



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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

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

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

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

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

Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

СВАРОЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ ПГТУ — 35

Размышляев А. Д., Шаферовский В. А. Подготовка кадров на сварочном факультете 3

Роянов В. А. К 60-летию кафедры оборудования и технологии сварочного производства 5

Чигарев В. В., Белик А. Г., Сергиенко Ю. В. Расчетно-экспериментальная оценка особенностей процесса плавления и переноса электродного металла 8

Размышляев А. Д., Дели А. А., Миронова М. В. Расчет индукции управляющего продольного магнитного поля с учетом магнитных свойств сердечника, проволоки и изделия применительно к дуговой наплавке 12

Чигарев В. В., Щетинина В. И., Щетинин С. В., Федун В. И. Влияние формы изделия на электромагнитное поле сварочного тока 16

Роянов В. А., Матвиенко В. Н., Степнов К. К., Семенов В. П., Заварика Н. Г., Захарова И. В., Климанчук В. В. Порошковая проволока для электродугового напыления поверхности рабочих валков дрессировочной клетки стана холодной прокатки 22

Матвиенко В. Н. Порошковая проволока для упрочнения шеек и галтелей прокатных валков 24

Малинов В. Л. Экономнолегированные электродные материалы, обеспечивающие в наплавленном металле деформационное упрочнение при эксплуатации 29

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Ющенко К. А., Задерий Б. А., Котенко С. С., Полищук Е. П., Карасевская О. П. Структура сварных соединений монокристаллов вольфрама 33

Жадкевич М. Л., Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Мазунин В. М. Влияние параметров разрядного контура плазменно-детонационной установки на газодинамические характеристики импульсных плазменных потоков 42

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Кучук-Яценко В. С., Лозовская А. В., Наконечный А. А., Сахацкий А. Г. Контактная сварка алюминиево-стальных прослоек с использованием деформируемых композитных прослоек 46

Жудра А. П., Кривчиков С. Ю., Петров В. В. Влияние кремния на свойства углеродистого низколегированного наплавленного металла 49

Сидорук В. С. «Ноу-хау» и как его использовать 52

ХРОНИКА

23-я Ежегодная международная выставка «Intermach'2006» 59

Триада конференций в Сиэттле 61

Международная конференция «Титан в СНГ 2006» 62

12-я Международная выставка по сварке, резке и родственным технологиям «Сварка 2006» 63

Памяти В. А. Титова 66

ИНФОРМАЦИЯ 67

Разработано в ИЭС 41, 51, 58

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 8 (640)
August 2006
Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

Address:

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

Editors:

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

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

WELDING FACULTY OF PSTU IS 35

Razmyshlyaev A. D., Shaferovsky V. A. Education and training of personnel at Welding Faculty	3
Royanov V. A. Towards the 60th anniversary of the Chair of welding manufacturing equipment and technology	5
Chigarev V. V., Belik A. G., Sergienko Yu. V. Computational-experimental estimation of specifics of the process of melting and electrode metal transfer	8
Razmyshlyaev A. D., Deli A. A., Mironova M. V. Calculation of induction of controlling longitudinal magnetic field with account for magnetic properties of the core, wire and workpiece as regards to arc surfacing	12
Chigarev V. V., Shchetinina V. I., Shchetinin S. V., Fedun V. I. Effect of product shape on electromagnetic field of welding current	16
Royanov V. A., Matvienko V. N., Stepnov K. K., Semyonov V. P., Zavarika N. G., Zakharova I. V., Klimanchuk V. V. Flux-cored wire for electric arc spraying of surface of tempering stand working rolls of cold rolling mill	22
Matvienko V. N. Flux-cored wire for strengthening of necks and fillets of mill rolls	24
Malinov V. L. Sparsely-alloyed electrode materials guaranteeing deformation hardening in deposited metal in service	29

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Yushchenko K. A., Zaderiy B. A., Kotenko S. S., Polishchuk E. P., Karasevskaya O. P. Structure of welded joints of tungsten single crystals	33
Zhadkevich M. L., Tyurin Yu. N., Kolsnichenko O. V., Mazunin V. M. Effect of parameters of discharge circuit of plasma-detonation unit on gas-dynamic characteristics of pulsed plasma flows	42

INDUSTRIAL

Kuchuk-Yatsenko V. S., Lozovskaya A. V., Nakonechnyi A. A., Sakhatsky A. G. Flash-butt welding of aluminium-steel transition pieces using deformable composite interlayers	46
Zhudra A. P., Krivchikov S. Yu., Petrov V. V. Effect of silicon on properties of carbon low-alloy deposited metal	49
Sidoruk V. S. «Know-how» and how to realize it	52

NEWS

23rd Annual International Show «Intermach -2006»	59
Triad of conferences in Seattle	61
International Conference «Titanium in CIS-2006»	62
12th International Conference on welding, cutting and allied technologies «Welding'2006»	63
In memory of V. A. Titov	66

INFORMATION	67
--------------------------	----

Developed at PWI	41, 51, 58
------------------------	------------

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.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и редколлегия журнала «Автоматическая сварка» сердечно поздравляют преподавателей, сотрудников и студентов в связи с 60-летием со дня создания кафедры оборудования и технологии сварочного производства (ОиТСП) и 35-летием сварочного факультета Приазовского государственного технического университета!

Создание в 1946 г. кафедры ОиТСП и организация в конце 1971 г. сварочного факультета имели большое значение для подготовки специалистов по сварке и родственным технологиям для промышленных предприятий юга и юго-востока Украины, и в первую очередь Донбасса, а также быстро развивающихся металлургических и машиностроительных гигантов в Мариуполе, Донецке, Краматорске, Харькове, Луганске. За прошедшие 60 лет кафедрой подготовлено более 5500 специалистов, многие из которых руководят крупнейшими стройками, предприятиями, возглавляют ряд высших учебных заведений. Более 110 выпускников кафедры и факультета стали кандидатами наук, 10 докторами наук и 11 профессорами. Мариупольская школа сварщиков получила признание далеко за пределами Украины.

Все эти годы кафедра ОиТСП и сварочный факультет сотрудничают с ведущими научными и учебными центрами Украины, Китая, Польши, Венгрии, Словакии, Чехии, Германии, активно участвуют в работе Международной ассоциации «Сварка».

Ниже публикуется подборка статей, позволяющая читателям журнала получить представление о направлениях и уровне научных исследований, проводимых в ПГТУ.

*Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия и редакция журнала*

УДК 621.791 (09)

ПОДГОТОВКА КАДРОВ НА СВАРОЧНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук, **В. А. ШАФЕРОВСКИЙ**, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Описаны особенности реализации многоуровневой системы подготовки кадров в ПГТУ, организационная структура сварочного факультета и оснащенность кафедр. Применение модульно-рейтинговой системы оценки знаний студентов позволяет облегчить переход к новой кредитно-модульной системе в рамках Болонской конвенции.

Ключевые слова: сварочное производство, высшее образование, бакалавры, специалисты, магистры

Сварочному факультету Приазовского государственного технического университета (ПГТУ) исполнилось 35 лет. Его первым деканом был доцент Д. П. Антонец (1971). Затем в разное время его возглавляли доцент А. Д. Корнеев (1974), проф. Л. К. Лещинский (1975), проф. А. Н. Серенко (1989), доцент Ю. В. Белоусов (1990), проф. А. Д. Размышляев (1999). С 2006 г. деканом факультета является доцент, канд. экон. наук М. В. Верескун. В разные годы на факультете работали такие видные ученые, как В. К. Багрянский, А. И. Гедрович, Г. В. Кузьмин, В. Н. Кальянов, а в настоящее время — А. Д. Чепурной, В. А. Роянов, В. В. Чигарев, В. Я. Зусин, Л. С. Малинов, С. В. Гулаков, С. С. Самотугин, В. И. Щетинина и др.

Организацией учебного процесса, педагогической и научно-исследовательской деятельностью на факультете занимаются высококвалифицированные преподаватели: академик АН ВШ Украины, 3 академика Академии инженерных наук, 4 академика зарубежных АН, 11 докторов, 12 профессоров, 37 доцентов, кандидатов технических

наук, более 30 старших преподавателей, преподавателей и ассистентов.

В настоящее время в состав факультета входит пять кафедр: *оборудования и технологии сварочного производства* (зав. кафедрой проф. В. А. Роянов); *металлургии и технологии сварочного производства* (проф. В. В. Чигарев); *материаловедения* (проф. Л. С. Малинов); *физики* (доцент В. И. Жук); *начертательной геометрии и инженерной графики* (доцент И. А. Ковалевский).

Первые три специальные кафедры с 1998 г. осуществляют подготовку и выпуск бакалавров, специалистов и магистров по следующим специальностям: 8.092301 «Технология и оборудование для сварки»; 8.092302 «Сварочные установки»; 8.092303 «Технология и оборудование для восстановления и повышения износостойкости машин и конструкций».

За основу концепции многоуровневой системы высшего образования на всех специальностях факультета приняты программы, которые являются базовыми для всех вузов Украины. Некоторое различие допускается лишь в дисциплинах блока свободного выбора, структуру и содержание которых определяет соответствующая выпускающая кафедра сварочного факультета. Этап подготовки

бакалавров по приведенным выше специальностям завершается госэкзаменом.

Реализация программы подготовки магистров по сварочным специальностям началась в 1995 г. по специальным учебным планам. С 1999 г. на факультете ведется подготовка магистров на основе квалификации бакалавра и специалиста. Основными задачами, которые решаются при подготовке магистров, являются следующие: углубленное и специальное изучение проблем соответствующей отрасли науки; узкая специализация в соответствующей отрасли знаний; государственная подготовка к научно-педагогической деятельности в вузе и др.

Подготовка магистров на факультете осуществляется после получения квалификации бакалавра в течение одного учебного года (двух семестров) на госбюджетной основе. В случае продолжения обучения бакалавра и получения им квалификации специалиста (инженера), он также имеет возможность в течение одного учебного года (двух семестров) получить квалификацию и степень магистра, но преимущественно на контрактной основе и по индивидуальным учебным планам. В обоих случаях претенденты для поступления в магистратуру должны иметь положительную рекомендацию выпускающих кафедр и ученых советов факультета и университета. Магистерская подготовка завершается выполнением и защитой квалификационной работы перед государственной экзаменационной комиссией.

Для реализации многоуровневой системы высшего образования в ПГТУ с 2000 г. предусмотрено включение в состав студентов второго и третьего курсов выпускников техникумов, а также обратная ротация студентов младших курсов в техникумы при ПГТУ при их неудовлетворительной успеваемости. В 2000 г. окончательно согласованы учебные планы всех специальностей факультета первого и второго семестров, а также учебные планы техникумов ПГТУ с целью сокращения ряда дисциплин и облегчения начального этапа обучения в вузе студентов, принятых после окончания техникумов.

Качество подготовки кадров в условиях многоуровневой системы высшего образования непосредственно связано с решением следующих задач: повышения уровня подготовки абитуриентов; включения в состав студентов ПГТУ выпускников техникумов и обратная ротация студентов в техникумы при ПГТУ; обеспечения соответствия процесса подготовки специалистов стандартам европейского и международного уровней; повышения научно-педагогического уровня профессорско-преподавательского состава; совершенствования учебного процесса путем применения современных средств технического обучения, в том числе и вычислительной техники; совершенство-

вания языковой подготовки и улучшения экономического образования выпускников и др.

Кафедры факультета оснащены современным оборудованием, которое используется не только для обучения студентов, но и для выполнения научных исследований. Значительная часть научно-исследовательских разработок внедрена в производство на ряде предприятий нашей страны и стран ближнего зарубежья. Основными направлениями научно-исследовательских разработок факультета являются: восстановление технологического оборудования различными методами напыления; наплавка валков прокатных станов; электродуговая наплавка и сварка с использованием управляющих магнитных полей; электродуговая механизированная сварка под флюсом толстолистового металла с программированием параметров режима; усовершенствование способов повышения работоспособности сварных соединений и конструкций; оценка напряженного состояния сварных соединений и деталей с защитными покрытиями; износостойкая наплавка деталей металлургического оборудования; создание экономнолегированных высокопрочных и износостойких сталей, чугунов, наплавочных материалов и улучшающих технологий на основе принципа самозакалки при охлаждении и нагружении; исследование физических явлений на поверхности твердых тел и процессов тепломассопереноса на макро- и микроуровнях; формирование мощных плазменных потоков и изучение их взаимодействия с конденсированными средами.

Активное участие в проведении научно-исследовательских работ принимают студенты старших курсов, аспиранты. Повышению уровня подготовки кадров на факультете способствует то, что кафедры факультета имеют долговременные творческие связи с такими ведущими учебными заведениями и научными организациями Украины, как НТУУ «Киевский политехнический институт» и ИЭС им. Е. О. Патона (г. Киев), Институт сварки г. Гливице (Польша), Мишкольцкий университет (Венгрия), Харбинский технологический институт (Китай) и многими родственными кафедрами высших учебных заведений Украины, а также ближнего зарубежья. Такие контакты позволяют организовывать различные производственные практики, совместные научные и методические конференции или семинары с последующей публикацией этих материалов в различных журналах и сборниках научных трудов. По результатам исследований сотрудниками факультета опубликовано более 1100 научных работ, в том числе более 15 монографий и учебных пособий, получено более 110 авторских свидетельств и патентов.

В 1995 г. создан компьютерный класс сварочного факультета на 16 рабочих мест, оснащенный современной вычислительной техникой. Благода-

ря спонсорской помощи ОАО «Азовмаш» на сварочных кафедрах в 2006 г. создано еще два компьютерных класса на 8 рабочих мест в каждом классе, оборудованные современными компьютерами.

Модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов, опробованная на факультете и в вузе в 1980-х годах, служит для поэтапной оценки знаний и уровня усвоения дисциплин. Она введена в учебный процесс на всех курсах факультета и является достаточно эффективной. Ее применение в учебном процессе облегчит переход к новой кредитно-модульной системе в разрезе Болонской конвенции.

На базе кафедры оборудования и технологии сварочного производства в 2006 г. организовано проведение второго тура Всеукраинской олимпиады по специальности «Технология и оборудо-

вание для сварки», в которой участвовали команды студентов из десяти вузов Украины.

В ПГТУ с 1998 г. работает специализированный совет по защите кандидатских, а с 2005 г. — докторских диссертаций по специальности 05.03.06 («Сварка и родственные технологии»).

Факультет поддерживает деловые и творческие связи с выпускниками, работающими в различных производственных организациях, коммерческих структурах, предприятиях и учебных заведениях, что позволяет выявить потребность в специалистах-выпускниках сварочного факультета ПГТУ, учесть возрастающие требования к качеству их подготовки, а также улучшить их трудоустройство молодых специалистов после окончания университета.

The features of implementation of a multilevel system of personnel education and training in Priazovsky STU and organizational structure of the welding department and chair facilities are described. Application of a module-rating system for assessment of student knowledge allows facilitating the transition to the credit-modular system of Bologna Convention.

Поступила в редакцию 23.05.2006

УДК 621.791.(09)

К 60-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. А. РОЯНОВ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Проанализирована работа кафедры оборудования и технологии сварочного производства на протяжении 60 лет. Рассмотрены задачи кафедры по подготовке специалистов по сварке и резке металлов.

Ключевые слова: сварочное производство, высшее образование, специализация, научные разработки

Кафедра оборудования и технологии сварочного производства (ОиТСП) создана в 1946 г. в Ждановском металлургическом институте (с 1993 г. Приазовский государственный технический университет (ПГТУ), г. Мариуполь). В ее задачу входила подготовка специалистов по сварке и резке металлов, а также инженерных кадров для вновь организуемого производства электросварочных труб магистральных трубопроводов. В то время на металлургическом комбинате им. Ильича завершилась подготовка к пуску трубосварочного цеха № 1, созданного по инициативе академика Е. О. Патона и при его непосредственном участии.

Исполняющим обязанности заведующего кафедрой в 1946 г. был назначен инж. А. Я. Шадрин, которого в том же году сменил канд. техн. наук, доц. П. С. Елистратов. С первых же дней начались работы по созданию учебно-лабораторной базы кафедры, организации и развитию научных исследований в области сварки конструкций, восстановления наплавкой деталей металлургическо-

го оборудования. Первая защита дипломных проектов по новой специальности состоялась в 1947 г. Первые пять выпускников (Д. П. Антонец, А. А. Фильчаков, К. И. Коротков, Ю. Н. Грищенко, Д. А. Роговин) стали ведущими специалистами и организаторами сварочного производства, двое из них (Д. П. Антонец и Д. А. Роговин) защитили кандидатские диссертации.

В августе 1952 г. заведующим кафедрой был избран К. В. Багрянский. С его приходом началась перестройка учебного процесса, совершенствование лабораторной базы, расширились и укрепились связи кафедры с ИЭС им. Е. О. Патона, МВТУ им. Н. Э. Баумана, Киевским политехническим институтом, а также многими предприятиями города и страны. При содействии академика Б. Е. Патона был построен сварочный корпус, что дало возможность уже в 1960-х годах заметно улучшить подготовку специалистов, а кафедре стать одной из ведущих сварочного профиля. Вместе с К. В. Багрянским работали талантливые педагоги и ученые — доценты З. А. Добротина, Д. С. Кассов, Г. С. Кузьмин, преподаватели П. Ф. Лаврик, А. А. Фильчаков, В. А. Муратов и В. Т. Сопин.

© В. А. Роянов, 2006



Коллектив кафедры оборудования и технологии сварочного производства ПГТУ

Опираясь на оригинальные учебно-методические разработки специалистов кафедры с 1968 г. начата подготовка инженеров-сварщиков по новой специальности — «Металлургия и процессы сварочного производства». В 1971 г. организован факультет, в состав которого, кроме двух сварочных, вошли общетехнические и общеобразовательные кафедры. Первым деканом сварочного факультета стал канд. техн. наук, доц. Д. П. Антоненко, который многие годы проработал главным сварщиком завода «Азовмаш».

В 1960-е годы под руководством К. В. Багрянского значительно активизировалась научная деятельность кафедры, которая была направлена на развитие сварки и наплавки с применением керамических флюсов и исследование свойств сварных и наплавленных изделий. В эти годы сварка никеля под керамическим флюсом стала широко применяться на заводе «Большевик», г. Киев (руководитель работы канд. техн. наук, доц. Г. С. Кузьмин). Под руководством Д. С. Касова разработан способ сварки и наплавки медных сплавов под керамическим флюсом, который успешно применялся на металлургических заводах Украины. К. В. Багрянским при активном участии В. Я. Зусина и А. Д. Корнеева разработан способ сварки алюминия под слоем флюса, который широко использовали при сварке элементов токоведущих шин Братской ГЭС. Наплавка под керамическим флюсом при восстановлении прокатных валков и деталей оборудования нашла широкое применение на металлургических заводах в Рустави (Грузия), им. Ильича и «Азовсталь» в Мариуполе, Енакиевском металлургическом заводе, горно-обогатительном комбинате в Усть-Каменогорске (Казахстан). Доцент А. А. Фильчаков руководил исследованиями по разработке и внедрению новых марок электродов на заводе «Азовмаш», канд. техн. наук, доц. К. А. Олейниченко разработала методику количественного определения вредных выделений при сварке. Ими также предложены рекомендации по улучшению условий труда сварщиков.

За период 1955–1980 гг. на кафедре защищено 30 кандидатских диссертаций и одна докторская

диссертация, подготовлен и трижды переиздан учебник «Теория сварочных процессов» (К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов), издано учебное пособие «Расчет и проектирование сварных конструкций» (А. Н. Серенко, М. Н. Крумболт, К. В. Багрянский), монографии «Сварка никеля и его сплавов» (К. В. Багрянский, Г. С. Кузьмин) и «Керамические флюсы для сварки и наплавки» (К. В. Багрянский).

В 1971 г. при кафедре организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ) наплавки, в задачу которой входило исследование и разработка новых конструкций прокатных валков и роликов МНЛЗ, создание технологии наплавки и наплавочных материалов, автоматизированного оборудования. В настоящее время лабораторию возглавляет канд. техн. наук, доц. В. Н. Матвиенко.

Большой вклад внесен кафедрой и ОНИЛ наплавки в исследования склонности сварных швов к образованию горячих трещин. Работа проводилась под руководством К. В. Багрянского, Я. Я. Григорьева и В. Е. Саенко. В результате предложена новая методика испытаний и получен ряд авторских свидетельств. Большое внимание уделялось также исследованию свойств наплавленного металла в условиях нормальных и высоких температур (В. Н. Кальянов, Б. И. Носовский).

С 1973 по 1979 гг. кафедру возглавлял канд. техн. наук, проф. А. Н. Серенко. В этот период проведены исследования статической и динамической прочности сварных соединений и конструкций, начаты работы по исследованию однопроходной сварки сталей толщиной 40 мм и более с программированием процесса. Результаты исследований обобщены в кандидатских диссертациях В. А. Шаферовского и А. Скжипчика (Польша), а также нашли практическое применение на заводе «Азовмаш» и судостроительном заводе «Залив».

В 1980 г. кафедру возглавил Л. К. Лещинский. Совместно с ОНИЛ разработаны новые керамические флюсы и порошковые проволоки для электродуговой наплавки прокатных валков и деталей металлургического оборудования, проведены исследования процессов наплавки и сварки ленточным электродом под флюсом. Результаты исследований внедрены на машиностроительных и металлургических предприятиях, а также обобщены в кандидатских диссертациях Ю. В. Белоусова, В. И. Щетининой, В. Н. Матвиенко, В. П. Лаврика, А. В. Зареченского. Активно велись работы по совершенствованию оборудования для автоматизации процессов наплавки и управлению качеством наплавленного металла. Их результаты отражены в докторской диссертации С. В. Гулакова. Получили широкое развитие научные исследования в области плазменного упрочнения изделий, в том числе после наплавки. Этой теме посвящена

монография «Плазменное поверхностное упрочнение» (Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комар).

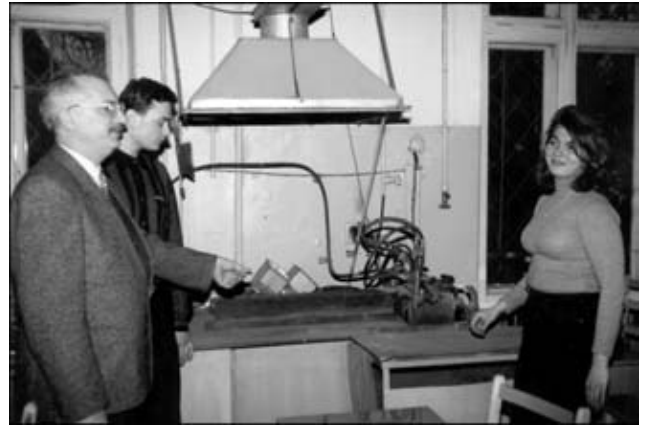
С 1985 г. кафедре возглавляет д-р техн. наук, проф. В. А. Роянов. С его участием расширена и укреплена ее материальная база, в учебный процесс включены дисциплины по роботизации сварочного производства, в учебном процессе стали использовать вычислительную технику и новые информационные технологии (при курсовом и дипломном проектировании). В настоящее время ведутся исследования в области газотермического напыления коррозионно- и износостойких покрытий. Разработаны порошковые проволоки для электродуговой металлизации, внедренной на Киевском объединении «Киевтрактордеталь», авторемонтных предприятиях Полтавы, Ташкента и других городов. Результаты исследований обобщены в кандидатской диссертации Е. В. Войцеховского и докторской В. А. Роянова. Проводится активная работа по включению в учебный процесс элементов Болонского процесса обучения, внедряется кредитно-модульная система обучения, разработаны и изданы методические пособия для студентов, совершенствуются учебные планы.

За период 1998–2001 гг. на кафедре защитили докторские диссертации С. В. Гулаков, В. А. Роянов, Л. К. Лещинский, А. Д. Размышляев, С. С. Самотугин, А. Н. Серенко присвоено ученое звание профессора. Открыта докторантура, в которой завершают работу над докторскими диссертациями два докторанта. При кафедре действует специализированный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности «Сварка и родственные технологии».

За последние три года подготовлены и изданы следующие учебные пособия: «Сварка. Введение в специальность» (А. Н. Серенко, В. А. Роянов), «Возникновение дефектов при сварке и родственных процессах» (В. А. Роянов, В. Я. Зусин, С. С. Самотугин), «Сварка и наплавка алюминия и его сплавов» (В. Я. Зусин, В. А. Серенко), «Ремонт машин с применением сварки и родственных технологий» (В. А. Роянов, Г. Г. Псарас, В. К. Рубайло) и монографии «Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке» (А. Д. Размышляев), «Натуральная теория тонкой масштабной энергии квантового пространства» (Ю. В. Белоусов).

В рамках многоступенчатой подготовки специалистов кафедра активно сотрудничает с индустриальным и машиностроительным техникумами г. Мариуполя.

The work of the welding engineering technology and equipment chair have been analysed during the period of 60 years. The tasks of the chair concerning training of specialists in metals welding and cutting have been examined.



Студенты сварочного факультета в лаборатории сварки плавлением

За 60 лет коллективом кафедры подготовлено около 5000 инженеров, в том числе для стран Европы, Азии, Африки и Латинской Америки, более 40 кандидатов наук, защищено 8 докторских диссертаций, опубликовано более 30 учебников и монографий, 650 научных статей, свыше 250 разработок защищены авторскими свидетельствами и зарубежными патентами.

Успешно защитили докторские диссертации выпускники кафедры А. Д. Чепурной, Т. Г. Кравцов, В. Я. Зусин, В. И. Щетинина, В. Н. Кальянов. Многие выпускники стали известными специалистами в области сварочного производства и ныне возглавляют промышленные предприятия Украины, России и других стран СНГ.

В настоящее время на кафедре работают три профессора, доктора технических наук, десять доцентов, кандидатов технических наук, один старший преподаватель, один ассистент. Комиссией Министерства образования и науки Украины кафедра аккредитована по IV уровню. Здесь готовят специалистов по специальностям «Оборудование и технология сварочного производства» и «Сварочные установки».

Специалисты кафедры принимают участие в работе Международной ассоциации «Сварка». Наряду с традиционным сотрудничеством с кафедрами сварки вузов Москвы, Санкт-Петербурга, Челябинска, Екатеринбург, Тбилиси, Минска, Могилева и других городов СНГ налажены связи с вузами и организациями дальнего зарубежья — Институтом сварки в г. Гливице (Польша), Мишкельским университетом (Венгрия), Харбинским технологическим институтом (Китай) и др.

Свое 60-летие кафедра встречает с желанием и в дальнейшем совершенствовать учебно-методический процесс и повышать качество подготовки специалистов.

