed carbon and heat-resistant steels was studied. It was shown that improved arc penetrability at lower currents may initiate formation of structural components in the joints, which increase the strength and lower the ductility of the metal. In order to eliminate the influence of this factor on the structural strength of the joints, it is rational to conduct their annealing, including local annealing combined with self-pressing, used to produce a satisfactory weld geometry.

Поступила в редакцию 04.03.2002,
в окончательном варианте 27.03.2002

Sources

CiteScore metrics for serials

CiteScore metrics from Scopus are comprehensive, transparent, current and free metrics for serial titles in Scopus. Search or browse below to find a source and see associated metrics. Use the annual metrics for reporting, and track the progress of 2017 metrics with CiteScore Tracker 2017. Be sure to use qualitative as well as the below quantitative inputs when presenting your research impact, and always use more than one metric for the quantitative part.



Search for a source Browse sources [Download Scopus Source List](#)

Search

0005-111X

X

Q

☐ Title ☐ ISSN ☐ Publisher ☐ Display only Open Access journals

1 source found matching "0005-111X".

Clear filters

Source title	CiteScore	SJR	SNIP	Type
Avtomaticheskaya Svarka (coverage discontinued in Scopus)				Journal

Top of page

About Scopus

- What is Scopus
- Content coverage
- Scopus blog
- Scopus API
- Privacy matters

Language

- 日本語に切り替える
- 切换到简体中文
- 切换到繁體中文
- Русский язык

Customer Service

- Help
- Contact us

Source details

Avtomaticeskaya Svarka

Scopus coverage years: from 1975 to 1986, 1988, from 2001 to 2005
(coverage discontinued in Scopus)

Publisher: Natsional'na Akademiya Nauk Ukrainy

ISSN: 0005-111X

Subject area: **Engineering: Mechanical Engineering**

[Visit Scopus Journal Metrics ↗](#)

SJR 2008
0.102 ⓘ

- [View all documents >](#)
- [Set document alert](#)
- [Journal Homepage](#)

Scopus content coverage

Year	Documents published	Actions
2005	137 documents	View citation overview >
2004	152 documents	View citation overview >
2003	239 documents	View citation overview >
2002	214 documents	View citation overview >
2001	229 documents	View citation overview >
1995 and before	593 documents	View citation overview >

About Scopus

- [What is Scopus](#)
- [Content coverage](#)
- [Scopus blog](#)
- [Scopus API](#)
- [Privacy matters](#)

Language

- [日本語に切り替える](#)
- [切换到简体中文](#)
- [切换到繁體中文](#)
- [Русский язык](#)

Customer Service

- [Help](#)
- [Contact us](#)



Link Rada:

<https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2002/as200209all.pdf>