Поступила в редакцию 23.05.2006

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

В. В. ЧИГАРЕВ, д-р техн. наук, **А. Г. БЕЛИК**, инж., **Ю. В. СЕРГИЕНКО**, канд. техн. наук
(Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Дана оценка степени взаимодействия расплавленного металла оболочки и сердечника порошковой ленты. Рассмотрены факторы и энергетические характеристики, оказывающие влияние на характер плавления порошковой ленты.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая лента, сердечник, оболочка, капля, комплексные лигатуры, однородность

При наплавке порошковыми лентами происходит раздельное плавление ее оболочки и сердечника, что может привести к химической неоднородности металла наплавленного слоя и в дальнейшем сказываться на его служебных характеристиках и сварочно-технологических свойствах. В зависимости от доли взаимодействия расплавленного металла оболочки и сердечника обеспечивается уровень однородности наплавленного металла.

Проводить теоретические расчеты и непосредственное измерение реагирующей массы сердечника на стадии капли не представляется возможным в связи с отсутствием знаний о всех факторах, влияющих на процесс плавления порошковой ленты, и механизмах превращений на торце электрода. В ряде работ [1–4] изложены особенности легирования металла при наплавке или сварке различными электродными материалами и предлагаются аналитические зависимости количественной оценки взаимодействия составляющих на различных стадиях плавления электродных материалов. Учитывая значительное влияние конструктивных параметров порошковой ленты, относительной массы ее сердечника и его состава, а также наличие термодиффузионных явлений и раздельного плавления оболочки и сердечника, наиболее приемлемым является расчетно-экспериментальный метод определения массопереноса при плавлении порошковой ленты. Решение такой задачи возможно при определении энергетических характеристик плавления порошковой ленты и использовании доступных и характерных методик получения необходимых экспериментальных данных.

В основу расчетной схемы процесса плавления порошковой ленты положено уравнение Н. Н. Рыкалина [5]

$$q_3 = \nu F_3 \gamma (S_k - S_1), \quad (1)$$

где q_3 — тепловая энергия, вводимая дугой в электрод за единицу времени; ν — скорость плавления электрода; F_3 — площадь сечения электрода; γ — плотность электродного металла; S_k — теплосодержание капли электродного металла или удельные энергозатраты на плавление электрода; S_1 — теплосодержание электродного металла при подогреве проходящим током.

Применительно к порошковым электродам аналитическую зависимость (1) корректировали с учетом следующих допущений:

значения тепловой энергии $q_{пл}$, выделяемой дугой на электроде, и удельные энергозатраты S_0 на плавление оболочки остаются постоянными, не зависящими от массы и состава сердечника порошкового электрода;

при их изменении происходит лишь перераспределение теплоты между оболочкой и сердечником, в результате изменяется скорость плавления электрода;

энергия, выделяемая на электроде, затрачивается только на плавление сердечника и оболочки, потерями на испарение пренебрегаем;

часть сердечника, взаимодействующего с металлом оболочки при плавлении порошкового электрода, представляется в виде некоторого эффективного слоя, составляющего долю ε общей его толщины.

С учетом принятых допущений уравнение процесса расплавления порошковой ленты может быть представлено в следующем виде:

$$q_{пл} = \nu \delta \Pi \gamma S_0 + \nu \varepsilon h b a S_c \quad [\text{Дж/с}], \quad (2)$$

где δ — толщина оболочки; Π — периметр оболочки; h , b — соответственно толщина и ширина сердечника; a — насыпная масса компонентов сердечника; S_c — теплосодержание или удельные энергозатраты на плавление сердечника.

В уравнении (2) левая часть отражает количество теплоты, вводимой дугой в порошковую

ленту, правая — суммарные затраты теплоты на плавление оболочки и сердечника.

Представим мгновенную производительность процесса расплавления оболочки в виде зависимости

$$g_{об} = \nu \delta \Pi \gamma. \quad (3)$$

Производительность плавления сердечника составляет

$$g_c = \nu h b a. \quad (4)$$

Учитывая, что относительная масса сердечника порошковой ленты определяется как

$$K_{\Pi} = g_c / g_{об}, \quad (5)$$

уравнение (2) с учетом (3)–(5) преобразуем следующим образом:

$$g_{пл} = g_{об} S_o + \varepsilon g_c K_{\Pi} S_c. \quad (6)$$

Проанализировав уравнение (6), следует отметить, что при $K_{\Pi} = 0$ (в случае отсутствия сердечника) зависимость характеризует расплавление порошковой ленты (1)

$$g_3 = g_{об} S_o. \quad (7)$$

С учетом принятых допущений $g_{пл} = g_3$ и, подставляя результаты расчетов (6) в (7), получаем соотношение

$$g_{об} S_o = g_{об} S_o + \varepsilon g_c K_{\Pi} S_c. \quad (8)$$

Энергетические условия на электроде при его плавлении наиболее полно можно выразить через коэффициент расплавления, который определяют с помощью известных уравнений. С учетом перехода от значений $q_{об}$, $q_{пл}$, q_c , K_{Π} через коэффициенты расплавления соответственно оболочки и порошковой ленты $\alpha_p^{об}$ и α_p , т. е. $g_{об} = \alpha_p^{об} I$, выражение (8) после преобразования примет вид

$$\alpha_p^{об} = \alpha_p \left(1 + \varepsilon K_{\Pi} \frac{S_c}{S_o} \right). \quad (9)$$

Величина ε принята в качестве количественного критерия, с помощью которого оценивается доля сердечника порошковой ленты, расплавляемого совместно с металлической оболочкой на стадии капли. Процесс плавления порошковой ленты, характеризующий полный переход через стадию капли ее оболочки и сердечника, отвечает условию $\varepsilon = 1$.

Решив уравнение (9) относительно ε , получим

$$\varepsilon = \frac{(\alpha_p^{об} / \alpha_p - 1) S_o}{K_{\Pi} S_c}. \quad (10)$$

Уравнение (10) устанавливает в общем виде связь между основными параметрами порошковой

ленты и степенью перехода ее составляющих через стадию капли при плавлении. Из (10) следует, что при известных энергозатратах на плавление оболочки S_o основными параметрами, определяющими долю взаимодействия ε порошковой ленты, сердечника и оболочки при плавлении последней, являются тугоплавкость S_c сердечника и относительная его масса K_{Π} , которую находим из следующего соотношения:

$$K_{\Pi} = K_3 / (1 - K_3). \quad (11)$$

Значение $\alpha_p^{об} / \alpha_p - 1$ определяется экспериментально. Оно характеризует соотношение энергий, идущих на плавление сердечника и оболочки порошковой ленты на стадии капли, как

$$\mu = \frac{\alpha_p^{об}}{\alpha_p}, \quad (12)$$

где μ — коэффициент распределения энергии на стадии капли при плавлении порошковой ленты.

Подставив результаты расчетов уравнений (11) и (12) в (10), а также учитывая степень взаимодействия сердечника и оболочки на стадии капли при плавлении порошковой ленты, определяем

$$\varepsilon = \frac{\mu S_o (1 - K_3)}{K_3 S_c}. \quad (13)$$

При анализе уравнения (13) следует отметить, что снижение значений коэффициентов заполнения K_3 порошковой ленты, энергозатрат на плавление сердечника и распределения энергии μ способствует увеличению степени взаимодействия металла оболочки и сердечника при их плавлении.

Для получения значений ε необходимо определить μ , S_o , S_c и K_3 . Коэффициент распределения энергии μ при плавлении порошковой ленты выполняется расчетно-экспериментальным методом через показатели плавления порошковой ленты. Для этого находят значения коэффициента расплавления α_p порошковой ленты (при наличии сердечника) и $\alpha_p^{об}$ оболочки (при отсутствии сердечника), т. е. коэффициент заполнения $K_3 = 0$. Значение удельных энергозатрат плавления оболочки S_o в расчетах принимается постоянным и независимым от параметров порошкового электрода и режимов наплавки. Исходя из результатов многочисленных исследований для оболочки порошкового электрода из низкоуглеродистой стали $S_o = 2095$ Дж/г [5–9].

Удельные энергозатраты S_c на плавление компонентов сердечника порошковой ленты могут быть определены расчетно-экспериментальным методом из уравнения (13) при $\varepsilon = 1$ или других полученных его значениях:

Таблица 1. Расчетно-экспериментальные данные о характеристиках плавления порошковых лент

Состав сердечника	K ₃	α _p , г/(А·ч)	μ	S _c , Дж/г	Ni ^c , %	Ni ^k , %	ε	
							по (13)	по (15)
Комплексный сплав	0,30	16,5	0,37	1851,98	6,2	1,82	0,94	1,00
	0,36	15,2	0,48	1822,65	6,2	2,22	0,90	0,90
	0,40	14,1	0,58	1772,37	6,2	2,52	0,90	0,93
	0,48	12,2	0,85	—	6,2	2,90	0,95	0,92
	0,57	11,3	0,93	—	6,2	2,98	0,78	0,78
	0,58	11,2	0,96	—	6,2	2,99	0,70	0,65
	0,57	11,0	1,06	—	6,2	2,97	0,78	0,72
Механическая смесь компонентов	0,29	15,9	0,42	2241,65	6,0	1,24	0,90	0,95
	0,34	14,7	0,55	2208,13	6,0	1,85	0,93	0,87
	0,40	13,2	0,71	2220,70	6,0	2,30	0,91	0,95
	0,45	14,2	0,82	2157,85	6,0	2,52	0,89	0,85
	0,50	11,6	0,95	—	6,0	2,70	0,83	0,79
	0,53	10,9	1,08	—	6,0	2,60	0,84	0,79
	0,55	10,7	1,00	—	6,0	2,60	0,70	0,65

Примечание. α_p^{об} = 22,6 г/(А·ч).

$$S_c = \frac{\mu S_o(1 - K_3)}{K_3} \quad (14)$$

Для определения влияния значения S_c на ε проведены эксперименты, в которых применяли порошковые электродные ленты с легирующей шихтой, состоящей из механической смеси компонентов и комплексно-легированного сплава, а следовательно, имеющие разную удельную энергоёмкость. Коэффициент заполнения порошковых лент составлял от 0,30 до 0,53. Указанными порошковыми лентами выполняли наплавку для определения α_p, α_p^{об}, а «беззванным способом» отбирали капли электродного металла по методике, изложенной в работах [7, 10].

Доля взаимодействия ε при наплавке порошковой ленты определяли из условий энергетического баланса, уравнений (10) и (13) и отношения содержания никеля в капле электродного металла Ni^k к его содержанию в сердечнике Ni^c. Содержание никеля в каплях определяли путем химического анализа.

Расчет из условия материального баланса выполняем с помощью уравнения

$$\varepsilon = \frac{Ni^k(1 - K_3)}{(Ni^c - Ni^k)K_3} \quad (15)$$

Результаты экспериментально-расчетных данных приведены в табл. 1. Как показали результаты исследований, расчетно-экспериментальный метод определения ε дает хорошие совпадения с экспериментальными данными о составе сердечника. Следует отметить, что тугоплавкость сердечника

порошковых лент оказывает существенное влияние на завершенность процесса легирования на стадии капли. Так, у порошковых лент с использованием сердечника из механической смеси компонентов при коэффициенте заполнения K₃ = 0,58 и S_c = 2191,37 Дж/г обеспечивается ε = 0,65, а у порошковых лент с сердечником из комплексного сплава при K₃ = 0,57 и S_c = 1814,27 Дж/г ε = 0,78.

Необходимо отметить, что на ε оказывает влияние коэффициент заполнения. С увеличением его значения снижается количество компонентов, переходящих через стадию капли, что согласуется с результатами работы [2].

Проведены исследования по определению влияния толщины δ оболочки на долю взаимодействия ε сердечника порошковой ленты на стадии капли. Для этого изготавливали порошковые ленты с оболочкой из низкоуглеродистой стали разной толщины, в качестве сердечника использовали комплексно-легированный сплав, содержащий хром, углерод, кремний, никель, марганец с добавкой 1 % (от общей массы сердечника) алюминиево-магниевого порошка. Энергоёмкость

Таблица 2. Зависимость доли взаимодействия ε металла сердечника и оболочки от ее толщины δ и коэффициента заполнения K₃ при плавлении порошковой ленты

δ, мм	K ₃	μ	S _c , Дж/г	ε
0,2	0,52	0,58	1822,65	0,57
	0,55	0,53	1969,30	0,50
	0,62	0,54	1998,63	0,38
0,4	0,50	0,97	2053,10	1,00
	0,56	1,03	1780,75	0,85
	0,61	0,95	1801,70	0,66

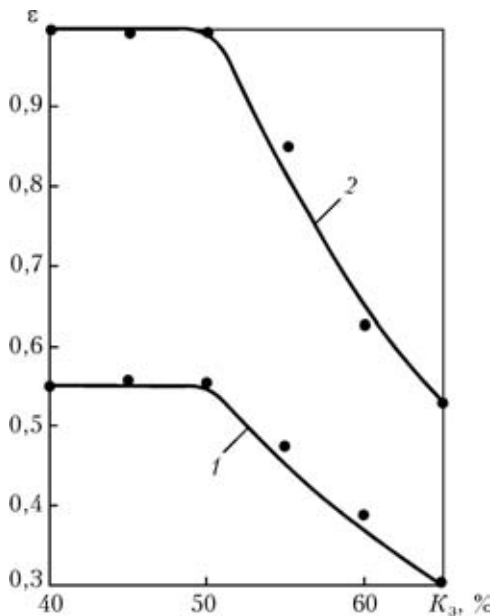


Рис. 1. Влияние толщины оболочки δ на долю ее взаимодействия ϵ с сердечником при плавнении порошковой ленты: 1 — $\delta = 0,2$; 2 — $0,4$ мм

сердечника $S_c = 1722,09$ Дж/г. Указанный состав порошковой ленты обеспечивался наличием в наплавленном слое сплава сормайт-1. Поскольку материал сердечника имеет постоянные теплоэнергетические характеристики, то это позволяет оценить влияние толщины оболочки и относительной массы сердечника на ϵ . Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 на постоянном режиме. Расчет значений ϵ выполняли по уравнению (13). Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 1 и 2.

Из представленных данных следует, что максимальная доля взаимодействия сердечника и оболочки при плавнении порошковой ленты обеспечивается в случае использования сердечника из комплексного сплава.

Таким образом, с помощью расчетно-экспериментального метода можно оценить долю взаимодействия сердечника и оболочки на стадии капли при плавнении порошковых лент.

1. Зареченский А. В., Колечко А. А. Муратов В. А. Повышение производительности плавнения ленточных порошко-

An estimate is given of the degree of interaction of the molten metal of the sheath and core of the flux-cored surfacing strip, and factors and energy characteristics are considered, which influence the nature of its melting.

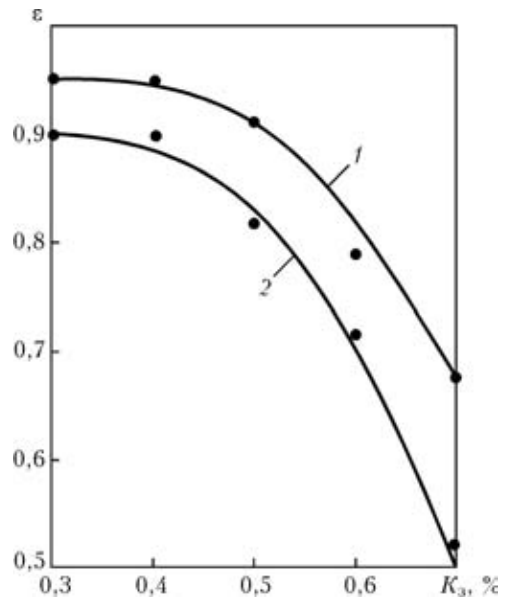


Рис. 2. Влияние коэффициента заполнения K_z сердечника из комплексного сплава (1) и механической смеси компонентов (2) на долю взаимодействия ϵ с оболочкой при плавнении порошковой ленты

вых электродов // Автомат. сварка. — 1980. — № 7. — С. 72–73.

2. Пацкевич И. Р., Хейфец Л. А. Особенности легирования металла при наплавке порошковой лентой // Там же. — 1970. — № 2. — С. 13–15.
3. Ерохин А. А., Котов Г. Н. Основные параметры электродов, определяющие степень химической макронеоднородности наплавленного металла при легировании через покрытие // Физика и химия обраб. материалов. — 1968. — № 1. — С. 54–60.
4. Котов Г. Н., Ерохин А. А. Влияние толщины покрытия и металлических присадок в нем на скорость плавнения электрода // Автомат. сварка. — 1968. — № 8. — С. 16–17.
5. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.
6. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1973. — 448 с.
7. Ерохин А. А. Кинематика металлургических процессов дуговой сварки. — М.: Машиностроение, 1964. — 254 с.
8. Безбах Д. К., Бенуа Ф. Ф. Теплосодержание и гранулометрический состав капель электродного металла при некоторых способах сварки // Свароч. пр-во. — 1971. — № 10. — С. 12–14.
9. Походня И. К., Сунтель А. М. Теплосодержание капель электродного металла при дуговой сварке в защитных газах // Автомат. сварка. — 1967. — № 2. — С. 13–18.
10. Ерохин А. А. Методика определения основных измерителей процесса расплавления электрода при дуговой электросварке // Автоген. дело. — 1949. — № 10. — С. 1–11.

Поступила в редакцию 22.05.2006

РАСЧЕТ ИНДУКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СЕРДЕЧНИКА, ПРОВОЛОКИ И ИЗДЕЛИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук, А. А. ДЕЛИ, М. В. МИРОНОВА, аспиранты (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Расчетным и экспериментальным путем определено влияние магнитных свойств электродной проволоки, сердечника соленоида и изделия при дуговой наплавке в продольном магнитном поле на характер распределения и значение индукции магнитного поля в области между торцом электрода и изделием, а также внутри изделия и электродной проволоки. Эти данные позволяют наметить методы повышения эффективности использования продольного магнитного поля при дуговой наплавке.

Ключевые слова: дуговая наплавка, продольное магнитное поле, соленоид с сердечником, ферромагнетики, магнитные свойства, расчет магнитного поля, продольная компонента магнитной индукции

Использование управляющего продольного магнитного поля (ПРМП) при электродуговой наплавке под флюсом позволяет уменьшить долю участия основного металла в наплавленном, повысить производительность процесса, улучшить формирование наплавленного валика [1, 2]. Однако сложность физических процессов в сварочной дуге и жидком металле сварочной ванны, происходящих при воздействии ПРМП, и недостаточная их изученность сдерживают практическое использование этого способа наплавки. Кроме того, в настоящее время отсутствует надежное устройство ввода магнитных полей применительно к производственным условиям наплавки изделий.

При наплавке с воздействием ПРМП изделие и электродная проволока в большинстве случаев являются ферромагнетиками так же, как и сердечник соленоида. Конструкция последнего и его размеры должны быть такими, чтобы в зоне сварочной дуги продольная компонента индукции была максимальной.

Система ферромагнитных тел (сердечник соленоида, сварочная проволока и изделие (пластина)) при наличии неферромагнитного (воздушного) зазора между торцом сварочной проволоки и изделием обуславливает сложное распределение магнитного поля в пространстве. Продольная компонента индукции B_z в указанном зазоре определяется не только геометрическими размерами ферромагнитных тел и их взаимным расположением, но и их магнитными свойствами (магнитной проницаемостью μ). Известно, что μ существенно зависит от химического состава сплавов на основе

железа, микроструктуры, размера зерна и нелинейно зависит от напряженности поля H .

При определении значений индукции в зазоре между торцом электрода и изделием (плоской пластиной) расчетным либо экспериментальным путем [2, 3] обычно не учитывали состояние намагниченности этих тел, определяемое намагничивающей силой обмотки соленоида (уровнем H) и значением μ материала, а также зависимостью μ от H .

Целью настоящей работы явилось установление распределения индукции магнитного поля в ферромагнитных участках магнитной цепи от обмотки с током до наплаваемого изделия для достижения максимальных значений продольной компоненты индукции B_z магнитного поля в зоне сварочной дуги (зазоре между торцом электрода и изделием).

Значения индукции B_z получали расчетным путем по методике работы [3], суть которой заключается в следующем. В качестве исходного использовано уравнение распределения векторного магнитного потенциала в стационарных плоскомеридианных магнитных полях после ввода функции потока $\psi = r \cdot A$:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_a}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_a}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) = -J, \quad (1)$$

где J — плотность тока в точке с координатами (r, z) ; v_a — обратное значение абсолютной магнитной проницаемости среды.

Расчет составляющих магнитной индукции с использованием функции потока ψ проводят по формулам

$$B_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad (2)$$

$$B_z = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r}; \quad (3)$$

$$|B| = \sqrt{B_r^2 + B_z^2}. \quad (4)$$

На границах расчетной области, рассматриваемой в виде цилиндра, задаются следующие граничные условия:

на верхней и нижней границах

$$\frac{\partial A}{\partial z} = \frac{\partial \Psi}{\partial z} = 0; \quad (5)$$

на внешней границе (максимальные значения r)

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} \Big|_S = 0; \quad (6)$$

(поверхность S принимается параллельной оси системы);

на оси системы

$$\Psi = 0. \quad (7)$$

Уравнение (1) решали методом конечных разностей. Решение разностного уравнения осуществляли итерационным методом, приведенным в работе [4].

На рис. 1 приведена схема системы тел на пути магнитного потока, созданного протекающим в обмотке постоянным током (сварочная проволока диаметром 5 мм; пластина толщиной 20 мм; зазор между торцом электрода и пластиной $\Delta = 5$ мм). При расчетах приняты также следующие размеры соленооида: внутренний диаметр ферромагнитного сердечника $d_{вн} = 12$; наружный $d_{н} = 50$ мм; высота сердечника $h = 50$ мм; вылет электродной проволоки $H_{пр} = 40$ мм.

Для оценки влияния магнитной проницаемости μ на величину и характер распределения продольной компоненты индукции магнитного поля B_z в указанных участках системы тел μ задавали ступенчато ($\mu = 1; 250; 500$). Намагничивающую силу катушки соленооида IW ограничили значением 400 ампер-витков. Такие ограничения ($\mu = 500$ и $IW = 400$ ампер-витков) необходимы для того, чтобы в указанных ферромагнитных телах не наступало насыщение. В таблице приведены значения магнитной проницаемости μ , принятые в расчетах.

Распределение индукции B_z вдоль оси системы (при $r = 0$) в пластине (рис. 2, а), воздушном зазоре между торцом электрода и пластиной (рис. 2, б) и в сварочной проволоке (рис. 2, в) не претерпевает изменений на границе этих тел, что соответствует теоретическим положениям. На участке сварочной проволоки, расположенной в центральной области ее длины (внутри ферромагнитного сердечника), уровень индукции B_z максимален и зависит от уровня принятых в расчете

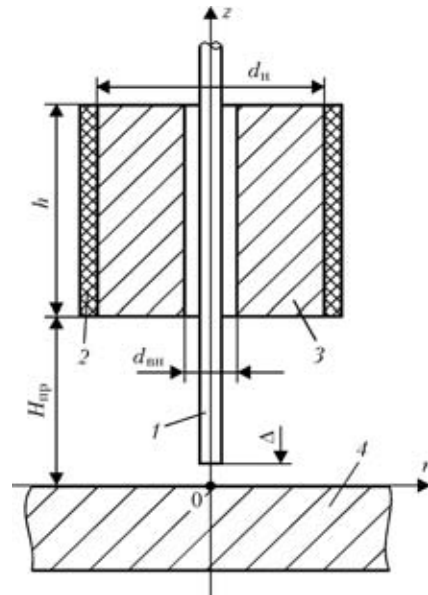


Рис. 1. Схема системы тел для изучения распределения индукции магнитного поля: 1 — электродная проволока; 2 — обмотка; 3 — сердечник соленооида; 4 — изделие (пластина)

значений магнитной проницаемости μ всех составляющих магнитной системы — изделия (пластины), сварочной проволоки (электрода) и ферромагнитного сердечника.

Если сварочная проволока является ферромагнетиком, то значение B_z существенно зависит от принятых в расчетах значений μ для проволоки (рис. 2, в, кривые 1, 2, 7). При этом значение μ , принятое в расчетах для ферромагнитного сердечника ($\mu = 1; 250; 500$), не влияет на уровень индукции B_z на этом участке проволоки (при неизменном значении $\mu = 250$) (рис. 2, в, кривые 1, 3). Для немагнитной проволоки ($\mu = 1$) уровень значений B_z в ней близок к нулю (кривые 7, 8). Сравнение кривых 1 и 5 показывает, что при отсутствии ферромагнитного сердечника сварочная проволока $\mu = 250$ намагничивается на этом участке больше, чем при его наличии. Наличие или отсутствие ферромагнитной пластины (изделия) практически не повлияло на процесс намагничивания проволоки на этом участке (рис. 2, в, кривые 4, б). Отсюда следует, что наличие ферромагнитной проволоки внутри соленооида и значение ее магнитной проницаемости являются основным фактором, определяющим значение индукции в зазоре между торцом сварочной проволоки и изделием (в зоне сварочной дуги). Об этом свидетельствуют данные, приведенные на рис. 2, б, а также распределение B_z вдоль радиуса r у поверхности изделия (рис. 3). Отсюда следует, что при расчете индукции B_z в зоне сварочной дуги необходимо учитывать реальные значения магнитной проницаемости для сварочной проволоки, что свидетельствует также о необходимости получения реальных данных о зависимостях $B = f(H)$ и $\mu =$

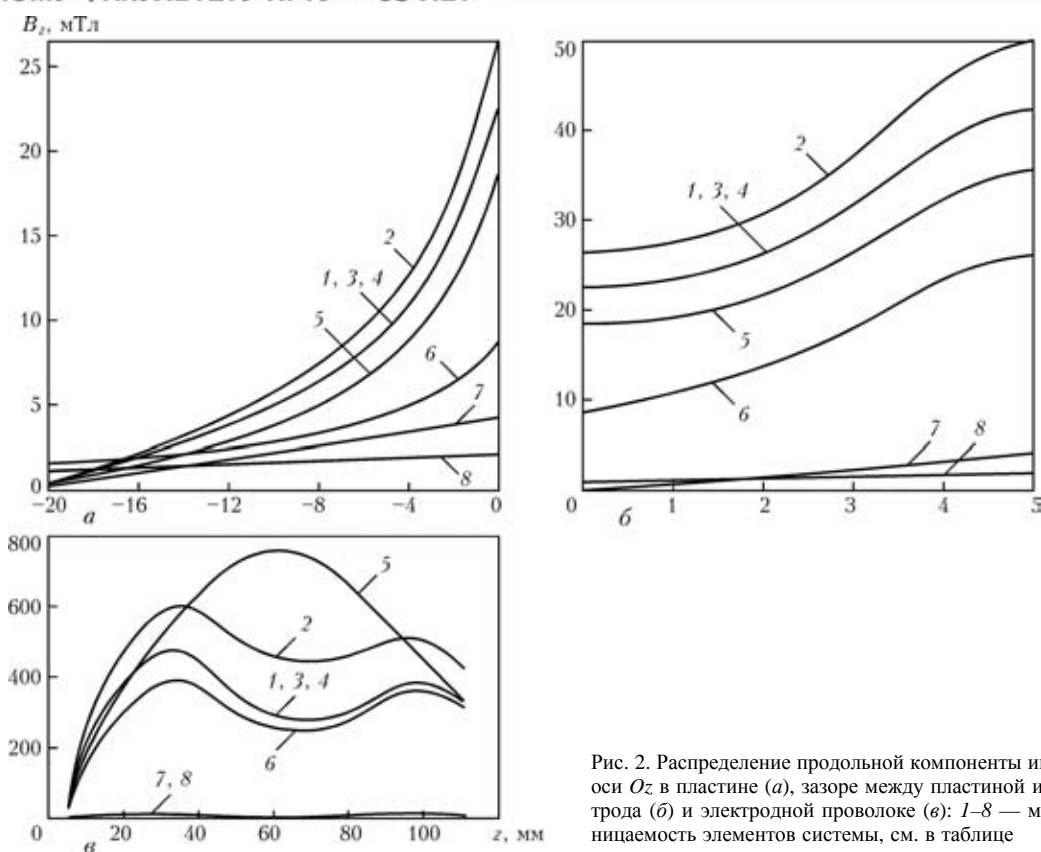


Рис. 2. Распределение продольной компоненты индукции B_z по оси Oz в пластине (а), зазоре между пластиной и торцом электрода (б) и электродной проволоке (в): 1–8 — магнитная проницаемость элементов системы, см. в таблице

Значения магнитной проницаемости μ , принятые в расчетах

№ кривых	Значения μ для		
	сердечника	пластины	сварочной проволоки
1	250	250	250
2	250	250	500
3	500	250	250
4	250	500	250
5	1	250	250
6	250	1	250
7	250	250	1
8	250	1	1

$f(H)$ для сварочных проволок, которые в настоящее время отсутствуют.

Следует отметить, что изложенные выше результаты получены при намагничивающей силе катушки соленоида 400 ампер-витков, однако, для получения уровня B_z в зоне сварочной дуги, необходимого для управления геометрическими размерами валика при дуговой наплавке, намагничивающая сила должна составлять порядка 2000 ампер-витков [2]. При этом возможно насыщение ферромагнетиков рассмотренной системы тел (прежде всего сварочной проволоки).

С учетом зависимостей $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$, принятых по данным работы [5], выполнили расчет для низкоуглеродистой стали с содержанием

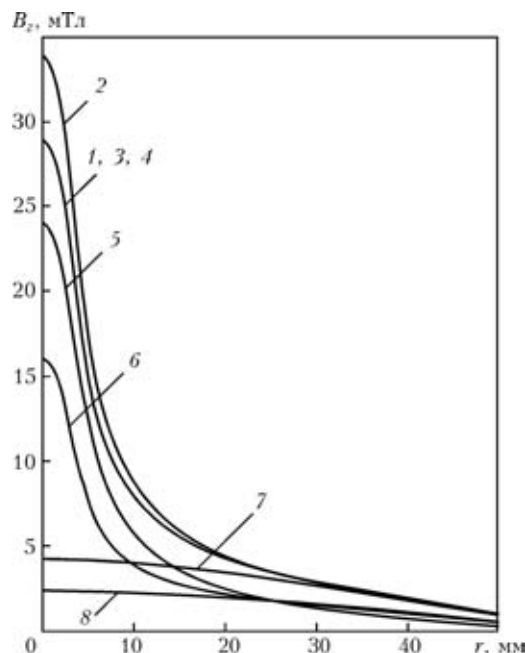


Рис. 3. Радиальное распределение компоненты индукции B_z при $z = 2,5$ мм (1–8 см. в таблице)

углерода 0,1 %. Расчетные данные (рис. 4) показали, что при малой намагничивающей силе соленоида (400 ампер-витков) учет зависимостей $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$ для материала сварочной проволоки не привел к изменению индукции вдоль проволоки (рис. 4, кривые 1, 2). Для значительной намагничивающей силы соленоида (2000 ампер-витков), если учесть реальные данные о зависи-

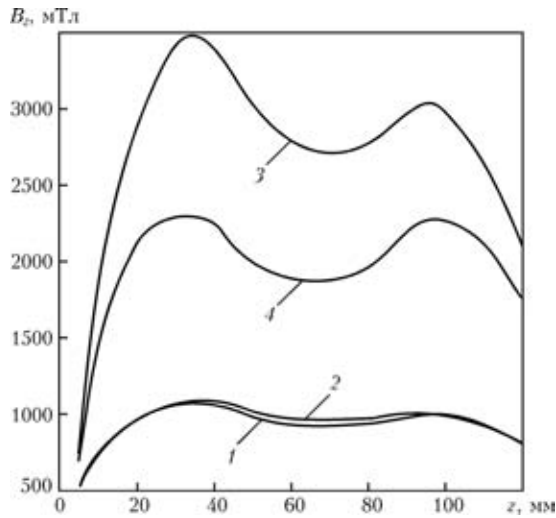


Рис. 4. Распределение продольной компоненты индукции B_z в проволоке по оси Oz : 1, 2 — $IW = 400$; 3, 4 — 2000 ампер-витков; 1, 3 — при постоянных значениях $\mu = 500$ для ферромагнитных составляющих системы; 2, 4 — с учетом зависимости $\mu = f(H)$ для указанных составляющих системы

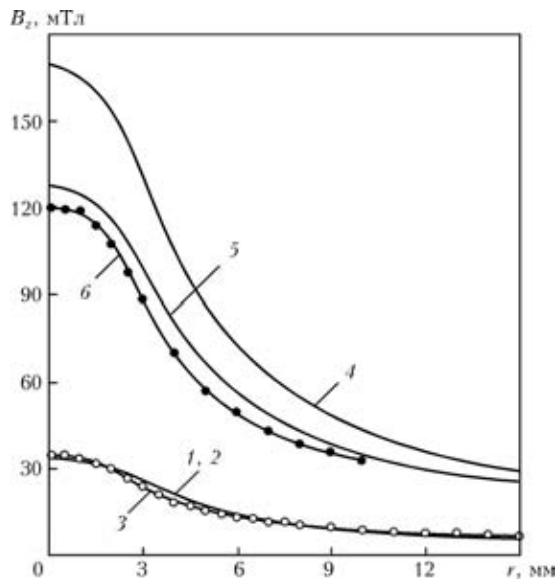


Рис. 5. Радиальное распределение компоненты индукции B_r при $z = 2,5$ мм: 1–3 — при $IW = 400$; 4–6 — 2000 ампер-витков; 1, 4 — расчетные данные при постоянных значениях $\mu = 500$ для ферромагнитных составляющих системы; 2, 5 — с учетом зависимости $\mu = f(H)$ для указанных составляющих системы; 3, 6 — экспериментальные данные

мостях $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$, расчетные значения B_z в проволоке значительно меньше, чем при использовании в расчетах постоянного значения $\mu = 500$ (рис. 4, кривые 3, 4).

Design and experimental procedures have been used to determine the influence of magnetic properties of the electrode wire, solenoid core and workpiece in arc surfacing in a longitudinal magnetic field on the nature of distribution and magnitude of magnetic field induction in the region between the electrode tip and workpiece, as well as inside the workpiece and electrode wire. These data allow outlining the methods to improve the efficiency of an alternating magnetic field application in arc surfacing.

Следует отметить, что радиальная составляющая индукции магнитного поля B_r , как показали расчеты, для сечений $z = 35, 60$ и 90 мм на два порядка меньше, чем продольная компонента B_z . И только на конце электрода ($z \approx 10$ мм) на расстоянии $r = 0,1 \dots 2,5$ мм значение B_r сопоставимо с B_z (достигает половины значений компоненты индукции B_z).

Данные о распределении B_z вдоль радиуса у поверхности ферромагнитной пластины (рис. 5, кривые 1, 3) показывают, что при намагничивающей силе соленоида 400 ампер-витков расчетные данные хорошо совпадают с экспериментальными как при постоянном значении $\mu = 500$, так и при учете в расчетах зависимости $B = f(H)$ для материала проволоки. При намагничивающей силе соленоида 2000 ампер-витков, в связи с насыщением ферромагнитного материала, из которого изготовлена сварочная проволока, совпадение расчетных данных с экспериментальными достигается в том случае, если в расчетах учесть зависимость $B = f(H)$ для материала проволоки (рис. 5, кривые 4–6).

Выводы

1. При дуговой наплавке в ПРМП основное влияние на значение и характер распределения продольной компоненты индукции поля у поверхности ферромагнитного изделия оказывают ферромагнитные свойства электродной проволоки.
2. При значительной намагничивающей силе соленоида расчетные значения продольной компоненты индукции ПРМП у поверхности ферромагнитного изделия (пластины) удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными, если в расчетах учитывать зависимость $B = f(H)$ материала электродной проволоки.

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г. М. Шеленков. — Киев: Техніка, 1983. — 127 с.
2. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке. — Мариуполь: ПГТУ, 2000. — 246 с.
3. Лазаренко М. А., Размышляев А. Д., Чичкарев Е. А. Расчет на ЭВМ управляющих магнитных полей для процессов сварки и наплавки // Вест. Приазов. гос. техн. ун-та. — 1999. — Вып. 8. — С. 147–150.
4. Демирчян К. С., Чечурин В. Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. — М.: Высш. шк., 1986. — 240 с.
5. Преображенский А. А., Бишард Е. Г. Магнитные материалы и элементы. — М.: Высш. шк., 1986. — 352 с.

Поступила в редакцию 24.06.2006

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФОРМЫ ИЗДЕЛИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

В. В. ЧИГАРЕВ, В. И. ЩЕТИНИНА, доктора техн. наук, **С. В. ЩЕТИНИН**, канд. техн. наук, **В. И. ФЕДУН**, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Получены уравнения для расчета индукции электромагнитного поля при сварке пластин и труб. Расчетно-экспериментальным путем установлено влияние формы изделия на электромагнитное поле сварочного тока и разработан способ предотвращения магнитного дутья при сварке труб.

Ключевые слова: дуговая сварка, труба, пластина, электромагнитное поле, индукция, электромагнитная сила, электромагнитное давление, магнитное дутье, двухсторонний токоподвод

При односторонней высокоскоростной дуговой сварке качество формирования швов определяется стабильностью процесса, которая при магнитном дутье снижается. Замкнутый контур труб усиливает магнитное дутье, вследствие чего нарушается стабильность процесса сварки и ухудшается качество формирования шва. Во избежание этого следует уменьшать магнитное дутье.

Большой вклад в исследование и использование электромагнитного поля и магнитогидродинамических явлений при сварке труб внесли Б. Е. Патон, В. К. Лебедев и С. Л. Мандельберг [1–3].

Электромагнитное поле, возникающее при протекании тока по проводнику, исследовали Р. М. Уайт [4], Д. Маттис [5], В. Гильберт [6], Дж. Максвелл [7]. Электромагнитное поле применяется для удержания горячей плазмы, в ускорителях заряженных частиц в обычной и квантовой электронике, энергетике, физике твердого тела, химии, биологии и др. [4]. Особый интерес представляет исследование и использование электромагнитных полей при сварке.

Электромагнитное поле сварочного контура создается током, протекающим по электроду, дуге и свариваемому изделию. Электромагнитное поле тока, протекающего по электроду и дуге, создает пинч-эффект, под действием которого возникают мощные плазменные потоки и давление сварочной дуги [8–10], обеспечивающее заданную глубину проплавления. Электромагнитное поле тока, протекающего по изделию, является поперечным и приводит к возникновению силы Ампера, под действием которой плазма отклоняется в сторону поля с меньшей напряженностью, и к магнитному дутью. Следует заметить, что электромагнитное поле при сварке исследовано недостаточно [1–3, 11].

Цель проведенных исследований — изучение воздействия формы изделия на электромагнитное поле сварочного тока и разработка способа предотвращения магнитного дутья при односторонней высокоскоростной сварке труб.

Измерение электромагнитного поля сварочного тока в околосварочном пространстве затруднено наличием здесь высокой температуры: при приближении к дуге и сварочной ванне на расстояние менее $16 \cdot 10^{-3}$ м изолированный кварцем зонд измерителя магнитной индукции Ш1-7 сгорает. В связи с этим целесообразно исследовать распределение электромагнитного поля сварочного тока в околосварочном пространстве расчетным путем.

При расчете индукции B электромагнитного поля тока в прямолинейном проводнике малого сечения бесконечной длины [12, 13] влияние формы проводника на электромагнитное поле не учитывается. При сварке ток протекает по проводникам больших сечений, форма которых влияет на индукцию электромагнитного поля сварочного тока и характер ее распределения. Поскольку пространственными сварными конструкциями являются полотно котлов и трубы, то получены уравнения для определения индукции электромагнитного поля тока, протекающего именно по пластинам и трубе.

Расчет электромагнитного поля тока, протекающего по изделию, выполняется на основании закона Био-Савара – Лапласа и принципа суперпозиции магнитных полей [12–14]. Для определения электромагнитного поля в зазоре пластин (без учета краевых эффектов) разобьем их на бесконечно длинные тонкие проводники сечением $dx dy$.

Индукция B электромагнитного поля, создаваемого элементом бесконечно длинного проводника тока, протекающего через площадку с координатами x, y сечением $dx dy$, в точке (x_0, y_0) (рис. 1) составляет

$$dB = \mu\mu_0 \frac{I dx dy}{2\pi\sqrt{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]}4\delta b} \text{ [Тл]},$$

где μ — относительная магнитная проницаемость ферромагнетика; μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; I — ток, протекающий по двум пластинам (или по трубе), А; δ — половина толщины пластин, м; b — ширина пластины, м.

Индукция электромагнитного поля

$$dB = \sqrt{dB_x^2 + dB_y^2} \text{ [Тл]},$$

где $dB_x = dB \frac{y-y_0}{r}$ — поперечная составляющая;

$dB_y = dB \frac{x-x_0}{r}$ — продольная составляющая; r — расстояние от точки измерения до элемента тока, м.

Индукция поперечного электромагнитного поля

$$dB_x = \mu\mu_0 \frac{I(y-y_0) dx dy}{8\pi\delta b(x-x_0)^2 + (y_0-y)^2} \text{ [Тл]}. \quad (1)$$

Индукция продольного электромагнитного поля

$$dB_y = \mu\mu_0 \frac{I(x-x_0) dx dy}{8\pi\delta b(x-x_0)^2 + (y_0-y)^2} \text{ [Тл]}. \quad (2)$$

Индукция поперечного и продольного электромагнитных полей в точке (x_0, y_0) определяется интегрированием соответственно выражений (1) и (2):

$$B_x = \mu\mu_0 \frac{I}{8\pi\delta b} \times \int_{-\delta}^{\delta} \left(\int_{-\delta-s}^{-s} \frac{(y-y_0) dy}{(y_0-y)^2 + (x-x_0)^2} + \int_s^{s+b} \frac{(y-y_0) dy}{(y_0-y)^2 + (x-x_0)^2} \right) dx \text{ [Тл]};$$

$$B_y = \mu\mu_0 \frac{I}{8\pi\delta b} \times \int_{-\delta}^{\delta} \left(\int_{-\delta-s}^{-s} \frac{(x-x_0) dy}{(x-x_0)^2 + (y_0-y)^2} + \int_s^{s+b} \frac{(x-x_0) dx}{(x-x_0)^2 + (y_0-y)^2} \right) dy \text{ [Тл]}.$$

Индукцию рассчитывали на персональном компьютере. Ее расчетные значения хорошо согласуются с экспериментальными, полученными при моделировании процесса сварки (рис. 2) и измерении магнитной индукции в зазоре s стыка по всей его толщине и на расстоянии от изделия тесламетром Ф 4355, в котором используется эффект Холла. Для адекватности модели реальным условиям измерения индукции выполняли при пропускании через изделие тока 2100 А, как и в

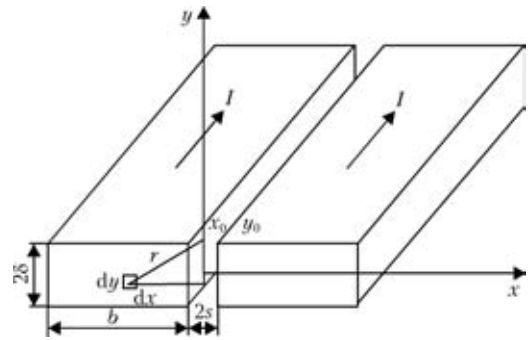


Рис. 1. Схема расчета индукции при протекании тока по пластинам

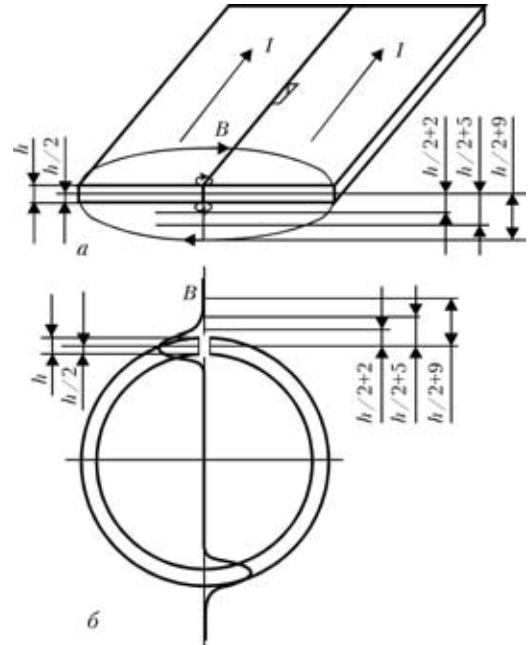


Рис. 2. Моделирование процесса сварки при протекании тока по пластинам (а) и трубе (б)

случае сварки составным электродом. В качестве источника питания использовали сварочный выпрямитель ВМГ-5000.

В результате расчета зависимости $B_x(y)$ при $x = 0$ и проведенных исследований установлено, что в случае протекания тока по пластинам электромагнитная индукция в середине толщины пластины равна нулю, ближе к ее поверхности она возрастает, а максимального значения достигает на самой поверхности пластины (рис. 3). При удалении от поверхности индукция электромагнитного поля сначала резко уменьшается вследствие низкой магнитной проницаемости воздуха, а затем незначительно изменяется. В соответствии с направлением силовых линий электромагнитного поля при переходе от середины к нижней части поверхности пластин направление индукции меняется на противоположное.

Распределение индукции в зазоре стыка пластин является результатом равномерного распределения тока по сечению изделия. Согласно принципу суперпозиции, магнитное поле, создаваемое несколькими токами, равно сумме полей, создава-

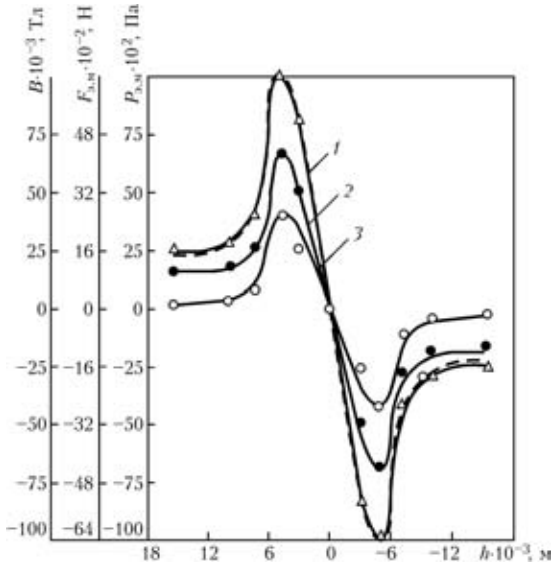


Рис. 3. Распределение электромагнитного поля при протекании тока $I = 2100$ А по пластине размером $10 \times 40 \times 300$ мм и зазоре в стыке 2 мм: 1 — индукция электромагнитного поля B ; 2 — электромагнитная сила $F_{э,м}$; 3 — электромагнитное давление $P_{э,м}$; штриховая кривая — расчетные значения индукции; h — точка измерения

емых каждым током в отдельности. Согласно закону Био-Савара, магнитное поле, создаваемое прямолинейным током проводника бесконечной длины, прямо пропорционально току и обратно пропорционально расстоянию от проводника с током.

В середине толщины пластины токи, протекающие по верхней и нижней ее поверхностям, создают равные по значению, но противоположные по направлению электромагнитные поля, которые взаимно уничтожаются. Поэтому индукция здесь равна нулю.

В случае приближения к поверхности пластины расстояние от другой ее поверхности увеличивается, вследствие чего компенсирующее действие токов уменьшается, а значения индукции электромагнитного поля возрастают. Наличие максимальной индукции на поверхности пластин свидетельствует о том, что максимальные электромагнитные силы межатомного взаимодействия определяют прочность сварного соединения.

Хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных, полученных при моделировании процесса сварки, подтверждает достоверность уравнений для определения индукции электромагнитного поля тока, протекающего по пластинам.

Известно, что при протекании тока по трубе без зазора электромагнитное поле внутри нее равно нулю [14]. Сварку труб выполняют с зазором в стыке, влияющим на электромагнитное поле сварочного тока. Расчетные формулы для определения закономерности распределения индукции в зазоре стыка трубы получены на основании следующих предположений.

Поскольку при сварке толстостенных труб их толщина 2δ больше зазора в стыке $2s$ (рис. 4),

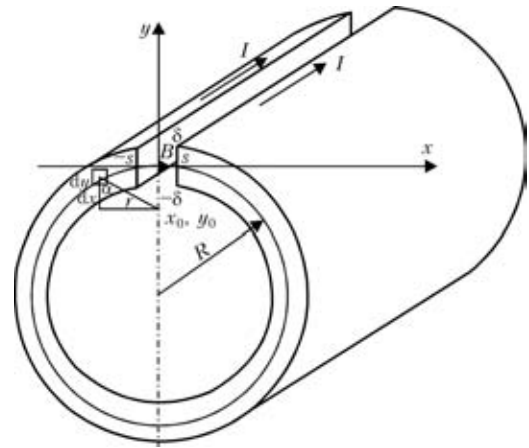


Рис. 4. Схема расчета индукции при протекании тока по трубе (см. обозначения в тексте)

можно считать, что деформация силовых линий электромагнитного поля отсутствует. Следовательно, электромагнитная индукция в трубе и зазоре на границе ферромагнетик–воздух равна. Тогда индукция электромагнитного поля в зазоре стыка определяется по теореме о циркуляции [13]:

$$\oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \frac{B}{\mu_0 \mu} l + \frac{B}{\mu_0} l_3 = \sum I_{эл},$$

где $l = 2\pi R - 2s$ — длина ферромагнетика, м; $l_3 = 2s$ — зазор в стыке, м; R — радиус трубы, м; $I_{эл}$ — элементарный ток, протекающий по трубе, А.

Сумма элементарных токов, протекающих внутри контура, который охватывается окружностью с центром, лежащим на оси трубы, проходящей через точку $(0, y)$, составляет

$$\sum I_{эл} = \frac{I}{2\delta} (\delta + y) [A],$$

где 2δ — толщина стенки трубы; y — ордината, $-\delta \leq y \leq \delta$.

Тогда индукция электромагнитного поля в зазоре стыка трубы составляет

$$B = \frac{\mu_0 \sum I_{эл}}{l/\mu + l_3} = \frac{\mu_0 \frac{I}{2\delta} (\delta + y)}{\frac{2\pi R - s}{\mu} + 2s} [Тл];$$

после преобразований получим

$$B = \frac{\mu_0 I (\delta + y)}{4\delta \left(\frac{\pi R - s}{\mu} + s \right)} [Тл]. \tag{3}$$

С помощью уравнения (3) расчетным путем можно определить индукцию электромагнитного поля сварочного тока в околосварочном пространстве при различных зазорах, равных ширине изо-

термы Кюри, режимах сварки и токоподводе к изделию.

Достоверность уравнения (3) подтверждена экспериментальными данными, полученными при моделировании процесса сварки путем пропуска тока по трубе и измерения индукции в зазоре стыка по толщине металла и на расстоянии от поверхности трубы.

Адекватность модели реальным условиям подтверждена при измерении индукции электромагнитного поля сварочного тока в производственных условиях при сварке труб диаметром $426 \cdot 10^{-3}$ м для газо- и нефтепроводных магистралей.

Установлено, что при протекании тока по трубе максимальное значение индукции возрастает от 0,35 Тл по сравнению с 0,1 Тл при протекании тока по пластинам (рис. 5).

Экспериментально установлено, что относительная магнитная проницаемость μ ферромагнитной трубы, применяемой при моделировании процесса сварки зависит от напряженности H электромагнитного поля (рис. 6). В случае малых значений H с их увеличением μ возрастает до 1300. При увеличении H значения μ сначала резко уменьшаются до 158, а затем менее значительно (до 10).

Без учета зависимости μ от H согласно расчетным данным максимальное значение индукции наблюдается на поверхности трубы. На внутренней поверхности стенки трубы индукция равна нулю. С учетом зависимости μ от H максимальная индукция имеет место в середине стенки трубы, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Расчетно-экспериментальным путем установлено, что при протекании тока по трубе максимальное значение индукции резко возрастает, оно в π раз больше значения индукции при сварке пластин. При этом направление индукции в стыке не изменяется, а максимального значения она достигает в середине стенки трубы. Индукция и ее распределение изменяются в результате того, что силовые линии электромагнитного поля концентрируются в замкнутом ферромагнитном теле трубы, контур которой совпадает с силовыми линиями электромагнитного поля. За пределами ферромагнитного тела трубы магнитная проницаемость снижается и индукция электромагнитного поля резко падает. Значение индукции на оси трубы не равно нулю и имеет противоположное направление в области нижней стенки.

Форма изделия также влияет на максимальную электромагнитную силу Ампера $F = I l_d$ (здесь l_d — длина дуги), действующую на дугу и жидкий металл сварочной ванны, а в квадратичной зависимости — на электромагнитное давление $P_{э.м} = B^2 / 2\mu$ [15], которое при протекании тока

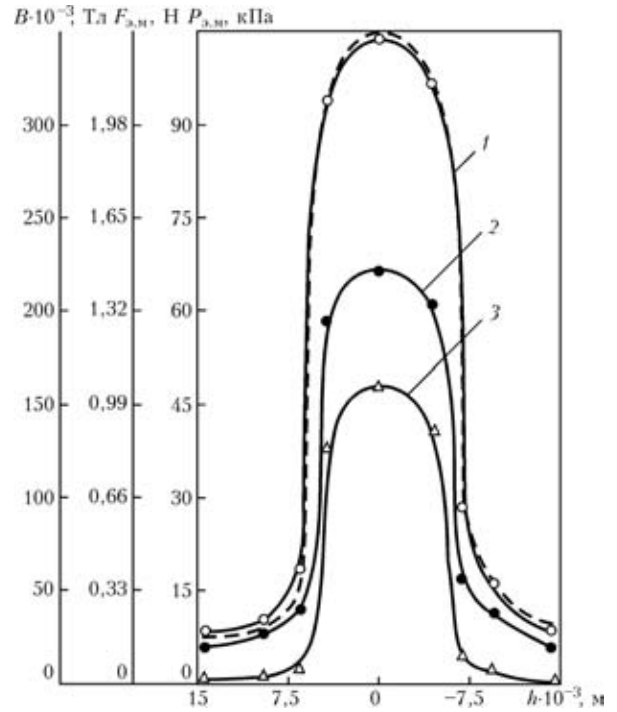


Рис. 5. Распределение электромагнитного поля при протекании тока $I = 2100$ А по трубе размером $10 \times 60 \times 300$ мм и зазоре в стыке 2 мм: 1–3 — см. рис. 4; штриховая кривая — расчетные значения индукции с учетом зависимости магнитной проницаемости от напряженности электромагнитного поля

по трубе возрастает почти в 10 раз. Поэтому при сварке труб усиливаются магнитное дутье и влияние электромагнитного поля на формирование швов.

В результате магнитного дутья при сварке прямых труб от токоподвода электромагнитная сила отклоняет дугу вперед таким образом, что ее длина периодически увеличивается до момента естественного обрыва дуги, которая вновь возбуждается при закорачивании электрода на изделие.

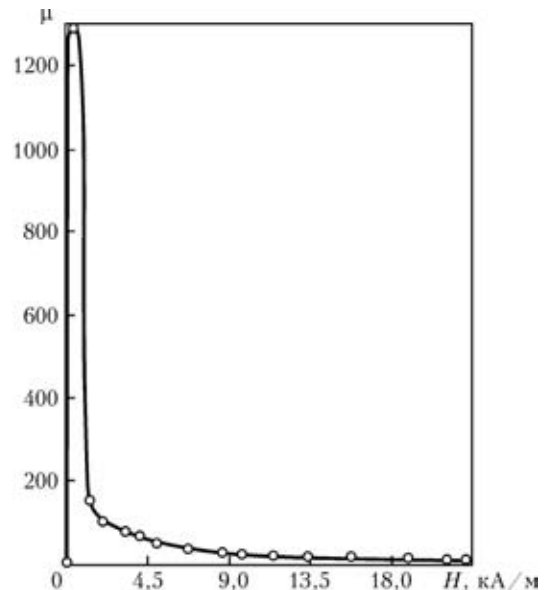


Рис. 6. Зависимость относительной магнитной проницаемости μ ферромагнетика от напряженности H электромагнитного поля

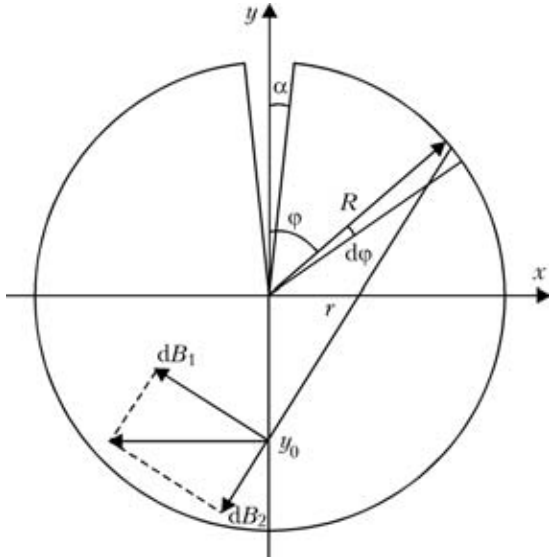


Рис. 7. Схема расчета индукции при протекании тока по тонкостенной трубе: B_1, B_2 — составляющие индукции; остальные обозначения см. в тексте

При этом режим сварки становится нестабильным и влияет на качество формирования швов. При сварке труб на токоподвод дуга отклоняется назад, погружается в основной металл и стабилизируется, но шов формируется с подрезами.

Для тонкостенной трубы индукцию электромагнитного поля, создаваемого током, протекающим по трубе (рис. 7), определяли согласно принципу суперпозиции полей, образуемых бесконечно длинными прямолинейными проводниками, по которым протекают токи

$$dI = \frac{Id\varphi}{2(\pi - \alpha)},$$

где φ — угол, определяющий положение элементарного участка с током; α — угол, зависящий от зазора в стыке.

Симметричные относительно оси y токи создают в точке y_0 суммарное поле, направленное вдоль оси x :

$$dB = 2\mu_0 \frac{Id\varphi}{2(\pi - \alpha)} \frac{1}{2\pi r} \frac{y - y_0}{r},$$

где $r = \sqrt{(y_0 - y)^2 + x^2}$; y — ордината элементарного участка с током; y_0 — ордината точки, в которой измеряется индукция.

Перейдя к полярным координатам, получим

$$\begin{aligned} dB &= \mu_0 \frac{Id\varphi}{\pi - \alpha} \frac{1}{2\pi} \frac{y_0 - R \cos \varphi}{R^2 \sin^2 \varphi + (y_0 - R \cos \varphi)^2} = \\ &= \mu_0 \frac{I}{2\pi(\pi - \alpha)} \frac{y_0 - R \cos \varphi}{R^2 + y_0^2 - 2Ry_0 \cos \varphi} d\varphi, \end{aligned}$$

где $x = R \sin \varphi$; $y = R \cos \varphi$.

Индукцию электромагнитного поля тока, протекающего по трубе, определяли интегрированием

$$\begin{aligned} B(0, y_0) &= \int_{\alpha}^{\pi} \mu_0 \frac{I}{2\pi(\pi - \alpha)} \frac{y_0 - R \cos \varphi}{R^2 + y_0^2 - 2Ry_0 \cos \varphi} d\varphi = \\ &= \int_{\alpha}^{\pi} \mu_0 \frac{I}{2\pi(\pi - \alpha)} \frac{1}{2y_0} \frac{2y_0^2 - 2Ry_0 \cos \varphi + R^2 - R^2}{R^2 + y_0^2 - 2Ry_0 \cos \varphi} d\varphi = \\ &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \int_{\alpha}^{\pi} \left(1 + \frac{y_0^2 - R^2}{R^2 + y_0^2 - 2Ry_0 \cos \varphi} \right) d\varphi = \\ &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \left(\int_{\alpha}^{\pi} d\varphi + \frac{y_0^2 - R^2}{R^2 + y_0^2} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{d\varphi}{1 - \frac{2Ry_0}{R^2 + y_0^2} \cos \varphi} \right). \end{aligned}$$

Поскольку $\int_{\alpha}^{\pi} d\varphi = \pi - \alpha$, то после интегрирования и преобразований получим

$$\begin{aligned} B(0, y_0) &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \times \\ &\times \left[\pi - \alpha + \frac{y_0^2 - R^2}{R^2 - y_0^2} \left(\pi - 2 \operatorname{arctg} \frac{R^2 - y_0^2}{(R - y_0)^2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Внутри трубы при $y_0 \leq R$ индукция электромагнитного поля равна

$$\begin{aligned} B(0, y_0) &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \times \\ &\times \left[-\alpha + 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{R^2 - y_0^2}{(R - y_0)^2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

За пределами трубы индукция электромагнитного поля

$$\begin{aligned} B(0, y_0) &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \times \\ &\times \left[\pi - \alpha + \left(\pi - 2 \operatorname{arctg} \frac{R^2 - y_0^2}{(R - y_0)^2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Индукция электромагнитного поля на значительном расстоянии от трубы при $y_0 \gg R$

$$\begin{aligned} B(0, y_0) &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} \times \\ &\times \left[2\pi - \alpha - 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{y_0^2}{(y_0^2)^2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right] = \\ &= \mu_0 \frac{I}{4\pi(\pi - \alpha)y_0} 2\pi = \mu_0 \frac{I}{2(\pi - \alpha)y_0}. \end{aligned}$$

Пренебрегая α в связи с ее малым значением, получаем индукцию электромагнитного поля на большем расстоянии от трубы

$$B(0, y_0) = \mu_0 \frac{I}{2\pi y_0} \text{ [Тл]},$$

что является классическим выражением для прямолинейного проводника с током и подтверждает достоверность полученной формулы.

Из уравнения (4) на оси трубы при $y_0 = 0$ индукция составляет

$$B(0, y_0) = \mu_0 \frac{I \sin \alpha}{2\pi R(\pi - \alpha)} \text{ [Тл]}. \quad (5)$$

Как следует из (5), при протекании тока по трубе с зазором индукция электромагнитного поля на оси трубы не равна нулю и возрастает с увеличением зазора в стыке.

Достоверность полученных уравнений подтверждается хорошей сходимостью с экспериментальными и литературными данными [14].

Для предотвращения магнитного дутья разработан способ электродуговой сварки труб с двухсторонним токоподводом, при котором регулируется действующая на дугу и жидкий металл ванны электромагнитная сила за счет пропускания впереди и позади дуги сварочного тока различных значений [16].

Разработанный процесс односторонней высокоскоростной сварки труб с двухсторонним токоподводом характеризуется стабильным и качественным формированием швов, пониженной материалоемкостью и энергоемкостью.

Выводы

1. Получены уравнения для расчета индукции электромагнитного поля при сварке пластин и труб. Расчетно-экспериментальным путем установлено влияние формы изделия на магнитную проницаемость, распределение электромагнитного поля в зазоре стыка и значения индукции, которые при сварке труб в π раз больше, чем при сварке пластин.

2. В стыке пластин индукция максимальна на поверхности пластины, в середине пластины она равна нулю и изменяет направление на противоположное на нижней ее поверхности. В стыке трубы максимального значения индукция достигает

в середине стенки трубы и изменяет направление в области нижней ее стенки.

3. Магнитное дутье при сварке труб возрастает вследствие наличия замкнутого контура, увеличения магнитной проницаемости, концентрации силовых линий в ферромагнитной трубе, отличающейся большой магнитной проницаемостью, повышения индукции электромагнитной силы, действующей на дугу, и электромагнитного давления.

4. Разработан способ сварки с двухсторонним токоподводом, который обеспечивает регулирование действующей на дугу и жидкий металл сварочной ванны электромагнитной силы стабильностью процесса односторонней высокоскоростной сварки труб и качественное формирование швов.

1. Патон Б. Е., Мандельберг С. Л. Сварка под флюсом при изготовлении труб большого диаметра // Автомат. сварка. — 1968. — № 3. — С. 41–46.
2. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Магнитогидродинамические явления при электрической сварке и их использование // Новые проблемы сварочной техники. — Киев, 1964. — С. 322–336.
3. Лебедев В. К. Магнитогидродинамические явления при дуговой сварке // Техническая электромагнитная гидродинамика. — М.: Металлургия, 1965. — С. 32–38.
4. Уайт Р. М. Квантовая теория магнетизма. — М.: Мир, 1972. — 306 с.
5. Маттис Д. Теория магнетизма. — М.: Мир, 1967. — 400 с.
6. Гильберт В. О магните, магнитных полях и о большом магните — Земле. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 375 с.
7. Максвелл Дж. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 238 с.
8. Лебедев В. К. Силовое воздействие сварочной дуги // Автомат. сварка. — 1981. — № 1. — С. 7–14.
9. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 369 с.
10. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 334 с.
11. Гаген Ю. Г., Таран В. Д. Сварка магнитоуправляемой дугой. — М.: Машиностроение, 1970. — 157 с.
12. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля. — М.: Энергия, 1968. — 486 с.
13. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970. — 384 с.
14. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. — М.: Гардарики, 2001. — 316 с.
15. Абрамович Г. П. Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1969. — 824 с.
16. А. с. 1524981 СССР, МКИ В 23 К 31/06, 9/18. Способ дуговой сварки / В. И. Щетинина, А. И. Акулов. — Опубл. 30.11.89; Бюл. № 44.

Equations have been derived for calculation of the electromagnetic field induction in welding of plates and pipes. Calculation and experimental procedures have been used to establish the influence of the part shape on the electromagnetic field of welding current, and a method has been developed to prevent magnetic blowout in pipe welding.

Поступила в редакцию 22.05.2006

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ДРЕССИРОВОЧНОЙ КЛЕТИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

В. А. РОЯНОВ, д-р техн. наук, **В. Н. МАТВИЕНКО**, канд. техн. наук, **К. К. СТЕПНОВ**, **В. П. СЕМЕНОВ**,
Н. Г. ЗАВАРИКА, инженеры, **И. В. ЗАХАРОВА**, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
В. В. КЛИМАНЧУК, канд. техн. наук (ОАО ММК им. Ильича, г. Мариуполь)

Разработана порошковая проволока для процесса электродуговой металлизации поверхности рабочих валков дрессировочной клетки стана холодной прокатки и технология нанесения покрытия. Показана возможность нанесения тонкодисперсных износостойких материалов с обеспечением высокой адгезионной стойкости покрытия к отслоению при технологическом процессе дрессировки с обжатием 0,5...2,0 %.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, порошковая проволока, тонкодисперсные материалы, покрытие, рабочие валки, дрессировочная клетка

Улучшение качества холоднокатаного листа и расширение сортамента выпускаемой продукции являются одними из основных задач в листопрокатном производстве. В последние годы особое внимание уделяется требованиям к качеству поверхности холоднокатаных листов.

Известен способ хромирования рабочих валков дрессировочного стана путем электролитического нанесения покрытия с использованием электролита на основе чистого хрома в специальном приспособлении при вертикальном расположении вала [1, 2]. Однако он не лишен недостатков.

В ПГТУ на кафедре оборудования и технологии сварочного производства разработана и широко применяется технология газотермического напыления и электродуговой металлизации порошковыми и электродными проволоками различного состава и свойств [3, 4].

ММК им. Ильича было предложено ПГТУ провести научно-исследовательскую работу по определению возможности использования процесса электродуговой металлизации для напыления поверхности бочки рабочих валков дрессировочной клетки цеха холодной прокатки.

Были проведены исследования по разработке состава порошковой проволоки для получения износостойких покрытий из электродуговой металлизации. При этом применяли легирование оболочки недефицитными сплавами, а в состав сердечника вводили порошки алюминия и феррохрома с целью получения в покрытии при металлизации карбидных и твердых оксидных (в том числе в виде шпинелей) фаз. В качестве основы легирования износостойкого покрытия выбирали систему Fe–Cr.

С учетом отмеченного разработана серия составов порошковых проволок для получения изно-

стойких покрытий: ПП-ММ-2, ПП-ММ-6, ПП-ММ-63, ПП-ММ-65 и др., которые обеспечивают прочность сцепления покрытий при чистом отрыве или срезе не менее 50 МПа, а при совмещенных условиях нагружения (отрыв со срезом) — не менее 39 МПа. Разработанные составы порошковых проволок обеспечивают получение покрытий, содержащих 1,0...2,0 % С; 4,0...10,0 % Cr.

Сравнительные испытания на износостойкость покрытий при трении металлических пар проводили при сухом трении образцов цилиндрической формы с нанесенным на торце цилиндра покрытием. Режим испытаний следующий: удельное давление 50 кгс/см², скорость скольжения 3,8...7,3 см/с, шероховатость поверхности покрытий перед испытаниями $R_z = 80$.

В процессе испытаний фиксировали время и изменение толщины покрытия. Разработанные составы порошковых проволок обеспечивают износостойкость покрытий (рис. 1) на уровне покрытий из дорогостоящих порошков металлов и нанесенных методом детонационного напыления, значительно превышают износостойкость покрытий, нанесенных проволоками сплошного сечения из сплавов типа X20H80, 10X16H25AM, обеспечивают высокую прочность сцепления покрытия с подложкой (адгезионную прочность).

Технологический процесс напыления покрытия методом электродуговой металлизации включал: дробеструйную обработку поверхности; металлизацию, контроль качества.

Подготовка поверхности вала осуществлялась дробеструйной обработкой, при которой одновременно придавалась поверхности желаемая степень шероховатости при удалении оксидной пленки и других загрязнений, что способствуют повышению прочности сцепления покрытия. При этом время между завершением процесса подготовки ее под напыление и началом процесса металлизации не должно превышать 1,5...2,0 ч.

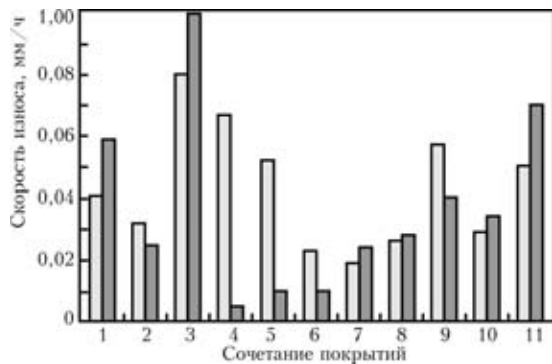


Рис. 1. Диаграмма значений средних скоростей износа для различных сочетаний трущихся пар покрытий, нанесенных детонационным методом (1, 2), электродуговой металлизацией порошковыми проволоками (3–8) и цельнотянутыми проволоками (9–11): 1 — ПС-12НВК-01 и ПН-80Х13С2р; 2 — ПС-12НВК-01 и ПН-65Х25С3Р3; 3 — Ст3 и ПП-ММ-63; 4 — Ст3 и ПП-ММ065; 5 — сталь 20ГФЛ и ПП-ММ-63; 6 — ПП-ММ063 и ПП-ММ-63; 7 — ПП-ММ-65 и ПП-ММ-63; 8 — ПП-ММ-65 и ПП-ММ-65; 9 — 95Г и 65Г; 10 — Х2-Н80 и 65Г; 11 — 10Х16Н25АМ и 65Г

Исходя из опыта внедрения предыдущих разработок рекомендованы следующие основные параметры режима напыления для порошковой проволоки диаметром 2,6 мм: ток дуги $I_d = 280...300$ А, напряжение на дуге $U_d = 34...36$ В, дистанция напыления $L = 140$ мм, давление распыляющей струи воздуха $P_{возд} = 0,50...0,55$ МПа. Скорость перемещения металлизационного аппарата может быть выбрана в пределах 2...6 об/мм и окружная скорость — 10...40 м/мин.

Опытно-промышленная металлизация поверхности валков дрессировочной клетки (2 шт. — № 115 и 116) осуществлена в ЦХП ОАО ММК по разработанной ранее технологии (рис. 2).

Валки предварительно были шлифованы на профиль +0,09 (верх), +0,15 (низ) и подвергнуты дробеструйной обработке. Подачу сжатого воздуха для работы металлизационного аппарата ЭМ-17 осуществляли от отдельного компрессора с давлением воздуха на входе распыляющего сопла металлизатора не менее 0,50...0,55 МПа. Воздух для металлизации и дробеструйной обработки пропускали через масловодоотделители, установленные возле компрессора или непосредственно на рабочем месте. После нанесения покрытия толщиной 80...200 мкм была произведена шлифовка и выполнена дробеструйная обработка на установке «Гостоп». Остаточная толщина нанесенного металла составила от 15 до 25 мкм. Замеры уровня шероховатости показали значения от 3,76 до 6,86 мкм.

Подготовленные и собранные валки были завалены в клетку. Предварительно проведена обкатка валков в «забое» при отсутствии нагрузки в количестве 15...20 оборотов. При дрессировке первого

Flux-cored wire for the process of electric-arc metallizing of the surface of working rolls of a tempering stand of the cold rolling mill and coating technology have been developed. Shown is the possibility of applying finely-dispersed wear-resistant materials with provision of a high adhesion resistance of the coating to delamination in the technological process of temper rolling with reduction of 0,5...2 %.

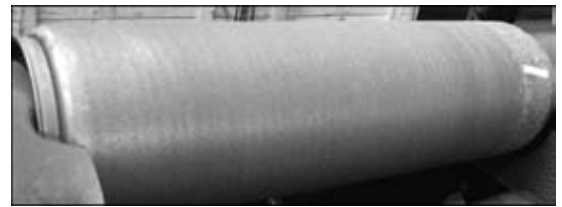


Рис. 2. Рабочий валок дрессировочной клетки после металлизации

рулона отмечено превышение уровня шероховатости полосы требованиям ТИ 227-П-02-2004. Замеры прибором «Сутроник» на верхней и нижней плоскости полосы показали следующие значения: низ 2,00; 3,76; 2,20 мкм; верх 2,64; 2,76; 1,68 мкм.

После прокатки половины рулона стан был остановлен и произведена повторная обкатка валков в «забое» при отсутствии нагрузки в течение 8...10 мин. Затем дрессировка была продолжена. Отобрана первая проба от полосы. После прокатки около 20 т произведен замер уровня шероховатости верхнего валка в стане (верхний опорный поднят на 120...130 мм). Получены следующие значения по образующей бочки валка (с шагом 250 мм): 2,42; 1,50; 1,82; 1,96; 2,88; 1,74 мкм. Данные значения свидетельствуют о приработке поверхностных слоев валка в результате дрессировки полосы. Произведена повторная обкатка валков в «забое» при отсутствии нагрузки в течение не менее 15 мин с промывкой валков жидкостью под давлением и затем дрессировка была продолжена. Вальцовщиками стана визуально определено заметное улучшение качества поверхности полосы и доведение его до уровня требований ТИ на дрессировку. Отобрана вторая проба от рулона. За время испытания опытных валков отслоений и выкрашивания нанесенного слоя не отмечено.

Результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность нанесения тонкодисперсных износостойких материалов на рабочую поверхность и их адгезионную стойкость к отслоению при проведении технологического процесса дрессировки холоднокатаных полос с обжатием 0,5...2,0 %.

1. Хромирование рабочих валков дрессировочного стана / С. С. Колпаков, В. В. Капнин, Ю. А. Мухин, В. Н. Соловьев // Сталь. — 1995. — № 8. — С. 48–50.
2. Исследование качества полосы при дрессировке с использованием хромированных валков / Ю. А. Мухин, В. Н. Соловьев, Е. Б. Бобков и др. // Там же. — 2002. — № 6. — С. 50–52.
3. Роянов В. А. Плавление электродов при дуговой металлизации // Свароч. пр-во. — 1990. — № 2. — С. 35–38.
4. Роянов В. А., Семенов В. П. Экономнолегированная порошковая проволока для электродугового напыления износостойких покрытий // Вест. Приазов. гос. техн. ун-та. — 1995. — Вып. 1. — С. 157–160.

Поступила в редакцию 05.06.2006

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ШЕЕК И ГАЛТЕЛЕЙ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В. Н. МАТВИЕНКО, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Разработан состав наплавочного материала в виде порошковой проволоки, обеспечивающий улучшенные служебные характеристики прокатных валков стана слябинг-1150. Стойкость шеек валков достигает уровня стойкости рабочей поверхности бочки.

Ключевые слова: электродуговая наплавка, порошковая проволока, наплавленный металл, шейки и галтели валков прокатных станков

Проблема сохранения на достаточно высоком уровне технико-экономических показателей работы прокатного стана слябинг-1150 ОАО «ММК им. Ильича» в первую очередь предусматривает решение главной задачи — повышение срока службы его основного рабочего инструмента — прокатных валков. В условиях наплавочного участка цеха слябинг-1150 [1] успешно решается первая часть этой задачи — упрочнение рабочей поверхности бочек валков методом электродуговой наплавки слоя металла с использованием материалов и технологий, разработанных отраслевой научно-исследовательской лабораторией ПГТУ.

Анализ стойкости валков показывает, что в большинстве случаев выход их из строя, в том числе и разрушения, происходят по шейкам, особенно в месте перехода от шейки к бочке, т. е. по галтели (рис. 1). В связи с этим необходимо разработать наплавочный материал и технологию наплавки, обеспечивающие повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки валка.

Поверхность шеек валка стана слябинг-1150 работает в тяжелых температурно-силовых условиях гидроабразивного изнашивания в сочетании со значительными ударными изгибающими знакопеременными нагрузками и крутящими моментами. Условия воздействия на металл абразивной и коррозионной среды, характер повреждения его поверхности определяют необходимый состав, микроструктуру, фазовое состояние и свойства наплавленного металла. Для повышения эксплуатационной стойкости шеек и галтелей необходимо осуществлять наплавку их рабочей поверхности материалами, обеспечивающими достаточно высокую прочность и пластичность как при нормальных, так и повышенных температурах; высокую

износостойкость и термостойкость наплавленного слоя наряду с коррозионной стойкостью. Разработка материала должна обеспечивать как его высокие эксплуатационные свойства, отвечающие отмеченным выше требованиям, так и технологические возможности его нанесения на поверхность шейки и галтелей электродуговой наплавкой.

Для сопротивления разрушающему воздействию абразивной среды в условиях трения металл по металлу наплавленный металл должен иметь твердую составляющую (карбиды, бориды, нитриды, интерметаллидные соединения), при этом твердые частицы карбидов и других соединений должны прочно удерживаться матрицей — основой сплава. Роль матрицы в сталях и сплавах может выполнять мартенсит, феррит, аустенит, ледебурит. В соответствии с этим классификация износостойкого наплавленного металла по структурным признакам [2] включает следующие классы: мартенситный, мартенситно-карбидный (здесь, кроме карбидов, могут присутствовать другие твердые частицы — бориды, карбонитриды, интерметаллиды и т. п.), ферритно-карбидный, аустенитно-карбидный, ледебуритно-карбидный. В табл. 1 приведена характеристика наплавленного металла различных классов.

С учетом изложенного выше, а также общепринятых рекомендаций [2, 3] на предварительном этапе исследований были отобраны наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла мартенситного, мартенситно-карбидного и аустенитно-карбидного классов. Бы-

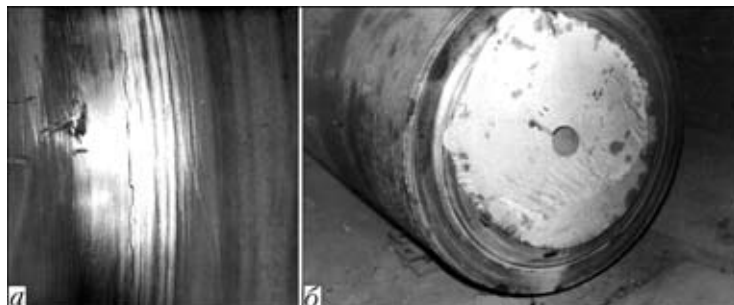


Рис. 1. Внешний вид галтельной части прокатного валка с трещиной на поверхности (а) и зоны разрушения горизонтального валка стана слябинг-1150 по галтели (б)

Таблица 1. Характеристика наплавленного металла различных классов

№ п/п	Тип наплавленного металла	Структурный класс	Относительная трудоемкость механической обработки
1	30ХГСА	Мартенситный	1,0
2	18Х6ГМФС	Мартенситно-карбидный	1,6
3	25Х7ГМФС	» »	1,7
4	12Х12Г12СФ	Аустенитно-карбидный	1,7
5	Х20Н10Г6	» »	1,7

ли проведены металлографические исследования, испытания на износо-, термостойкость, твердость при нормальных и повышенных температурах, сопротивляемость образованию кристаллизационных трещин при наплавке.

Для изготовления образцов производили четырех-, пятислойные наплавки на пластины толщиной 40 мм из стали 50* с предварительным подогревом до температуры 300...350 °С. Износостойкость наплавленного металла оценивали на установке с возвратно-поступательным движением тела трения из стали Р18. Температура тела трения составляла 400 °С, удельное давление 14,7 МПа, скорость перемещения тела трения 11,2 м/мин, время испытания 1 ч [4]. Твердость металла при повышенных температурах замеряли на образцах размерами 6Х3Х40 мм, вырезанных из наплавленного металла, при пропускании по ним тока. Температуру образца во время нагрева и охлаждения фиксировали с помощью приваренной к образцу хромель-копелевой термопары [4]. Термостойкость наплавленного металла определяли путем кратковременного пропускания тока через участок наплавленного металла с последующим быстрым охлаждением его струей проточной воды [4]. Количество циклов теплосмен «нагрев–охлаждение» оценивали до появления видимой трещины. Испытание наплавленного металла на стойкость против образования кристаллизационных

трещин производили по методике, предусматривающей принудительный изгиб плоского образца (по схеме чистого изгиба) в процессе наплавки, благодаря чему в кристаллизующемся наплавленном металле возникают растягивающие напряжения [4]. Показателем технологической стойкости против образования кристаллизационных трещин являлась максимальная критическая скорость деформации, при которой в наплавленном металле еще отсутствуют трещины. Результаты испытаний наплавленного металла представлены в табл. 2.

Металл мартенситного класса может быть получен при наплавке средне- или высокоуглеродистой сталью (например, проволоками Нп-35, Нп-65Г, Нп-30ХГСА и др.). Конечная структура и свойства такого металла определяются в основном содержанием в нем углерода и температурно-временными условиями (режимом и технологией) наплавки. Из низко- и среднеуглеродистых материалов наиболее широкое распространение для наплавки шеек валков получил металл 30ХГСА, структура которого показана на рис. 2. Такой металл достаточно технологичен — в широком диапазоне изменения параметров режима практически не склонен к образованию трещин, имея достаточно высокий показатель технологической прочности (табл. 2), хорошо поддается механической обработке, благодаря высокой пластичности хорошо сопротивляется действию ударных нагрузок. Однако ввиду относительно невысокой твердости (в связи с малым содержанием углерода) и отсутствия в структуре твердых упрочняющих частиц (карбидов) износостойкость среднеуглеродистого наплавленного металла мартенситного класса невысока (табл. 2) и находится на уровне износостойкости термически упрочненных конструкционных сталей. Поэтому металл 30ХГСА при наплавке прокатных валков в основном применяется только в качестве промежуточных слоев (так называемых подслоев).

Более высокую твердость и износостойкость по сравнению с металлом мартенситного класса

Таблица 2. Результаты испытаний наплавленного металла

Вид испытания	30ХГСА	18Х6ГМФС	25Х7ГМФС	12Х12Г12СФ	Х20Н10Г6
Износостойкость, мг	85,6...90,2	42,4...46,3	28,6...32,1	25,2...28,9	33,7...35,4
Термостойкость, количество циклов	1710...1830	1850...1980	1320...1450	1510...1640	840...970
Твердость (HRC) металла при температуре, °С:					
20	26...30	40...44	47...50	33...36	30...34
500	18...21	28...31	33...36	29...32	24...27
Технологическая прочность (скорость деформации), мм/мин	17,6...18,2	8,6...9,3	7,1...7,5	10,8...12,4	9,5...10,1
Примечание. В табл. 2, 3 приведены результаты 3...5 испытаний или замеров.					

* В работе принимали участие К. К. Степнов, А. И. Олдаковский.

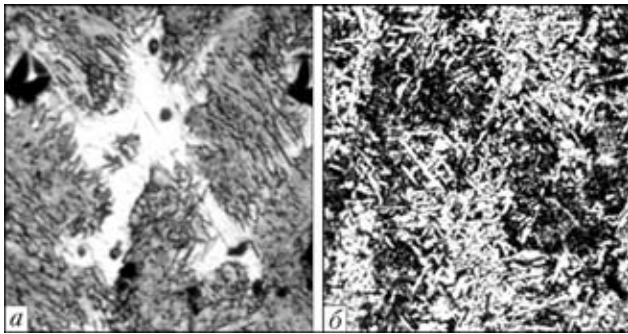


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла 30XГСА (X320): а — многопроходная наплавка проволочным электродом (феррит + перлит, HV 200); б — однопроходная наплавка ленточным электродом (мартенсит, троостит, бейнит, HV 400)

имеет металл мартенситно-карбидного класса. Известны модификации экономнолегированных сплавов системы Fe–C–Cr–Mo–V типа X5MФ — 25X5ФМС, получаемых наплавкой порошковой проволокой [5], и сплавов 18X6ГМФС, 20X7ГФМ, 25X7ГМФС, получаемых наплавкой низкоуглеродистыми проволоками или лентами под легирующим керамическим флюсом ЖСН-5 [6]. Такой металл при многопроходной наплавке с предварительным подогревом имеет структуру высокоотпущенного мартенсита — сорбита + карбиды (рис. 3). Он характеризуется сочетанием достаточно высоких значений твердости, износо-, термо- и трещиностойкости (см. табл. 2), что предопределило широкое применение этих экономнолегированных материалов для упрочнения рабочей поверхности бочки прокатных валков станков горячей прокатки.

Вместе с тем эти сплавы, как и описанные выше, не являются коррозионно- и кавитационно-стойкими в условиях гидроабразивного изнашивания, характерного для эксплуатации шеек валков стана слябинг-1150. Поэтому применение этих материалов для наплавки шеек нерационально. С этих позиций весьма перспективно применение наплавленного металла аустенитно-карбидного класса.

Аустенитная матрица имеет ряд преимуществ по сравнению с мартенситной или ферритной. Прежде всего аустенит имеет более высокую вязкость и прочность, чем феррит, что способствует,

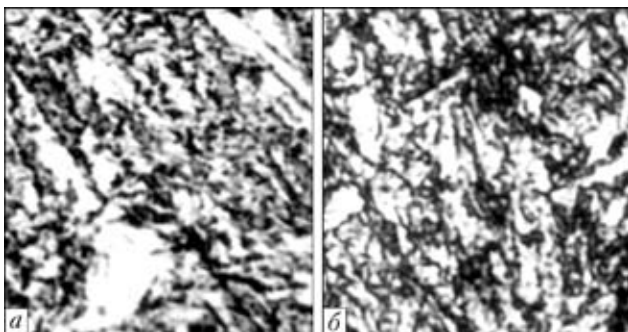


Рис. 3. Микроструктура (X500) сплава системы Fe–C–Cr–Mo–V наплавленного металла: а — 18X6ГМФС; б — 25X7ГМФС

с одной стороны, лучшему удержанию частиц твердой фазы, а с другой — общему повышению износостойкости, особенно при ударно-абразивном изнашивании. Кроме того, аустенит может быть полностью или частично неустойчивым (нестабильным) и в процессе пластической деформации претерпевать превращение в мартенсит (так называемый мартенсит деформации), что приводит к дополнительному повышению износостойкости. Другим важным эксплуатационным свойством аустенитного наплавленного металла является наиболее высокая коррозионная стойкость по сравнению со всеми другими структурными классами.

В качестве износостойкого наплавленного металла аустенитно-карбидного класса для наплавки прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок успешно применяется хромомарганцевованадиевый сплав 12X12Г12СФ [3, 4], структура которого показана на рис. 4, а результаты испытаний приведены в табл. 2. Для наплавки коррозионностойкого слоя металла используются также аустенитные проволоки (Св-08X21Н10Г6, Св-08X20Н9Г7Т, Св-07X25Н13, Св-10X20Н15 и др.) с содержанием никеля до 18...20 %, что делает эти материалы дорогими и дефицитными. Экономически целесообразно заменить в наплавленном металле аустенитного класса никель элементами, обеспечивающими требуемую структуру и сочетание его свойств. Предложен ряд хромомарганцевых сталей [7, 8], предназначенных для замены хромоникелевых сплавов. Установлено [9], что хромоникелевый и хромомарганцевый аустенит по многим свойствам близки, а в отношении теплостойкости хромомарганцевый аустенит превосходит хромоникелевый. Более высокая способность хромомарганцевого аустенита к упрочнению сильнее проявляется при повышенных температурах (если последние не превышают порога рекристаллизации). В связи с

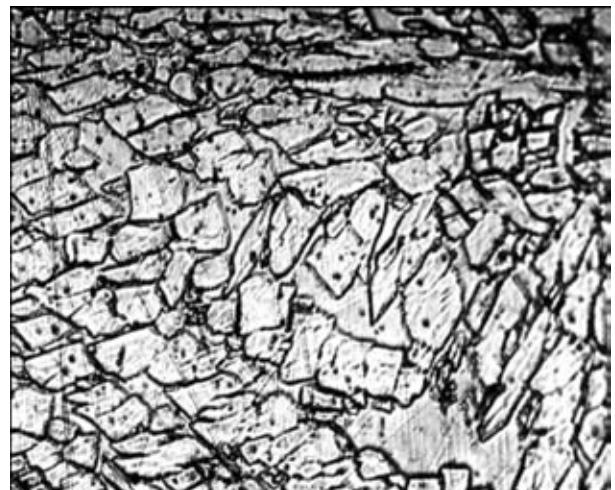


Рис. 4. Микроструктура (X320) наплавленного металла аустенитно-карбидного класса 12X12Г12СФ

этим содержание марганца в таких сплавах ограничивается 10...15 %, т. е. тем минимальным количеством, которое обеспечивает получение стабильной аустенитной структуры [7, 9].

Оптимальным содержанием хрома в указанных хромомарганцевых сплавах является 10...13 %, что обеспечивает высокие износостойкость и термостойкость сплава вследствие выделения в структуре металла тугоплавких и твердых карбидов хрома. Этот элемент препятствует росту зерна сплава, увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита. Кроме того, содержание хрома в указанных концентрациях позволяет сохранить твердость сплава при высоких температурах на достаточном высоком уровне [10], при большей концентрации хрома (свыше 13 %) сплав становится чувствительным к отпускной хрупкости, что может привести к отколам наплавленного слоя в процессе его эксплуатации.

Содержание углерода должно быть не более 0,10 %, в противном случае существует опасность образования хрупкой составляющей σ -фазы в процессе длительной эксплуатации изделия при высоких температурах [7–10].

Хромомарганцевые сплавы, предназначенные для износостойкой наплавки стальных деталей, работающих в условиях повышенных температур, циклических теплосмен в сочетании с высокими удельными давлениями, рекомендуется [11] легировать ванадием и титаном, упрочняющими твердый раствор и оказывающими влияние на дисперсность и скорость упрочнения карбидных частиц при длительных тепловых выдержках. Образуются устойчивые карбиды и уменьшая их растворимость в сплаве, эти элементы способствуют повышению термической стойкости, жаро- и износостойкости сплава, значений критических точек, что весьма важно для металла, работающего в условиях многократных теплосмен. Кроме того, такие тугоплавкие карбидные соединения выполняют роль модификаторов, эффективно измельчая первичную структуру сплава и тем самым повышая технологическую прочность металла в процессе его кристаллизации [12]. Титан обеспечивает также хорошее раскисление и дегазацию сплава, получение плотной и мелкой первичной микроструктуры и излома литой стали [13].

При разработке состава наплавленного металла для упрочнения шеек прокатных валков и порошковой проволоки за основу взят низкоуглеродистый хромомарганцевый сплав типа 09X11Г12 с дополнительным легированием ванадием, титаном, алюминием, а также микродобавками циркония.

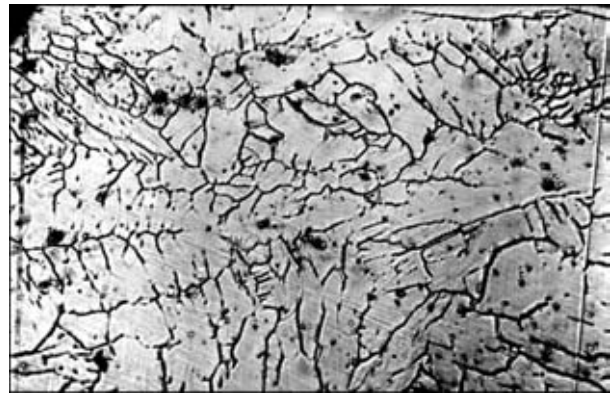


Рис. 5. Микроструктура (X500) металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ

Для получения наплавленного металла указанного типа разработан состав порошковой проволоки ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ. Легирование осуществляется путем введения в шихту соответствующих металлических порошков и ферросплавов. Алюминий, добавленный в металл в небольших количествах (0,10...0,20 %), существенно измельчает его структуру благодаря образующимся высокодисперсным частицам оксидов алюминия и тем самым повышает стойкость сплава против образования кристаллизационных трещин в процессе наплавки. Эту же роль играет микролегирование металла цирконием.

Результаты лабораторных испытаний металла, наплавленного опытной порошковой проволокой под плавным флюсом АН-60, приведены в табл. 3. Химический состав металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ, следующий, мас. %: 0,07...0,09 С; 10,8...11,2 Cr; 11,6...11,8 Mn; 1,9...2,1 V; 0,13...0,15 Al; 0,01 Ti; 0,01 Zr. Процесс наплавки характеризовался высокими сварочно-технологическими свойствами: стабильным горением сварочной дуги, удовлетворительным формированием наплавленного металла и хорошей отделимостью шлаковой корки,

Таблица 3. Результаты испытаний металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ под флюсом АН-60 и проволокой Св-08ГА под флюсом ЖСН-5

Вид испытания	Марка наплавочного материала	
	ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ	Св-08ГА + ЖСН-5
	Тип наплавленного металла	
	09X11Г12Ф2ЮЦТ	20Х6ГМФС
Износостойкость, мг	20,6...24,1	37,4...41,6
Термостойкость, количество циклов	1760...1910	1670...1750
Твердость (HRC) при температуре, °С:		
20	32...34	39...41
500	28...30	31...33
Технологическая прочность (скорость деформации), мм/мин	15,9...16,3	9,1...10,4

отсутствием трещин, пор, несплавлений и других дефектов. Микроструктура наплавленного металла отличается равноосностью и состоит из аустенита, по границам зерен которого расположены карбиды (рис. 5).

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты испытаний металла типа 20Х6ГМФС, наплавленного под флюсом ЖСН-5 проволокой сплошного сечения Св-08ГА, используемых при наплавке бочки прокатных валков.

Проанализировав результаты лабораторных испытаний (табл. 2, 3), можно отметить, что металл, получаемый при наплавке опытной порошковой проволокой, имеет улучшенные служебные характеристики, что было подтверждено последующей промышленной наплавкой шеек и галтелей валков стана слябинг-1150. Результаты эксплуатации наплавленных валков показали увеличение их работоспособности в 1,3...1,5 раза. Обеспечено повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки вала. Наплавка галтелей порошковой проволокой позволила устранить образование трещин и разрушение валков по этой зоне.

Выводы

1. Для повышения стойкости шеек и галтелей прокатных валков стана слябинг-1150 разработан состав наплавочного материала, для получения которого изготовлена опытная партия порошковой проволоки.

2. Металл, получаемый при наплавке опытной порошковой проволокой, имеет улучшенные служебные характеристики, что было подтверждено результатами эксплуатации наплавленных валков стана слябинг-1150, которые показали увеличение

их работоспособности в 1,3...1,5 раза. Обеспечено повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки вала.

1. *Повышение долговечности стальных валков прокатных станов ОАО «ММК им. Ильича»* / В. Н. Матвиенко, К. К. Степнов, С. В. Гулаков и др. // *Металлур. оборудование*. — 2005. — № 2. — С. 39–42.
2. *Самотугин С. С., Лещинский Л. К., Соляник Н. Х.* Структура и характер разрушения сварных соединений, наплавленных и упрочненных материалов. — Мариуполь: ПГТУ, 1996. — 179 с.
3. *Тылкин М. А.* Справочник термиста ремонтной службы. — М.: Металлургия, 1981. — 648 с.
4. *Об оценке основных свойств металла для наплавки прокатных валков* / Б. И. Носовский, Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, А. И. Олдаковский // *Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла* / Под ред. И. И. Фрумина. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 85–98.
5. *Фрумин И. И., Кондратьев И. А.* Порошковая проволока ПП-25Х5ФМС для наплавки прокатных валков // *Автомат. сварка*. — 1968. — № 10. — С. 56–58.
6. *Повышение работоспособности прокатных валков наплавкой слоя с изменяющейся по длине бочки износостойкостью* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, Б. И. Носовский и др. // Там же. — 1978. — № 3. — С. 57–62.
7. *Богачев И. Н., Егорова В. Ф.* Структура и свойства железомарганцевых сплавов. — М.: Металлургия, 1973. — 295 с.
8. *Малинов Л. С., Малинов В. Л.* Марганецсодержащие наплавочные материалы // *Автомат. сварка*. — 2001. — № 8. — С. 34–37.
9. *Химушин Ф. Ф.* Хромомарганцовистые стали аустенитного и аустенитно-ферритного типа // *Тр. ВИАМ*. — 1965. — № 32. — С. 24–26.
10. *Химушин Ф. Ф.* Жаропрочные стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1964. — 118 с.
11. *Меськин В. С.* Основы легирования стали. — М.: Металлургиздат, 1964. — 214 с.
12. *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. М.* Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1980. — 493 с.
13. *Конторович И. Е.* Термическая обработка стали и чугуна. — М.: Металлургиздат, 1950. — 681 с.

Composition of a surfacing material in the form of flux-cored wire has been developed, providing improved service properties of the rolls of Slabbing-1150 mill. Resistance of the roll necks is on the level of that of the working surface of the roll barrel.

Поступила в редакцию 10.03.2006

ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Л. МАЛИНОВ, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Приведены результаты исследований по разработке экономнолегированных наплавочных материалов, обеспечивающих повышение долговечности деталей машин за счет получения в структуре наплавленного металла метастабильного аустенита, претерпевающего деформационное упрочнение при эксплуатации.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая лента, наплавленный металл, метастабильный аустенит, мартенсит, износостойкость, механические свойства, деформационное упрочнение

В настоящее время проблема ресурсосбережения является достаточно актуальной. Одним из перспективных направлений ее решения является создание и широкое внедрение в производство экономнолегированных электродных материалов с эффектом деформационного упрочнения наплавленного металла при эксплуатации, заключающегося в превращении метастабильного аустенита в мартенсит под воздействием внешней нагрузки.

Первые электродные материалы, обеспечившие получение в наплавленном металле метастабильного аустенита, созданы под руководством М. И. Разикова. Разработаны электроды УПИ 30X10Г10 и порошковая проволока ПП-30X11Г12Т [1]. Наряду с высокими эксплуатационными свойствами им присущ ряд недостатков, а именно: трудная обрабатываемость резанием наплавленного металла, а также его недостаточная коррозионная стойкость и сопротивление абразивному изнашиванию.

В данной работе обобщены результаты исследований по созданию более технологичных электродных материалов, в том числе, имеющих повышенную абразивную стойкость. Определены направления дальнейших исследований и показаны примеры технических решений, которые могут быть широко использованы в промышленности Украины для повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей машин.

В работе [2] приведены данные о порошковой ленте ПЛ-Нп-15X13АГ10МФС (ПЛН-4), которая показала высокую эффективность при наплавке деталей, работающих в условиях контактного нагружения. Она была применена при восстановлении крановых колес, плунжеров гидропрессов и цапф сталеразливочных ковшей. Наплавленный этой лентой металл имеет улучшенную обра-

батываемость резанием, что достигнуто путем снижения содержания углерода и повышения стабильности аустенита по отношению к деформационному мартенситному превращению за счет увеличения степени легирования хромом и марганцем.

Показано, что термообработка, включающая низкотемпературный отжиг при 600...650 °С, обычно проводимая после наплавки для снятия внутренних напряжений, уменьшает стабильность аустенита к деформационному мартенситному превращению и за счет этого повышает износостойкость на 30...40 % при трении скольжения и качения [3].

Известно, что наиболее однородные свойства наплавленного металла удается получить при использовании электродной проволоки сплошного сечения. В связи с этим была разработана проволока Нп-14X14Г12Ф диаметром 4 мм [4]. Автором проведены исследования свойств металла, наплавленного этой проволокой под флюсами АН-348 и АН-26. Механические свойства наплавленного металла приведены в таблице.

Испытания на износ проводили в условиях сухого трения на машине МИ-1М по схеме колодка-ролик. Ролик диаметром 46 мм и толщиной 10 мм изготавливали из стали 50 твердостью *HV* 320. Испытуемые образцы наплавленного металла имели размеры 10×10×25 мм. Скорость вращения ролика составляла 425 об/мин, скорость скольжения — 0,98 м/с, нагрузка — 100 МПа. Эталонном служила отожженная сталь 50. Результаты определения относительной износостойкости после испытания в течение 15 мин представлены на рисунке. Для сравнения приведены также данные относительной износостойкости металла, наплавленного проволоками Св-08Г2С и Нп-30ХГСА под флюсом АН-348.

В металле, наплавленном проволокой Нп-14X14Г12Ф под флюсом АН-26, количество мартенсита в структуре увеличивалось примерно от

Механические свойства металла, наплавленного Нп-14Х14Г12Ф

Марка флюса	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твердость <i>HВ</i>
АН-348	580	770	6,5	9,8	350
АН-26	330	680	14,5	22,0	260

5 (в состоянии после наплавки) до 60 % (на поверхности износа). При использовании флюса АН-348 после наплавки количество мартенсита было 30 %, а после износа оно возрастало до 70 %. Более высокая износостойкость наплавленного металла в первом случае объясняется оптимальной интенсивностью деформационного мартенситного превращения, обеспечивающего не только требуемое упрочнение поверхности, но и одновременную релаксацию напряжений, что позволяет большую долю внешнего воздействия расходовать на реализацию превращения, а не на разрушение.

На основании полученных данных сделан вывод о том, что использование для наплавки флюса АН-26 является более целесообразным, чем АН-348, так как обеспечивает более высокий уровень механических свойств (таблица) и износостойкости наплавленного металла, а также лучшую отделимость шлаковой корки.

В работе [5] приведены данные о наплавочной ленте ПЛН-6 (ПЛ-Нп-20Г15САФ), которая экономична по сравнению с рассмотренными выше материалами на Fe–Cr–Mn–C основе, а также обеспечивает получение в наплавленном металле структуры метастабильного аустенита. Сравнительные испытания в условиях трения качения и трения скольжения показали, что по износостойкости металл, наплавленный лентой ПЛН-6, так же, как и металл ПЛН-4 и Нп-14Х14Г12Ф значительно превосходит металл, наплавленный Св-30ХГСА. Лента ПЛН-6 показала высокую эффективность при наплавке крановых колес.

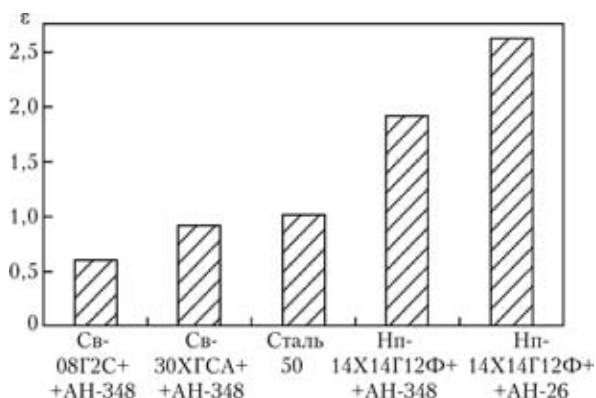
Важным направлением, позволяющим в полной мере реализовать преимущества структур с метастабильным аустенитом, является восстано-

вление и упрочнение деталей, подвергающихся износу в сочетании с сильными ударами. Такие условия работы характерны для трещ валков и муфт прокатных станков, крестовин железнодорожных и трамвайных путей, деталей автосцепки железнодорожных вагонов, молотков, ковшей драг, зубьев землеройных машин и др.

Наиболее широко для работы в этих условиях применяются литые детали из стали 110Г13Л. Повышенная износостойкость стали 110Г13Л реализуется при больших статических и динамических нагрузках, вызывающих ее сильный наклеп, но при отсутствии такого нагружения поверхностный слой деталей не упрочняется и изнашивается абразивом подобно углеродистой стали.

Обычно наплавка выполняется для ремонта изношенных литых деталей, что позволяет продлить срок их службы. Однако получение наплавленного металла, соответствующего по составу стали 110Г13Л, связано с серьезными технологическими трудностями, так как она склонна к охрупчиванию при перегреве и медленном охлаждении. Эффективным приемом, позволяющим повысить трещиностойкость наплавленного металла, является уменьшение в нем содержания углерода. Сохранение высокой износостойкости при этом обеспечивается за счет реализации деформационного мартенситного превращения при оптимальной интенсивности его развития. С учетом этого предложена наплавочная проволока 70Г7Х4Н2М [6]. При ее использовании аустенит, получаемый в структуре наплавленного металла, является метастабильным. Исследование рентгенографическим методом изношенной поверхности показало, что в исходной аустенитной структуре образуется до 20 % мартенсита деформации. Использование проволоки 70Г7Х4Н2М для электрошлаковой наплавки черпаков драг обеспечило повышение их долговечности на 20 % по сравнению со сталью 110Г13Л.

Высокую износостойкость в условиях контактно-ударного нагружения можно обеспечить и при использовании порошковой проволоки ПП-30Х8Г8СТ [7]. В структуре наплавленного металла наряду с аустенитом содержится 20...30 % мартенсита. Внедрение данной проволоки на Каменск-Уральском заводе ОЦМ показало, что долговечность наплавленных деталей шпинделей прокатных станков, роликов правильных машин, крестовин трамвайных путей и др. увеличилась в 2...7 раз.



Относительная износостойкость наплавленного металла ϵ по сравнению со сталью 50

Для работы в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания обычно применяются электродные материалы, обеспечивающие получение в структуре наплавленного слоя значительного количества твердых фаз (карбидов, боридов и др.). Однако их присутствие, хотя и является необходимым, но недостаточным условием высокой износостойкости. Увеличение их количества сверх оптимального для данных условий изнашивания приводит к охрупчиванию и быстрому разрушению рабочей поверхности. При этом важную роль играет структура металлической матрицы сплавов, в частности присутствие остаточного аустенита. В литературе приводятся противоречивые данные относительно его оптимального содержания. Одной из причин этого является то, что в большинстве случаев при разработке износостойких сплавов используется лишь качественная оценка условий, в которых они эксплуатируются. Это затрудняет рациональный выбор наплавочного материала для конкретных условий работы. В работе [8] предложено для характеристики различных условий изнашивания использовать коэффициент динамичности K_d , определяемый как отношение твердости образца из стали 110Г13Л после изнашивания в данных условиях к его исходной твердости. Сталь 110Г13Л накапливает энергию внешнего воздействия, упрочняясь при этом, а уровень ее упрочнения позволяет судить об интегральной интенсивности ударно-абразивного воздействия.

С учетом K_d проведено изучение абразивной и ударно-абразивной износостойкости наплавленного металла систем легирования Fe–Cr–Mn–C и Fe–Cr–Mn–V–C с различными соотношениями упрочняющих фаз и метастабильного аустенита в структуре [9]. Исследования выполняли методом планирования эксперимента для различных значений K_d в интервале от 1,2 до 3,5, что соответствует условиям испытаний, варьируемым от абразивного изнашивания практически без ударов, до изнашивания с очень интенсивной ударной нагрузкой. Содержание легирующих элементов в наплавленном металле изменялось в следующих пределах: 1...3 % C, 6...12 % Cr, 2...6 % Mn. Изучались также свойства наплавленного металла, дополнительно легированного ванадием в количестве примерно 3 %. В результате получены регрессионные зависимости ударно-абразивной износостойкости ϵ от химического состава наплавленного металла:

$$\epsilon_{(K_d=1,2)} = 0,98 + 0,68C + 0,087Mn - 0,027Cr + 0,021C \cdot Cr - 0,2C^2 - 0,017Mn^2, \quad (1)$$

$$\epsilon_{(K_d=1,4)} = 0,93 + 0,6C + 0,11Mn - 0,018Cr + 0,017C \cdot Cr - 0,18C^2 - 0,019Mn^2, \quad (2)$$

$$\epsilon_{(K_d=1,7)} = 1,17 + 0,41C + 0,044Mn - 0,018Cr + 0,017C \cdot Cr + 0,025C \cdot Mn - 0,16C^2 - 0,015Mn^2, \quad (3)$$

$$\epsilon_{(K_d=2,0)} = 1,19 + 0,36C + 0,023Mn - 0,015Cr + 0,017C \cdot Cr + 0,037C \cdot Mn - 0,18C^2 - 0,012Mn^2, \quad (4)$$

$$\epsilon_{(K_d=3,5)} = 0,77 + 0,866C + 0,002Mn - 0,014Cr + 0,031C \cdot Mn + 0,01Cr \cdot Mn - 0,34C^2 - 0,017Mn^2. \quad (5)$$

При малых коэффициентах динамичности ($K_d = 1,2 \dots 1,4$) наибольшая износостойкость получена в наплавленном металле следующего химического состава, %: 2...2,5 C, ~12 Cr, 2...3 Mn. Его твердость составляла *HRC* 45...50. Структура наплавленного металла преимущественно мартенситно-карбидная, количество остаточного аустенита составляет 25...30 %. В данных условиях ударно-абразивного воздействия легирование наплавленного металла ванадием в количестве до 3 % при одновременном увеличении содержания углерода до 2,5...3,0 % повышает износостойкость на 10...15 %. С увеличением интенсивности ударно-абразивного воздействия и соответственно ростом K_d в наплавленном металле следует уменьшать содержание углерода и увеличивать количество марганца. Так, при $K_d = 3,5$ оптимальным является следующее содержание легирующих элементов: 1,0...1,7 % C, 5...6 % Mn, ~ 12 % Cr. Твердость наплавленного металла около *HRC* 40. Структура преимущественно аустенитная при суммарном количестве мартенсита и карбидов в структуре менее 40 %. В данных условиях ударно-абразивного воздействия легирование ванадием неэффективно, поскольку не обеспечивает увеличения износостойкости.

Для различных вариантов интенсивности ударно-абразивного изнашивания, характеризуемых K_d , разработаны следующие порошковые ленты: ПЛ-Нп-230X12Г2 и ПЛ-Нп-250X10Г4Ф3 при $K_d = 1,2 \dots 1,4$; ПЛ-Нп-200X12Г2 при $K_d = 1,7 \dots 2,0$; ПЛ-Нп-160X12Г5 и ПЛ-Нп-100X6Г4 при $K_d = 3,5$, а также ПЛ-Нп-200X12Г5 для более широкого диапазона $K_d = 1,4 \dots 3,5$. Наплавку разработанными порошковыми лентами сечением 18×4 мм проводят под флюсом АН-26 на следующих режимах: сила тока $I = 600 \dots 700$ А, напряжение $U = 28 \dots 32$ В, скорость наплавки $v = 35 \dots 40$ м/ч. Указанные ленты обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами.

Порошковая лента ПЛ-Нп-160X12Г5 прошла промышленное опробование и была внедрена для восстановления плит щековых дробилок, что позволило повысить долговечность деталей в 1,5 раза по сравнению с изготовленными из стали 110Г13Л [9].

После наплавки структура и фазовый состав могут отличаться от оптимальных (в частности,

для обеспечения технологичности). В этом случае эффективным способом их регулирования является нормализация, а ее режимы должны выбираться с учетом интенсивности ударно-абразивного воздействия K_d . Изучено влияние температуры нагрева при нормализации, которая варьировалась от 800 до 1100 °С (время выдержки 20 мин), на свойства металла, наплавленного порошковыми лентами ПЛ-Нп-200Х12Г5 и ПЛ-Нп-250Х10Г4Ф3. Установлено, что с увеличением интенсивности ударно-абразивного воздействия и соответственно K_d необходимо использовать более высокие температуры нагрева при нормализации с целью увеличения количества аустенита в структуре, а также степени его стабильности, за счет дополнительного легирования при росте части карбидов. В условиях абразивного изнашивания с малой интенсивностью ударного воздействия ($K_d = 1,2...1,4$) повышение износостойкости наплавленного металла обеспечивает нормализация с сравнительно невысоких температур (~800 °С). Получаемая при этом структура является преимущественно мартенситно-карбидной, а количество аустенита составляет 20...30 %. Наплавленный металл, содержащий ванадий, при изнашивании в этих условиях имеет более высокую (15...20 %) износостойкость. При большой интенсивности ударного воздействия $K_d = 2,0...3,5$ наиболее высокую износостойкость обеспечивает нормализация с высоких температур (~1100 °С). При этом в структуре преобладает аустенит (> 70 %), который имеет повышенную стабильность по отношению к деформационному мартенситному превращению. С увеличением количества мартенсита и карбидов в структуре при данных условиях испытаний износостойкость снижается. При $K_d = 3,5$ после нормализации металл, наплавленный порошковыми лентами ПЛ-Нп-250Х10Г4Ф3, имеет примерно такую же ударно-абразивную износостойкость, как наплавленный ПЛ-Нп-200Х12Г5, не содержащий ванадий [9].

При наплавке высокоуглеродистых износостойких сплавов обычно имеет место образование трещин. Эффективным технологическим приемом, позволяющим избежать этого, и вместе с тем получить метастабильный аустенит с различным количеством упрочняющих фаз в наплавленном металле, является наплавка низкоуглеродистыми легированными сплавами с последующей химико-термической обработкой и термической обработкой [10]. Использование этого приема позволяет избежать образования трещин, а обработ-

кой получить в структуре наплавленного металла метастабильный аустенит и реализовать эффект деформационного упрочнения при эксплуатации.

При абразивном изнашивании наплавленного металла типа 30Х10Г10 наибольшая износостойкость получена после цементации и закалки с 1000 °С. Этому соответствовало получение в структуре наряду с мартенситом и карбидами метастабильного аустенита (>50 %), интенсивно превращающегося в мартенсит под воздействием абразивных частиц. При этом прирост мартенсита деформации составлял около 40 %. Положительный эффект в увеличении износостойкости оказывает и динамическое старение с выделением карбидов на изнашиваемой поверхности.

Большой интерес представляют наплавочные материалы, в которых при высокоотпуске, проводимом после наплавки для уменьшения напряжений, происходит дисперсионное твердение аустенита и его дестабилизация, активизирующая деформационное мартенситное превращение.

1. Разиков М. И., Мельниченко С. Л., Ильин В. П. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30Х10Г10. — М.: НИИМАШ, 1964. — 35 с.
2. Износостойкость дисперсионно-твердеющих сталей с нестабильным аустенитом / Л. С. Малинов, В. И. Конопляшко, В. Д. Панин и др. // Тез докл. II Всесоюз. науч.-техн. конф. «Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии». — Жданов: Жданов. металлург. ин-т, 1977. — С. 22–24.
3. Малинов Л. С., Малинов В. Л. Марганецсодержащие наплавочные материалы // Автомат. сварка. — 2001. — № 8. — С. 34–37.
4. Пат. 23408А Україна, МКІ С 22 С 38/38. Склад дроту для зносостійкої наплавки та ін. / Л. С. Малинов, В. М. Полещук, Д. О. Деркач. — Заявл. 12.07.96; Оpubл. 02.05.98, Бюл. № 2.
5. Новый наплавочный материал системы С-Fe-Mn-V для повышения долговечности ходовых колес мостовых кранов / Л. С. Малинов, Е. Я. Харланова, А. А. Колечко и др. // Свароч. пр-во. — 1988. — № 9. — С. 18–20.
6. Высокомарганцовистая сталь для электрошлаковой наплавки / В. П. Пономаренко, А. Я. Шварцер, В. Н. Малько и др. // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1982. — № 10. — С. 57–60.
7. Разиков Н. И., Кулешенко Б. А. О выборе наплавочного материала, стойкого при кавитационно-ударном нагружении // Свароч. пр-во. — 1967. — № 7. — С. 10–12.
8. Петров И. В. Исследование износостойкости наплавочных материалов при абразивном износе и динамических нагрузках: Дис. ... канд. техн. наук. — М., 1965. — 152 с.
9. Малинов В. Л. Разработка экономнолегированных наплавочных материалов для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания: Дис. ... канд. техн. наук. — Мариуполь, 2000. — 135 с.
10. Пат. 63462 А Україна, С 21 Д 1/2. Спосіб зміцнення / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. — Заявл. 22.04.2003; Оpubл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

The paper gives the results of investigations on development of sparsely-alloyed surfacing consumables ensuring an increase of the fatigue life of machine parts by producing in the deposited metal structure a metastable austenite which undergoes deformation hardening in operation.

Поступила в редакцию 05.06.2006



СТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА

Акад. НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **Б. А. ЗАДЕРИЙ**, канд. техн. наук, **С. С. КОТЕНКО**, инж.,
Е. П. ПОЛИЩУК, канд. техн. наук

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

О. П. КАРАСЕВСКАЯ, канд. физ.-мат. наук (Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины)

Методами рентгеновской дифрактометрии и оптической металлографии изучена структура монокристалла вольфрама (99,99 мас. %), подвергнутого локальному оплавлению (сварке) электронным лучом в вакууме. Получены данные о кристаллографической ориентации различных зон сварного соединения по отношению к основному металлу. Проведена оценка плотности и распределения дислокаций в этих зонах. Обнаружено наличие зонного неоднородного многоуровневого распределения дислокаций в сварном соединении. Выявленные изменения параметров дислокационных ансамблей объясняются особенностями протекания термомодеформационного процесса при сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, монокристалл, сварное соединение, рентгенографический метод, кристаллографическая ориентация, плотность дислокаций, структурные изменения

Механические свойства, служебные характеристики и качество изделий со сварными соединениями в основном определяются структурными и кристаллографическими процессами, происходящими в металле под воздействием термомодеформационного цикла сварки, связанными с изменениями фазового состава многофазных материалов [1, 2], характера текстуры и размеров зерен поликристаллических объектов [1–3], появлением зерен случайной ориентировки, нарушающей кристаллографическое совершенство монокристаллов и их дислокационную структуру [4–6]. Это в свою очередь влечет за собой образование микро- и макротрещин в различных зонах сварного соединения. Как следует из большинства публикаций, усилия исследователей направлены на определение параметров и условий сварки конкретного материала, способствующих минимальному искажению структуры металла сварного шва (СШ) по сравнению с основным металлом (ОМ), а следовательно, сохранению уровня физико-механических характеристик и служебных свойств материала. При решении этой задачи не всегда можно выявить причины и механизм фазовых и структурных изменений, ведущих к появлению микродефектов или разрушению сварного соединения, которые можно наблюдать в различных зонах сварного соединения, а именно, на поверхности сплавления, в шве или зоне термического влияния (ЗТВ). С целью исключения возмущающего воздействия фазовых превращений и высокоугловых границ зерен на формирование структуры сварных соединений при сварке первый этап

исследований проводили на монокристаллическом однофазном материале — вольфраме, для которого не характерны полиморфные и фазовые превращения во всем температурном интервале.

Поскольку при получении сварных изделий из монокристаллических материалов одной из важнейших задач является максимальное сохранение исходных характеристик и в первую очередь монокристалличности сварного изделия в целом, возникла необходимость в исследовании кристаллографических трансформаций в различных зонах сварного соединения. Выяснение динамических причин перестройки кристаллографических характеристик исходного материала под воздействием термического цикла сварки позволит не только понять механизм формирования сварного соединения с заданной кристаллографической структурой, но и обеспечит стабильность качества и физико-механических характеристик сварных конструкций.

Использование электронного луча в качестве источника нагрева и плавления позволило исключить возможность попадания в металл шва активных примесей из окружающей атмосферы и осуществлять контроль процессов нагрева, плавления и кристаллизации металла.

При исследовании структурных изменений в качестве основного выбран рентгенографический метод, отличающийся локальностью, информативностью и дающий минимальные искажения структуры при анализе.

Методики исследования. Исследования проводили на плоских образцах размером 1×10×140 мм, вырезанных из крупногабаритных (диаметром 38 мм, длиной 550 мм) монокристаллов вольфрама (99,99 мас. %) двойного электронно-лучевого переплава со стандартным содержанием примесей



($1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-5}$ С; $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-5}$ О; $(5 \dots 8) \cdot 10^{-5}$ Н). Сварное соединение получали способом электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в вакууме при остаточном давлении приблизительно 6,6 МПа, скорость сварки при подогреве материала до 300...600 °С составляла 22 мм/с. Способ подготовки кромок (их кристаллографическая ориентация, угол среза, наличие наклепанного слоя и пр.) оказывает значительное влияние на формирование и структурное состояние сварного соединения. С целью исключения этого фактора ЭЛС выполняли со сквозным проплавлением. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии поверхностной обработки монокристаллов. Ширина швов составляла 2...3 мм с лицевой и 1,8...2,8 мм с обратной стороны, выбранная ориентация лицевой поверхности, поверхности сплавления и направления сварки — соответственно $[1\bar{1}0]$, $[110]$ и $[001]$ (рис. 1, 2).

Изучение структуры различных участков сварных соединений проводили на плоских образцах, вырезанных электроискровым способом параллельно поверхности условной поверхности сплавления (рис. 1). Наклепанный слой с поверхности шлифов удаляли электрополировкой. Поверхность образцов для исследований подготавливали в соответствии с традиционной методикой изготовления микрошлифов из вольфрама. Исследуемые образцы вырезали из зон материала, расположенных на различном расстоянии как в сторону ОМ, так и СШ от условной поверхности сплавления, отделяющей оплавленный металл от

неоплавленного. Исследовали следующие участки: ОМ — влиянием термомеханического цикла сварки можно пренебречь (образцы вырезаны на расстояниях 2 и 3 мм от зоны сплавления (ЗС)); ЗТВ — металл, подвергшийся в процессе сварки температурному воздействию (1,4; 1,2; 1,0; 0,4; 0,1 мм от ЗС); ЗС — расположена на расстоянии $\pm 0,02$; $\pm 0,08$ мм от условной поверхности сплавления; СШ — металл, нагревавшийся выше температуры плавления с последующей кристаллизацией в соответствии с условиями технологического процесса ЭЛС (0,02; 0,50; 1,00; 1,25 мм от поверхности сплавления в направлении литой зоны).

Рентгеновские исследования структуры образцов проводили тремя методами [7, 8]. Метод построения полюсных фигур использовали для определения кристаллографической ориентации образцов до и после ЭЛС в различных зонах сварного соединения (точность определения центра рефлекса составляет приблизительно 2°). По случайным рефлексам, которые не соответствуют основной ориентации материала, определяли наличие высокоугловых границ. Объем материала V_0 , выделенный этими границами из основного монокристалла, оценивали по интегральному значению интенсивности под случайными отражениями.

С помощью метода $\theta-2\theta$ изучали форму и ширину дебаевских линий, т. е. распределения интенсивности отражений вдоль дифракционного вектора $I_{q||}$.

Методом рентгеновской дифрактометрии [9–11] исследовали интенсивность рассеянного рентгеновского излучения в окрестности узлов обратной решетки в азимутальной плоскости, пер-

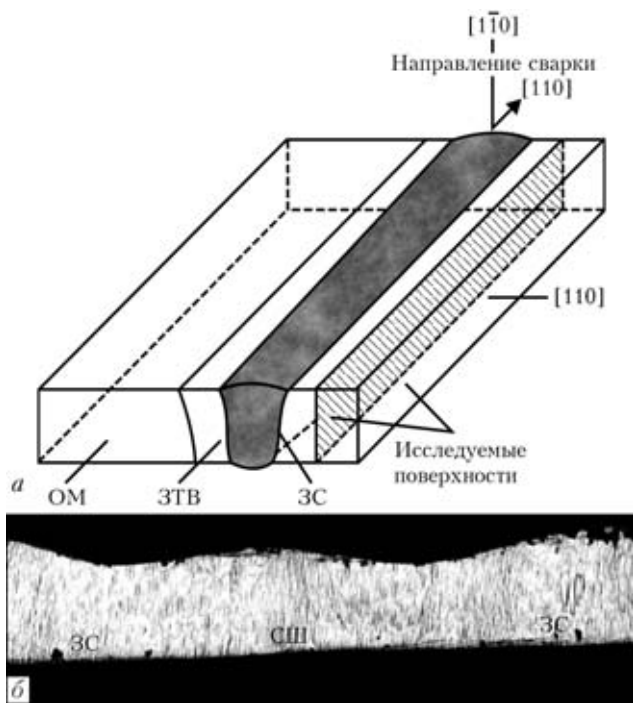


Рис. 1. Схема вырезки образца сварного соединения для металло- и рентгенографических исследований (а) и макрошлиф его поперечного сечения (б)

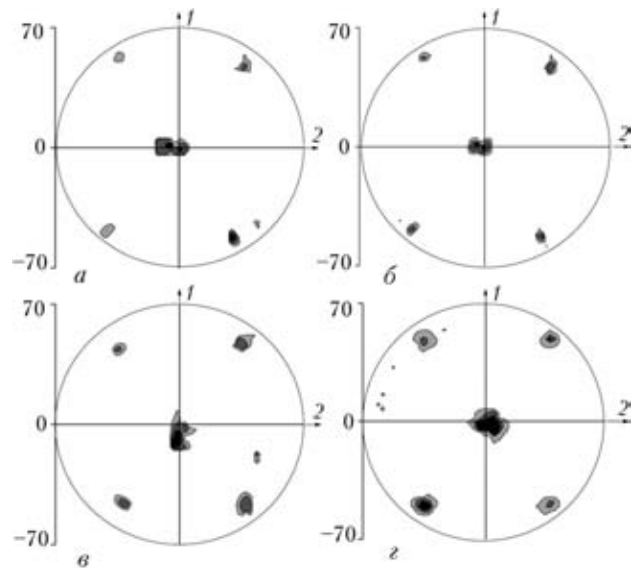


Рис. 2. Полюсные фигуры $\{110\}$ в различных зонах сварного соединения: а — ОМ; б — ЗТВ; в — ЗС; г — СШ; 1 — направление сварки; 2 — поверхность сплавления



пендикулярной дифракционному вектору $I_{q\perp}$. Этот метод дает возможность определить $I_{q\perp}$ в любом направлении в азимутальной плоскости и аналогичен методу кривых качания или ω -сканирования при выделении распределения $I_{q\perp}$ в одном из азимутальных направлений.

В рентгеновских исследованиях использовали $Cu_{K\alpha}$ -излучение с графитовым монохроматором. Площадь облучаемой области в зависимости от характера эксперимента изменяли от 0,1 до 2,0 мм². В экспериментах использовали дифрактометр «ДРОН-3М» с текстурной приставкой, что обеспечивало четырехкратную экваториальную геометрию эксперимента с движением образца вокруг трех взаимно перпендикулярных осей и детектора вокруг оси 2θ . Ходом эксперимента управляли с помощью ПК. Съемку осуществляли в пошаговом режиме; ПК накапливал данные о значении интенсивности рассеянного излучения при заданных положениях образца (точках обратного пространства). По разработанным программам строили полюсные фигуры распределения $I_{q\parallel}$ и $I_{q\perp}$. Во всех образцах исследовали одинаковые рентгеновские отражения (110), (020), (200), (211),

(21 $\bar{1}$), (121), (12 $\bar{1}$), для каждого из которых выполняли анализ формы и ширины ($\delta_{q\perp}$, $\delta_{q\parallel}$) экспериментальных рентгеновских отражений. Кроме того, для каждого образца определяли усредненные по всем рефлексам значения ширины рентгеновских отражений в направлениях максимального $\delta_{q\perp\max}$ и минимального $\delta_{q\perp\min}$ уширения. Далее приведены экспериментальные (суммарное физическое и инструментальное) значения уши-

рения рефлексов. Металлографические исследования проводили на микроскопе «OLYMPUS IX70».

Результаты исследований. На рис. 3, а видно, что на лицевой поверхности сварного соединения вдоль направления сварки имеются полосы неомогенной дислокационной структуры; такая же неоднородная зональная структура выявлена и на поверхности, перпендикулярной направлению сварки (см. рис. 1, б). Чередующиеся светлые и темные полосы фрагментированной структуры содержат более мелкие и крупные субзерна. Зоны дислокационной структуры отличаются между собой разной травимостью, размерами и четкостью границ фрагментов и субзерен. Наиболее крупные фрагменты и субзерна наблюдаются в центре СШ на стыке фронтов кристаллизации. Переход от зоны материала, не подвергнувшегося плавлению, к СШ (рис. 3) осуществляется в пределах области шириной менее 0,1 мм, которую более правильно считать зоной, а не поверхностью сплавления.

Как видно из рис. 2, для всех зон на полюсных фигурах наблюдаются крупные основные и мелкие случайные рефлексы. Положения крупных основных отражений {110} подобны имеющим место в ОМ, ЗТВ, ЗС и СШ. Кристаллографическая ориентация образцов, вырезанных из этих зон, соответствует ориентации лицевой поверхности (110), поверхности сплавления (110) и направлению сварки [001]. Таким образом, выбранный на основании ранее проведенных исследований [6] технологический режим сварки позволяет получать монокристаллическое сварное соединение. Случайные мелкие и малоинтенсивные рефлексы, не совпадающие с положениями основных рефлексов, обусловлены частично неполным совершенством исследуемого монокристалла. Объем несовершенств в материале, влияющих на появление случайных отражений, составляет приблизительно 0,01 % общего объема монокристалла ОМ. В области ЗТВ и на поверхности сплавления (см. рис. 2, б, в) объем материала, вызывающий такие отражения, составляет приблизительно 0,01 %, что соответствует данным, полу-

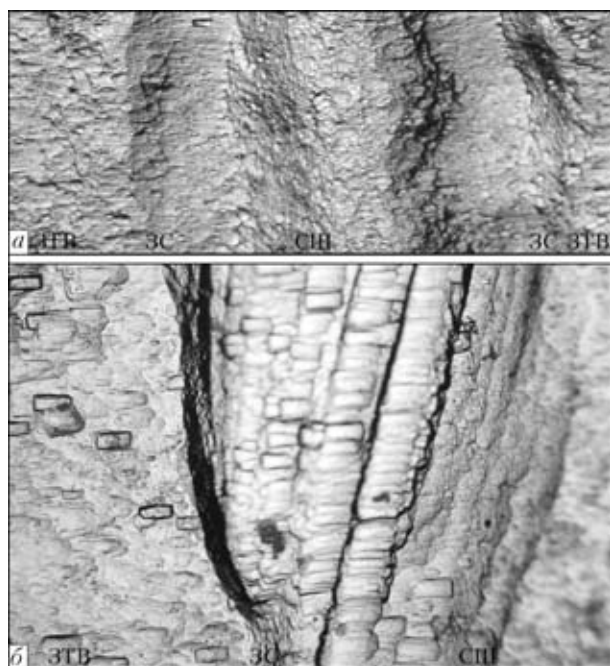


Рис. 3. Макроструктура лицевой поверхности сварного соединения: а — $\times 20$; б — $\times 50$

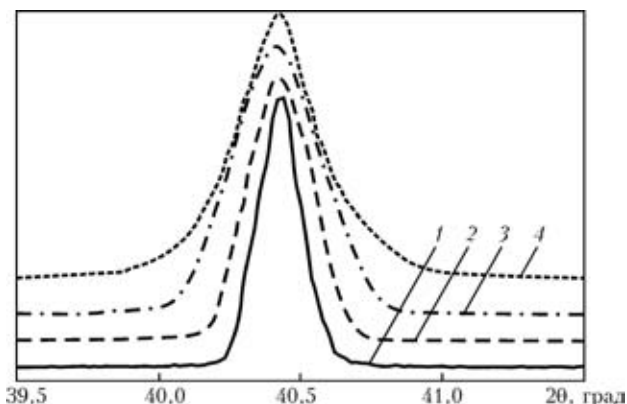


Рис. 4. Дифракционные профили $I_{q\parallel}$ отражений (110) в ОМ (1), ЗТВ (2), ЗС (3) и СШ (4)

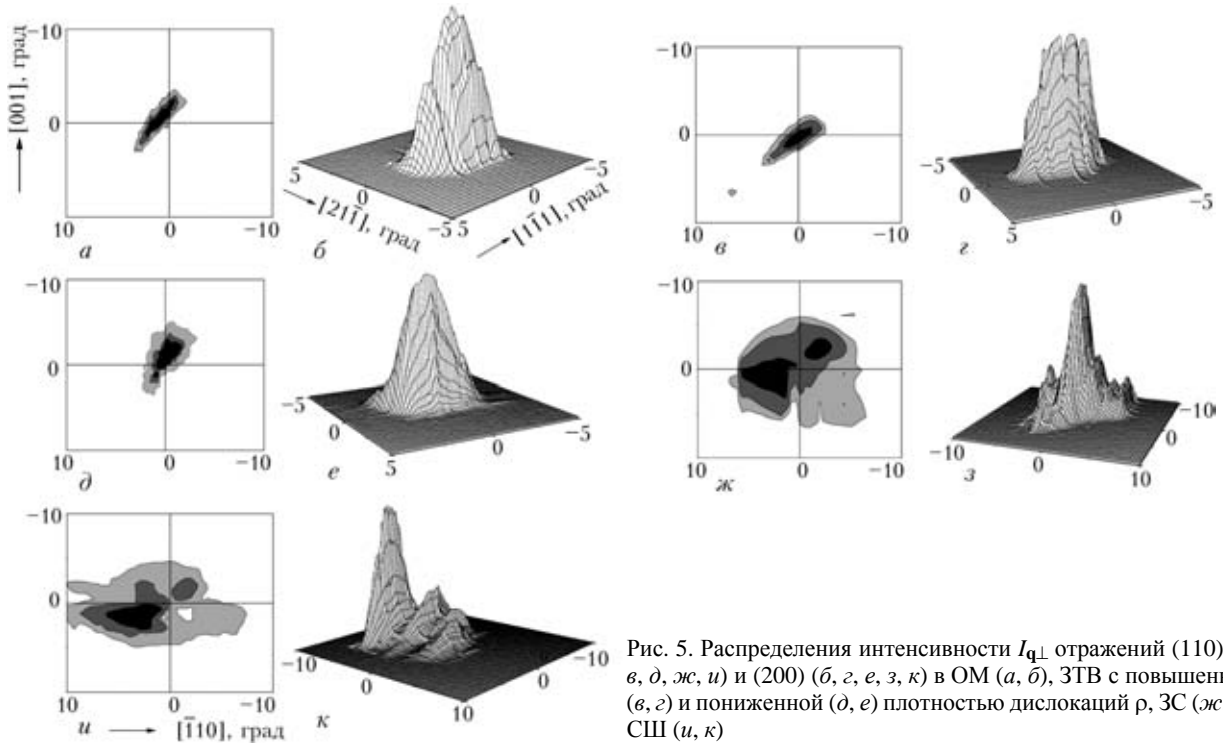


Рис. 5. Распределения интенсивности $I_{q\perp}$ отражений (110) (а, в, д, ж, и) и (200) (б, г, е, з, к) в ОМ (а, б), ЗТВ с повышенной (в, г) и пониженной (д, е) плотностью дислокаций ρ , ЗС (ж, з), СШ (и, к)

ченным для ОМ. В середине СШ (рис. 2, з) наблюдается увеличение объема несовершенных участков монокристалла (0,03...0,05 % общего объема материала), что может быть связано с наследованием металлом шва структуры участков со случайной ориентацией материала, расположенных в зоне сплавления.

Дифракционные профили $I_{q\parallel}$ отражений (110) представлены на рис. 4. Для ОМ, ЗТВ и ЗС форма распределения $I_{q\parallel}$ (рис. 4, кривые 1–3) близка к гауссовой кривой. Усредненная полуширина отражений $I_{q\parallel}$ в ЗТВ несколько возрастает (примерно в 1,1 раза) по сравнению с ОМ и более существенно (примерно в 2,5...3,0 раза) приближается

к аналогичному показателю ЗС. Форма рефлексов, полученных в центре СШ (рис. 4, кривая 4), изменяется: имеет повышение интенсивности на «хвостах» дифракционного профиля, распределение $I_{q\parallel}$ приближается к лоренцову. Полуширина распределений $I_{q\parallel}$ в СШ (0,5 мм от ЗС) и в ЗС практически одинакова (отличие составляет менее 6 %).

Характеристики распределения $I_{q\perp}$ рассмотрены на примере отражений (110) и (200). Изоинтенсивные (отражение (110)) и пространственные (отражение (200)) распределения $I_{q\perp}$ для этих рефлексов в различных зонах сварного соединения представлены на рис. 5. Значения ширины рефлексов в азимутальной плоскости для направления их максимального размытия во всех зонах сварного соединения приведены в таблице. На рис. 6 кривые 3, 4 построены на основании данных об изменении усредненной по всем рефлексам ширины отражения в направлении максимального $\delta_{q\perp\max}$ и минимального $\delta_{q\perp\min}$ азимутального размытия.

В ОМ (рис. 5, а, б) для всех исследованных отражений изоинтенсивные кривые $I_{q\perp}$ в азимутальной плоскости близки к эллиптическим. Для каждого отражения имеют место направления максимального и минимального уширения. Кристаллографический анализ направления уширения всех рефлексов показал, что разориентация элементов субструктуры в монокристалле происходит преимущественно вокруг направления, близкого к $[1\bar{1}1]$ ($[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$). Распределения $I_{q\perp\max}$ и $I_{q\perp\min}$ для отражения (110), аналогичные кривым качения в двух различных азимутальных направлениях

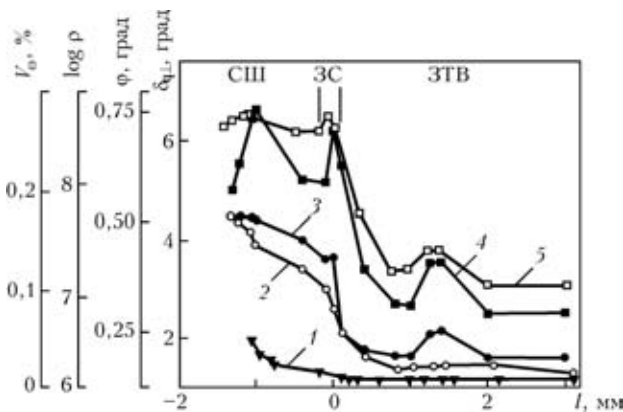


Рис. 6. Изменение экспериментальных (V_{ω} , $\delta_{q\perp\min}$, $\delta_{q\perp\max}$) и расчетных (ρ , φ) характеристик дислокационного ансамбля различных зон сварного соединения: 1 — объем металла V_{ω} произвольных ориентаций; 2 — средний угол φ разориентации фрагментов; 3, 4 — усредненное значение размытия в направлении соответственно минимального $\delta_{q\perp\min}$ и максимального уширения $\delta_{q\perp\max}$; 5 — плотность дислокаций ρ ; l — расстояние от поверхности сплавления

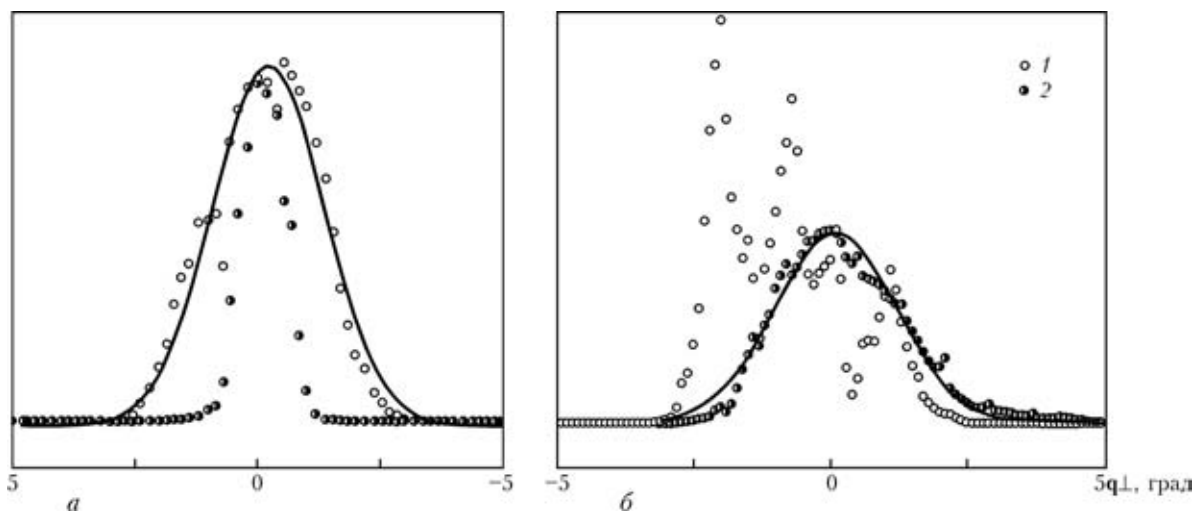


Рис. 7. Распределение интенсивности $I_{q_{\perp\max}}$ (1) и $I_{q_{\perp\min}}$ (2) отражения (200) в ОМ (а) и ЗС (б) (сплошная линия — гауссова кривая)

и типичные для ОМ, показаны на рис. 7, а. Форма распределения $I_{q_{\perp\max}}$ и $I_{q_{\perp\min}}$ для всех рефлексов близка к гауссовой кривой. При этом в направлении минимального уширения форма распределения $I_{q_{\perp\min}}$ (рис. 5, б и рис. 7, кривые 2) плавная, а в направлении максимального уширения (рис. 5, а и рис. 7, кривая 1) на профиле распределения $I_{q_{\perp\max}}$ иногда наблюдаются незначительные пики интенсивности с понижением ее значений на 4...12 % от максимального. Количество пиков интенсивности колеблется в различных отражениях и образцах от 3 до 6, а разориентация между ними составляет 0,05...0,12°.

Как видно из рис. 5, в—е, изоинтенсивные кривые $I_{q_{\perp}}$ в ЗТВ остаются близкими к эллиптическим, как и в ОМ. Сохраняется анизотропия полуширины распределений $I_{q_{\perp}}$ в различных направлениях азимутальной плоскости и направлении, вокруг которого происходит максимальный разворот рентгеновских отражений. Из таблицы и рис. 6 видно, что полуширина рефлексов в ЗТВ зависит от расстояния до ОМ. По этому параметру всю ЗТВ можно условно разделить на три участка. На первом участке ЗТВ, который следует за зоной

ОМ по направлению к ЗС, повышается полуширина распределений $I_{q_{\perp\max}}$ (рост усредненных значений составляет — приблизительно 2°) и менее интенсивно возрастает $\delta q_{\perp\min}$ (рост усредненных значений — приблизительно 1,2°). На втором участке, где область исследования перемещается ближе к ЗС, наблюдается понижение этих характеристик распределения интенсивности до значений, соответствующих ОМ, а для некоторых рефлексов и ниже. Понижение δq_{\perp} до значений меньших, чем в ОМ, вероятно, возможно из-за неоднородности исследуемой структуры. Вблизи ЗС, на третьем участке ЗТВ, полуширина отражений $I_{q_{\perp\max}}$ и $I_{q_{\perp\min}}$ снова возрастает и наиболее интенсивно для $I_{q_{\perp\max}}$. Изменения значений полуширины отражений в азимутальной плоскости сопровождаются преобразованиями формы распределений $I_{q_{\perp}}$ (см. рис. 5). Для первого участка ЗТВ с повышенной шириной отражений сохраняется гауссова форма распределения $I_{q_{\perp\min}}$ и усиливаются колебания интенсивности в направлении максимального уширения рефлексов. Для отражения (200) угловой интервал содержит пики интенсивности, составляющие около 1° (см.

Индексы плоскостей	$\delta q_{\perp\max}$ (град) в различных зонах сварного соединения								
	ОМ	ЗТВ на расстоянии от зоны сплавления, мм			ЗС	СШ на расстоянии от зоны сплавления, мм			
		1,2	1,0	0,4		0,10	0,50	1,00	1,25
(110)	2,20	3,75	2,35	3,51	5,05	5,00	8,00	7,90	5,70
(020)	2,81	4,00	3,10	3,40	6,94	5,95	5,84	6,05	5,29
(200)	3,32	3,97	2,25	3,72	6,45	5,57	5,40	5,55	5,25
(211)	2,30	3,53	2,24	3,34	6,36	5,38	8,15	6,45	6,56
($\bar{2}1\bar{1}$)	2,25	3,10	2,31	3,30	4,67	4,24	6,76	4,88	5,54
(121)	2,21	3,56	2,25	3,41	5,86	5,16	5,36	5,37	5,20
($\bar{1}2\bar{1}$)	2,25	3,14	2,42	4,02	4,71	4,67	5,70	5,41	4,93



рис. 5, з). Падение интенсивности между пиками составляет 3...19 % максимальной интенсивности, углы разориентации — 0,05...0,24°, количество пиков в направлении максимального размытия возрастает по сравнению с ОМ в 3...5 раз. Сохраняется различие между шириной рефлексов в направлениях максимального и минимального размытия. Для второй области ЗТВ с пониженной полушириной отражений распределения $I_{q\perp}$ приобретают вновь плавную форму во всех азимутальных направлениях (см. рис. 5, е). Падение интенсивности между редко наблюдаемыми пиками составляет 2...10 %, их количество уменьшается по сравнению с первой областью ЗТВ и колеблется от 2 до 5 в различных отражениях. Сохраняется разница в ширине рефлексов в направлениях максимального и минимального уширения $I_{q\perp}$. В третьей области ЗТВ, непосредственно прилегающей к ЗС, усиливаются колебания интенсивности в распределениях $I_{q\perp}$ всех рефлексов.

В ЗС полуширина распределений $I_{q\perp}$ (см. рис. 5, ж, з и рис. 6, кривые 3, 4) значительно возрастает во всех азимутальных направлениях, что ведет к сокращению разницы между ее значениями в направлении минимального и максимального уширения. Распределения $I_{q\perp\max}$ и $I_{q\perp\min}$ отражения (110) в двух различных азимутальных направлениях показаны на рис. 7, б. В ЗС характерным признаком формы отражений $I_{q\perp}$ являются хорошо выраженные колебания интенсивности. В распределениях $I_{q\perp}$ наблюдается сравнительно небольшое количество (4...12) крупных максимумов интенсивности с падением значений между пиками на 10...80 % его максимального значения. Крупные пики интенсивности довольно «гладкие», колебания интенсивности в них незначительны (4...10 %). Изоинтенсивные линии для крупных пиков принимают вид, близкий к окружностям, что существенно отличает их от аналогичных характеристик зон ОМ и ЗТВ.

Особенностью зоны металла СШ является рост полуширины отражений $I_{q\perp}$ (см. рис. 5, и, к и рис. 6, кривые 3, 4) в направлении минимального уширения, в то время, как по изменению полуширины отражений в направлении максимального уширения СШ можно разделить на три участка. В первом участке СШ, следующем за ЗС, наблюдается понижение максимальной полуширины отражения, во втором — ее рост, а в третьем, соответствующем центральной части шва, опять происходит понижение полуширины $I_{q\perp\max}$. Форма отражения в СШ характеризуется существенными колебаниями интенсивности. Падение интенсивности между крупными пиками составляет 50...80 % ее максимального значения, угол разориентации — 0,2...1,4°. В свою очередь крупные пики распределения $I_{q\perp}$ разбиты на более мелкие

(колебание интенсивности 5...15 %) с углами разориентации 0,10...0,25°.

Обсуждение результатов. Расположение основных рентгеновских рефлексов на полюсных фигурах различных участков сварного соединения свидетельствует о том, что при указанном выше технологическом режиме ЭЛС формируется монокристаллическое сварное соединение. Объем металла, в котором происходит нарушение монокристаллической структуры, не превышает 0,05 % общего объема исследуемого участка сварного соединения. Как видно из рентгеновских и металлографических исследований, дислокационная структура сварного соединения отличается полосовым зонным характером. Результаты рентгеновских исследований (изменение профиля и ширины рентгеновских рефлексов $I_{q\parallel}$ и $I_{q\perp}$) могут быть интерпретированы с позиций теории рассеяния рентгеновских лучей кристаллами, содержащими дислокации. Из работы [10] следует, что вид распределений $I_{q\perp}$ и $I_{q\parallel}$ определяется параметрами дислокационных ансамблей. Причем гауссово распределение интенсивности рентгеновского отражения вдоль дифракционного вектора и в азимутальной плоскости имеет место в том случае, когда ансамбли дислокации не создают дальнедействующих полей напряжений. Ширина отражений определяется выражениями:

$$\delta_{q\perp} \sim \varphi_1(\mathbf{b}, \mathbf{t}, \mathbf{q})\sqrt{\rho} \text{ и } \delta_{q\parallel} \sim \psi_1\sqrt{\rho} \operatorname{tg} \theta,$$

где θ — брэгговский угол; φ и ψ — ориентационные факторы, отражающие взаимные положения дислокаций с направлением вектора Бюргерса \mathbf{b} , линией дислокации \mathbf{t} , дифракционного вектора \mathbf{G} ($\mathbf{q} = \mathbf{G}/|G|$).

Ориентационный фактор φ задает ширину рефлексов в азимутальной плоскости и определяет возможную их анизотропию. Например, для кристаллов, содержащих винтовые дислокации, изоинтенсивные кривые в азимутальной плоскости представляют собой окружности, а для кристаллов, содержащих краевые дислокации — эллипсы; при этом φ определяет ширину этих распределений. Структуры с гауссовыми распределениями $I_{q\perp}$ и $I_{q\parallel}$ характеризуются равной вероятностью дислокаций с противоположными ($+\mathbf{b}$ и $-\mathbf{b}$) векторами Бюргерса и их хаотическим распределением или группированием в стенки по типу ячеистых.

Дислокационные структуры с дальнедействующими полями напряжений приводят к лоренцевой форме кривых $I_{q\parallel}$ и гауссовой $I_{q\perp}$ ($\delta_{q\perp} \sim \varphi_2(\mathbf{b}, \mathbf{t}, \mathbf{q})\varpi/D$, $\delta_{q\parallel} \sim \psi_2 D \sec \theta$, где ϖ — угол разориентации дислокационной стенки; D — среднее расстояние между стенками). Примером таких дислокационных ансамблей являются структуры с полигональными стенками. Постоянное значе-



ние распределения интенсивности $I_{q\perp}$ наблюдается, когда в кристалле есть избыток дислокаций одного знака ($\rho+$) (т. е. количество дислокаций с вектором Бюргера $+\mathbf{b}$ и $-\mathbf{b}$ не равно):

$$\delta_{q\perp} \sim \varphi_3(\mathbf{b}, \mathbf{t}, \mathbf{q})\rho+, \delta_{q\parallel} \sim \varphi_3\sqrt{\rho} \operatorname{tg} \theta.$$

Многопиковые или асимметричные кривые $I_{q\perp}$ возникают в случае, когда дислокационный ансамбль представляет собой существенно неоднородную, разориентированную, многоуровневую структуру, например, состоит из крупных фрагментов, разделенных между собой границами, которые содержат более мелкие блоки и (или) дислокации, а размеры фрагментов соизмеримы с площадью облучаемой области (например, классическая модель [12–14]). В таких многоуровневых дислокационных структурах не выполняется усреднение по всем параметрам статистического дислокационного ансамбля, требуемое в работе [15], что и вызывает пики (асимметрию) интенсивности в распределениях $I_{q\perp}$ (а иногда $I_{q\parallel}$). Форма распределения $I_{q\perp}$ существенно зависит от соотношения размеров и углов разориентации крупных фрагментов и блоков. В этом случае для оценки параметров структуры дислокационного ансамбля используют численные методы [16–20].

С учетом изложенных выше теоретических предпосылок, а также наличия в ОМ гауссового распределения $I_{q\parallel}$, $I_{q\perp}$ с незначительными пиками интенсивности в одном из азимутальных направлений и результатов оптической металлографии можно заключить, что дислокационная структура исходного монокристалла преимущественно состоит из хаотически расположенных краевых дислокаций с направлениями векторов Бюргера $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ ($[\bar{1}11]$). Усредненная полуширина распределения (около $2,5^\circ$) в условиях эксперимента соответствует плотности дислокаций приблизительно $1 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$, а незначительные пики интенсивности — субграницам со средним углом разориентации приблизительно $0,1^\circ$. В структуре ОМ встречаются единичные высокоугловые границы. Таким образом, ОМ соответствует характерному строению крупногабаритных металлических монокристаллов, полученных двойным электронно-лучевым переплавом.

В ЗТВ на расстоянии 1,1...1,6 мм от ЗС наблюдается первый максимум значений $\delta I_{q\parallel}$ и $\delta I_{q\perp}$. Гауссова форма распределений $I_{q\parallel}$ и $I_{q\perp \min}$, увеличение количества числа пиков и незначительные колебания интенсивности $I_{q\perp \max}$ вместе с микроструктурными исследованиями позволяют считать, что в этой области ЗТВ формируются дислокационные границы ячеистого типа без дальнедействующих полей напряжений, разориентировка которых создается за счет сплетения дислокаций разного знака. По сравнению с ОМ ус-

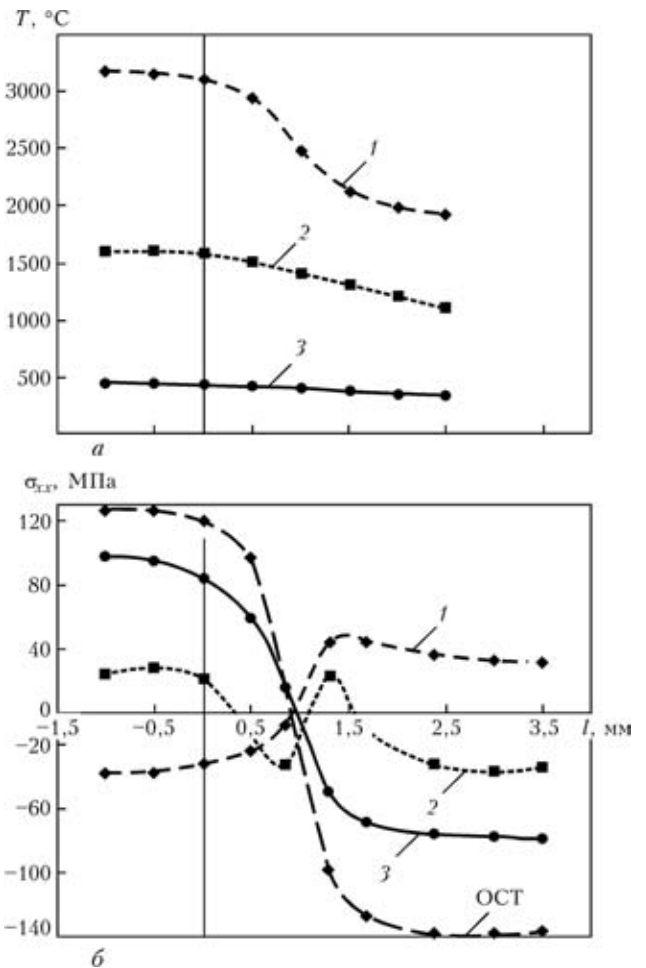


Рис. 8. Расчетная оценка изменения температуры T (а) и распределения напряжений σ_{xx} (б) в поперечном сечении сварного соединения монокристалла вольфрама толщиной 1 мм после прохождения источника плавления в течение 1 (1), 3 (2) и 15 с (3)

редненная полуширина отражений увеличивается на $1,1^\circ$, а плотность дислокаций — в 4...5 раз, средний угол разориентации субграниц составляет приблизительно $0,151^\circ$. На расстоянии 0,4...0,9 мм от ЗС, а именно, ближе к СШ, плотность дислокаций понижается до исходного значения, а характер распределения их в структуре монокристалла близок к хаотическому. Понижение плотности дислокаций в ЗТВ и последующее ее повышение как в области, расположенной дальше, так и ближе к ЗС, связано с особенностями напряженно-деформированного состояния ЗТВ. На рис. 8 приведена расчетная оценка изменения температуры и распределения сварочных напряжений по разным зонам сварного соединения*. ЗС делит сварное соединение на сравнительно низкотемпературную (ЗТВ) и высокотемпературную (СШ) области формирования структуры. В низкотемпературной области преобладают сжимающие напряжения, а в высокотемпературной — растягиваю-

* Расчеты выполнены канд. физ.-мат. наук Е. А. Великоиваненко (ИЭС им. Е. О. Патона).



щие. Соотношение между значениями этих напряжений и размерами указанных областей зависит от режимов сварки. В ЗТВ существует область с напряжениями, имеющими значения, близкие к нулю, здесь сжимающие напряжения переходят в растягивающие. Быстрый нагрев узкой зоны в месте сварки до температуры плавления $T_{пл}$ с последующим выравниванием последней приблизительно до $0,4T_{пл}$ по всему сечению соединения обеспечивает релаксацию напряжений в переходной области и формирование дислокационного ансамбля с параметрами, близкими к ОМ.

Следующий максимум $\delta_{q\parallel}$ и $\delta_{q\perp}$ наблюдается в ЗС. Рост значений $\delta_{q\parallel}$ и $\delta_{q\perp}$ сопровождается уменьшением анизотропии ширины распределений $I_{q\perp}$. В соответствии с влиянием ориентационного фактора на характер изоинтенсивных линий в азимутальной плоскости уменьшение анизотропии уширения рефлексов при увеличении их полуширины связано с ростом плотности дислокаций ряда систем скольжения с векторами Бюргерса ($[111]$, $[11\bar{1}]$). Иными словами, изменение формы изоинтенсивных линий $I_{q\perp}$ происходит за счет изменения напряженного состояния ЗС по сравнению с ЗТВ, что вызывает рост значений фактора Шмида [21] в большем количестве систем скольжения, чем в ЗТВ. Увеличение плотности дислокаций ряда систем скольжения без преобладания какой-либо из них, указывает на симметрию напряженного состояния. Многопиковые распределения $I_{q\perp}$ и микроскопические исследования показали формирование субзеренной структуры со средними углами разориентации около $0,3^\circ$, усредненное значение $\delta_{q\perp, \max}$ возросло по сравнению с ОМ приблизительно на $3,3^\circ$, а суммарная плотность дислокаций в ЗС по сравнению с ОМ — приблизительно в 50 раз ($5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$).

В СШ неоднородный полосовой характер дислокационной структуры сохраняется. Неоднородность его структуры, как и в других зонах сварного соединения, наблюдается в направлении, перпендикулярном ЗС. Режимы ЭЛС, определяющие характер напряженно-деформированного состояния и время пребывания в области высоких температур разных участков СШ и являются факторами, от которых зависит полосовой характер дислокационной структуры. За пределами ЗС $\delta_{q\perp}$ сначала уменьшается (усредненное значение около 1°), затем возрастает примерно на $1,3^\circ$ и вновь уменьшается в центре СШ приблизительно на $2,3^\circ$ по сравнению с ЗС. В СШ анизотропия уширения в различных азимутальных направлениях еще меньше, чем в ЗС, а в центре СШ усредненные значения уширений в различных азимутальных направлениях равны, что означает близость значений продольных и поперечных напряжений. Форма распределения $I_{q\perp}$ соответствует структуре

с четкими субграницами, средний угол разориентации между крупными фрагментами субструктуры составляет около $0,50^\circ$, а между субзернами — около $0,15^\circ$. Форма распределения $I_{q\parallel}$ имеет вид лоренцовой кривой, что также отражает изменение характера дислокационного ансамбля по сравнению с ЗТВ и ЗС. Значительная фрагментация рентгеновских рефлексов в азимутальной плоскости и результаты микроскопических исследований позволяют классифицировать дислокационную структуру в центре СШ как хорошо полигонизованную. В ней преобладают субграницы с дальнедействующими полями напряжений типа полигональных стенок. В этой части шва релаксационные процессы доминируют, а плотность дислокаций снижается.

Вероятно, выявленные особенности субструктуры сварного соединения обуславливают волнообразный характер распределения примесей внедрения, исследованный авторами ранее [19].

В заключение следует отметить, что распределение интенсивности рентгеновских рефлексов $I_{q\perp}$, $I_{q\parallel}$, которые зависят от плотности дислокаций, характера их расположения и других параметров дислокационного ансамбля, позволяют оценить релаксационные процессы, происходящие в различных зонах сварного соединения, и прогнозировать качество зон сварных соединений монокристаллов.

Выводы

1. С помощью рентгеновских и металлографических методов изучено совершенство структуры различных зон сварного соединения монокристаллов вольфрама. Показано, что при использовании ЭЛС возможно получение сварных соединений с сохранением монокристаллической структуры основного металла.

2. Сварное монокристаллическое соединение характеризуется полосовой неоднородной дислокационной структурой, в которой плотность дислокаций неравномерно изменяется от ОМ к центру СШ, что связано с неоднородностью сварочных термомодеформационных полей. В ЗТВ, ЗС и СШ наблюдаются участки с более высокой плотностью дислокаций, чем на близлежащих участках сварного соединения. Значения плотности дислокаций в этих участках определяются режимом ЭЛС.

3. Монокристаллическая структура сварного соединения характеризуется изотропным уширением рентгеновских рефлексов в азимутальной плоскости, что свидетельствует о наличии объемно-напряженного состояния. При этом формируется многоуровневая дислокационная структура, основным признаком которой является образование полигональных границ.



1. Петров Г. Л., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов. — М.: Высш. шк., 1977. — 392 с.
2. Структура, текстура и механические свойства деформированных сплавов молибдена / В. И. Трефилов, Ю. В. Мильман, Р. К. Иваненко и др. / Под ред. В. И. Трефилова. — Киев: Наук. думка, 1983. — 232 с.
3. Связь кристаллографических текстур основного металла и сварочного шва на низколегированных сплавах молибдена / М. М. Нероденко, Е. П. Полищук, Ю. В. Мильман и др. // Автомат. сварка. — 1978. — № 12. — С. 12–16.
4. Особенности кристаллизации и разрушения сварных соединений тонколистовых молибденовых и ниобиевых сплавов / М. М. Нероденко, Е. П. Полищук, М. Д. Робина и др. // Там же. — 1979. — № 11. — С. 14–18.
5. Stray grain formation in single crystal Ni-base superalloy welds / J.-W. Park, S. S. Babu, J. M. Vitek et al. // J. Appl. Phys. — 2003. — **94**, № 6. — P. 4203–4209.
6. Особенности кристаллического строения сварных соединений монокристаллов / Б. А. Задерий, С. С. Котенко, Е. П. Полищук и др. // Автомат. сварка. — 2003. — № 5. — С. 14–21.
7. Горелик С. С., Распоргуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронномикроскопический анализ. — М.: Металлургия, 1970. — 92 с.
8. Хейкер Д. М., Зевин Л. С. Рентгеновская дифрактометрия. — М.: Физматгиз, 1963. — 380 с.
9. Карасевская О. П. Ориентационный рентгеновский экспериментальный метод фазового анализа поликристаллов // Металлофизика и новейшие технологии. — 1999. — **21**, № 8. — С. 34–39.
10. Методические особенности рентгеновского определения параметров дислокационной структуры монокристаллов / О. П. Карасевская, В. В. Петьков, С. В. Ульшин, Е. И. Берсудский // Завод. лаб. — 1995. — **61**, № 3. — С. 18–21.
11. Fewster P. F. Insight into polycrystalline materials with ultrahigh resolution and reciprocal space mapping. Commission on power diffraction // Microstructure of Materials. — 2000. — № 23. — P. 17–19.
12. Wilkens M., Herz K., Mughrabi H. An X-ray diffraction study of cyclically and of unidirectionally deformed copper single // Z. Metallkd. — 1980. — **71**, № 6. — S. 376–384.
13. X-ray line-broadening study of the dislocation cell structure in deformed [001]-oriented copper single crystals / T. Ungar, H. Mughrabi, D. Ronnpagel, M. Wilkens // Asta Met. — 1984. — № 32. — P. 333–342.
14. Krivoglaz M. A. X-ray and neutron diffraction in nonideal crystals. — Berlin: Springer-Verl., 1996. — 402 p.
15. Карасевская О. П. Многоуровневые структуры // Металлофизика и новейшие технологии. — 2000. — **22**, № 11. — С. 44–53.
16. Breuer D., Klimanek P., Pantleon W. J. X-ray determination of dislocation density and arrangement in plastically deformed copper // J. Appl. Crystallogr. — 2000. — № 33. — P. 1284–1294.
17. White microbeam diffraction from distorted crystals / R. Barabash, G. E. Ice, B. C. Larson et al. // J. Appl. Phys. — 2001. — **79**, № 6. — P. 749–751.
18. Deformation in the heat affected zone during spot welding of a nickel-based single crystal / O. M. Barabash, S. S. Babu, S. A. David et al. // Ibid. — 2003. — **94**, № 1. — P. 738–742.
19. Задерий Б. А., Смян О. Д., Котенко С. С. Распределение примесей внедрения и совершенство структуры в сварных соединениях монокристаллов // Автомат. сварка. — 1995. — № 4. — С. 31–36.
20. Deformation behavior of beta-titanium alloys / O. P. Karasevskaya, O. M. Ivasishin, S. L. Semiatin, Yu. V. Matviyehuk // Mater. Sci. and Eng. — 2003. — № A354. — P. 121–132.
21. Шмид Е., Боас В. Пластичность кристаллов, в особенности металлических. — М., Л.: ГОНТИ ККТП СССР, 1938. — 316 с.

Methods of X-ray analysis and optical metallography were used to study the structure of tungsten single crystal (99.99 wt. %), subjected to local melting (welding) by the electron beam in vacuum. Data were obtained on crystallographic orientation of different zones of the welded joint relative to the base material. Evaluation of the density and distribution of dislocations in these zones has been conducted. A zonal non-uniform multi-level distribution of dislocations in the welded joint is found. The found changes of parameters of the dislocation ensembles are attributed to the features of running of the thermo-deformational process in welding.

Поступила в редакцию 01.03.2005

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ СВАРНЫХ БАЛЛОНОВ

Технология разработана в ИЭС им. Е. О. Патона и направлена на решение двух приоритетных задач: снижение удельной массы и повышение эксплуатационной надежности. Новизна заключается в слоистом устройстве стенки баллонов и рациональном сочетании металлов с разными физико-механическими свойствами.

Новый подход к технологии изготовления баллонов позволяет применять металлы с высокой удельной прочностью и, следовательно, уменьшить массу изделий на 30...50 %; повысить эксплуатационную надежность путем сведения к минимуму несовершенства конструкции; сделать технологию простой и доступной для осуществления в заводских условиях. Зарубежные аналоги отсутствуют.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11, отд. № 12
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 529 06 90, 261 50 58
E-mail: yupeter@ukr.net



ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДНОГО КОНТУРА ПЛАЗМЕННО-ДЕТОНАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

Чл.-кор. НАН Украины **М. Л. ЖАДКЕВИЧ**, **Ю. Н. ТЮРИН**, д-р техн. наук,
О. В. КОЛИСНИЧЕНКО, канд. техн. наук, **В. М. МАЗУНИН**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена физико-математическая модель ускорения детонационной волны и проведены расчеты газодинамических характеристик плазменных струй, генерируемых плазменно-детонационной установкой. Проанализировано влияние электрических параметров разрядного контура на температуру и скорость плазмы за детонационной волной. Установлено, что уменьшение индуктивности приводит к значительному росту указанных характеристик плазмы.

Ключевые слова: импульсно-плазменный поток, амплитудно-временные характеристики, плазма, параметры электрической цепи

Одним из основных путей решения задачи, связанной с увеличением срока службы деталей машин или их восстановлением, является разработка и применение технологий химико-термической обработки и газотермического напыления поверхностей изделий, использующих концентрированные источники энергии. С этой целью широко применяют способы непрерывной обработки и напыления — газопламенный, дуговой, плазменный. В последнее время особое внимание уделяется разработкам импульсно-плазменных технологий с применением импульсно-плазменных установок для получения высокоэнтальпийных потоков плазмы как при обработке поверхности твердых тел, так и нанесении функциональных покрытий.

В рассматриваемом в настоящей работе импульсном плазменном генераторе используется детонация горючей газовой смеси (C_3H_8 , O_2 , воздух) для создания условий электрического пробоя. Ускорение плазмы в генераторе происходит за счет комплексного воздействия газодинамических и электромагнитных сил.

После осуществления режима детонационного сгорания горючей газовой смеси детонационная волна проходит по кольцевому зазору канала импульсной детонационной установки, образованной двумя коаксиальными электродами, между которыми создана разность потенциалов. Принципиальная схема генератора представлена на рис. 1. За детонационной волной по продуктам детонации протекает электрический ток, при этом выделяется дополнительное тепло. В результате развития разряда за детонационной волной сле-

дует ударно-сжатая плазма, нагретая импульсным разрядом. Для регистрации импульсного напряжения и тока между коаксиальными электродами (рис. 2) применяли делитель напряжения и пояс Роговского с интегрирующим звеном [1]. В качестве прибора, регистрирующего указанные параметры, использовали двулучевой запоминающий осциллограф С8-17. Основная часть заряда конденсаторов расходуется на нагрев и ионизацию продуктов детонации и дальнейшее ускорение образовавшейся ударно-сжатой области плазмы. Затухающий колебательный процесс проходит по ионизированным продуктам детонации до тех пор,

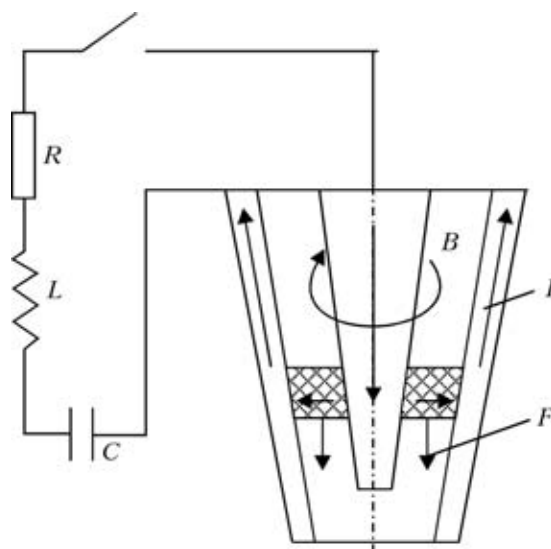


Рис. 1. Схема генератора импульсной плазмы: R , L , C — соответственно сопротивление, индуктивность и емкость разрядного контура; B — индукция магнитного поля, I , F — соответственно ток и сила магнитно-газодинамического ускорения, создаваемые при разряде емкостного накопителя энергии

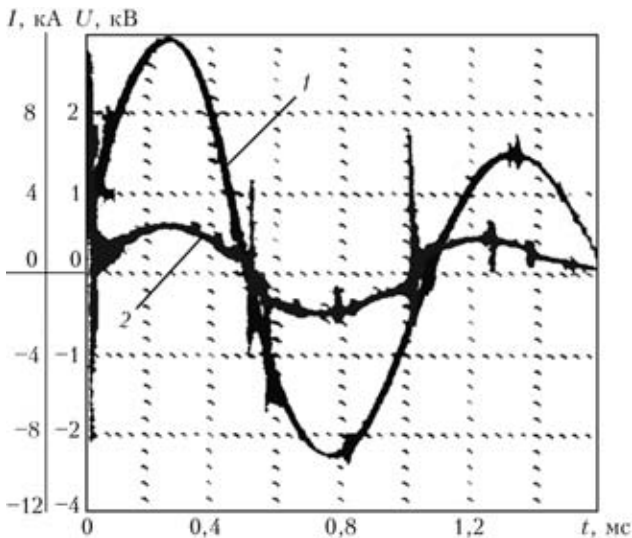


Рис. 2. Распределение тока I (1) и напряжения U (2) в генераторе импульсной плазмы при разряде емкостного накопителя энергии: $C = 800$ мкФ; $U = 2800$ В; $L = 30$ мкГн

пока весь прореагировавший газ не покинет межэлектродный объем плазменного генератора. По кривым затухания экспериментально определено, что сопротивление межэлектродного промежутка изменяется в пределах $0,04 \dots 0,10$ Ом.

С целью оптимизации импульсно-плазменной технологии и определения влияния геометрии коаксиального ускорителя и электрических параметров разрядной цепи разработана расчетная модель ускорения детонационной волны в детонационной импульсно-плазменной установке, а также определены параметры плазмы.

При составлении методики учитывалось, что в ускорителях высокого давления одну из основных ролей в ускорении рабочего газа играют не только силы электромагнитного взаимодействия, но и термодинамические процессы преобразования джоулевой теплоты в кинетическую энергию. Если при давлении ниже атмосферного для расчета динамики плотной плазмы достаточно учитывать только магнитное давление (используется при расчете устройств типа плазменного фокуса [2]), то при высоком давлении важным механизмом, способствующим ускорению плазмы, является омический нагрев токового слоя [3], при этом необходимо рассматривать весь межэлектродный объем плазменного генератора, пройденный фронтом разряда.

Для получения приближенного решения, учитывающего указанные основные физические механизмы и пригодного для инженерных расчетов, приняты следующие упрощения.

1. Энергия за детонационной волной, потребляемая на диссоциацию молекул и ионизацию, пренебрежимо мала по сравнению с энергией электромагнитного поля и химической энергией,

высвобождающейся при прохождении детонационной волны.

2. За детонационной волной проводимость плазмы носит электронный характер и определяется по формуле Фроста [4], являющейся простейшей интерполяцией между лоренцевской и спитцеровской асимптотиками:

$$\sigma = \frac{n_e e^2}{3kT} \frac{v_e^2}{(v_{ei}/\gamma_s) + v_{ea}}, \quad (1)$$

где n_e — концентрация электронов; e — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; T — температура термически равновесной плазмы; v_e — тепловая скорость электрона; $\gamma_s = 0,582$ — спитцеровский множитель для однократно ионизованной плазмы [5]; v_{ei} , v_{ea} — частота столкновения электронов соответственно с ионами и атомами, определяемая через сечения рассеивания [6, 7].

3. Для упрощения задачи использовался гидравлический подход, предполагающий осреднение параметров потока в каждом сечении межэлектродного канала. При этом поверхность фронта детонационной волны будет состоять из отрезков, расположенных по нормам к электродам. Векторы плотности электрического тока j и напряженности поля E перпендикулярны образующей электрода, а вектор скорости v потока параллелен.

Динамику детонационной волны описывали с помощью метода Уизема [8], характеризующего изменение числа Маха детонационной волны M_d в зависимости от пройденного ею расстояния. Для решения задачи использовали дифференциальное уравнение, записанное в безразмерном виде для газодинамических параметров при прохождении детонационной волны, выраженных через M_d [9]:

$$\left(1 + \sqrt{\frac{\gamma}{(\gamma - z)(1 + z)}}\right) (1 + z + \sqrt{\gamma(\gamma - z)(1 + z)}) \frac{dz}{d\xi} = k(1 - z)^2 \sqrt{1 - z^2} - \gamma(1 - z^2) \frac{1}{A} \frac{dA}{d\xi}, \quad (2)$$

где $z = \sqrt{1 - (M_j^2/M_d^2)}$ — безразмерная величина; M_j — число Маха волны Чепмена–Жуге, являющееся характеристикой горючей смеси и определяемое количеством тепла, выделяющегося при сгорании единицы массы исходной смеси; $\xi = l/l_k$ — безразмерная величина (здесь l — расстояние вдоль образующей до места инициирования детонационной волны; l_k — длина канала вдоль образующей); $k = \frac{\sigma E(t)^2 (\gamma - 1)(\gamma + 1)^2 l_k}{\gamma a_0 p_0 M_j^3}$ —

функция, характеризующая протекание тока через ускоритель; γ — показатель адиабаты продуктов реакции; a_0 — скорость звука в детонирующей смеси; p_0 — начальное давление; $A = A(l)$ — пло-



щадь перпендикулярного сечения кольцевого зазора по оси l .

Для решения дифференциального уравнения (2) применялся численный метод Кутты–Мерсона. Зависимость $E(t)$ рассчитывали с использованием экспериментальных данных. Начальному условию соответствует $z(0) = 0$. По известному значению $z(\xi)$ скорость детонационной волны и газодинамические параметры ударно-сжатой области определяются по следующим формулам:

скорость детонационной волны

$$D = \frac{a_0 M_j}{\sqrt{1 - z^2}};$$

плотность продуктов детонации непосредственно за ударной волной

$$\rho = \rho_0 \frac{\gamma + 1}{\gamma - z};$$

осредненное значение скорости газа за детонационной волной в направлении оси l

$$v = \frac{M_j a_0}{\gamma + 1} \sqrt{\frac{1 + z}{1 - z}};$$

давление продуктов детонации непосредственно за детонационной волной

$$p = \frac{\gamma p_0 M_j^2}{(\gamma + 1)(1 - z)};$$

скорость звука в продуктах детонации непосредственно за детонационной волной

$$a = \frac{M_j a_0}{\gamma + 1} \frac{\sqrt{\gamma(\gamma - z)}}{(1 - z)}.$$

С помощью представленной математической модели проведены расчеты характеристик сверхзвукового потока, формируемого в плазменно-детонационной установке в зависимости от электрических параметров цепи разряда.

На основе анализа полученных расчетных кривых (рис. 3) можно сделать вывод, что основное влияние на нагрев и ускорение ионизированных продуктов сгорания при рассматриваемых электрических параметрах оказывает индуктивность электрической цепи разряда. Возрастание вкладываемой энергии в импульс за счет изменения модификации напряжения и емкости конденсаторных батарей позволяет увеличить длительность процесса модификации поверхности изделия. Увеличение же индуктивности электрической цепи разряда при неизменных емкости и напряжении существенно снижает значения параметров плазмы (скорости, температуры) на выходе из плазменного генератора.

Как показала практика, использование рассматриваемого импульсного плазменно-детона-

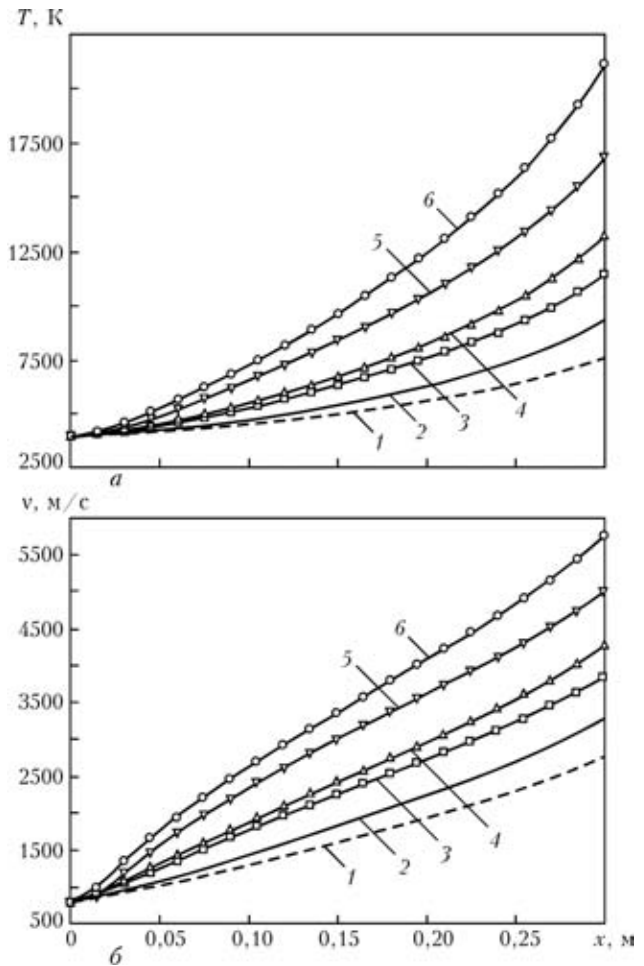


Рис. 3. Изменение температуры (а) и скорости (б) плазмы за детонационной волной по мере прохождения межэлектродного промежутка: 1 — $U = 2800$ В; $C = 1000$ мкФ; $L = 30$ мкГн; 2 — 3500 В; 1000 мкФ; 30 мкГн; 3 — 3200 В; 800 мкФ; 15 мкГн; 4 — 3200 В; 1000 мкФ; 15 мкГн; 5 — 3200 В; 800 мкФ; $7,5$ мкГн; 6 — 3500 В; 800 мкФ; $7,5$ мкГн

ционного генератора при низкой (менее 10 мкГн) индуктивности цепи разряда приводит к уменьшению ресурса работы коаксиальных электродов по причине значительного (свыше 25 кА) увеличения тока пробоя межэлектродного промежутка. При этом температура плазмы (рис. 3, а) достигает 20000 К и выше. В случае применения плазменного генератора с целью создания импульсных плазменных струй для нагрева и ускорения порошков с последующим формированием функциональных покрытий целесообразно использовать следующие электрические параметры: $U = 3000 \dots 3500$ В; $C = 800 \dots 1000$ мкФ; $L = 15$ мкГн. При этом температура плазмы не превышает 12000 К, а ее скорость достигает 4500 м/с, что является достаточным для нагрева и ускорения порошка. Значения электрических параметров зависят от фракции напыляемого порошка и теплофизических свойств его материала.

Эффективно использование плазменно-детонационных генераторов для химико-термической



обработки поверхности инструментов и деталей машин [10]. В процессе воздействия высокоинтенсивным тепловым потоком, создаваемым плазменным генератором, происходит нагрев поверхности с последующим охлаждением путем отвода тепла как в окружающую среду, так и в материал. В результате этого в поверхностном слое происходят фазовые превращения. На свойства термупроченного слоя (толщину, фазовый состав, физико-механические характеристики) в первую очередь влияют энергия теплового потока и длительность его воздействия. Длительность теплового потока при импульсно-плазменной обработке регулируется индуктивностью электрической цепи разряда ($L = 25 \dots 50$ мкГн) и составляет $0,5 \dots 0,8$ мс. Значения энергии теплового потока $q = 4 \cdot 10^4 \dots 1,5 \cdot 10^5$ Вт/см², зависящие от температуры и скорости плазменной струи, подбирают в соответствии с изменением напряжения на обкладках конденсаторной батареи ($U = 2800 \dots 3500$ В) и ее емкости ($C = 800 \dots 1200$ мкФ). Используемые режимы позволяют получать на углеродистых сталях упрочненные слои толщиной до 70 мкм. При этом сохраняется значительный ресурс электродов плазменного генератора.

Выводы

1. Экспериментально найдено распределение тока и напряжения в плазменно-детонационном генераторе, работающем в импульсном режиме.

2. Проведен анализ влияния электрических параметров разрядного контура на газодинамические характеристики плазмы непосредственно за детонационной волной.

3. С использованием экспериментальных данных и теоретических положений разработана расчетная модель, позволяющая оценить параметры плазмы, необходимые как для расчета нагрева и ускорения порошков в плазменно-детонационном устройстве в случае нанесения покрытий, так и для определения тепловых потоков в изделие при реализации технологии импульсно-плазменного упрочнения поверхности инструмента и деталей машин.

1. *Андельфингер К.* Методы исследования быстропротекающих процессов в физике плазмы // Физика быстропротекающих процессов в физике плазмы. — М.: Мир, 1971. — 360 с.
2. *Вихрев В. В., Брагинский С. И.* Вопросы теории плазмы. — М.: Атомиздат, 1980. — Вып. 10. — 318 с.
3. *Гурович В.Ц., Десятков Г. А., Спектров В. Л.* Особенности движения токовой оболочки и ударной волны в импульсном ускорителе высокого давления // Докл. АН СССР. — 1987. — **293**, № 5. — С. 1102–1105.
4. *Товстомят-Нелип И. И., Тригер С. А.* К теории электропроводности частично ионизованной плазмы // Теплофизика высоких температур. — 1988. — **26**, вып. 3. — С. 417–435.
5. *Спитцер Л.* Физика полностью ионизованного газа / Пер. с англ. — М.: Мир, 1965. — 212 с.
6. *Райзер Ю. П.* Физика газового разряда. — М.: Наука, 1992. — 536 с.
7. *Физика и техника низкотемпературной плазмы / С. В. Дресвин, А. В. Донской, В. М. Гольдфарб, В. С. Клубничкин.* — М.: Атомиздат, 1972. — 352 с.
8. *Уизем Дж.* Линейные и нелинейные волны. — М.: Мир, 1977. — 624 с.
9. *Тюрин Ю. Н.* Основы технологии поверхностного упрочнения изделий плазмой электрического разряда: Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 1997. — 485 с.
10. *Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Циганков Н. Г.* Импульсно-плазменное упрочнение инструмента // Автомат. сварка. — 2001. — № 1. — С. 38–44.

A physico-mathematical model of a detonation wave acceleration is proposed, and calculations of gas-dynamic characteristics of plasma jets generated by a plasma-detonation unit have been performed. Influence of electrical parameters of the discharge circuit on the temperature and velocity of the plasma behind the detonation wave has been analyzed. It is established that decrease of the induction leads to a considerable increase of the above plasma characteristics.

Поступила в редакцию 23.02.2006,
в окончательном варианте 19.04.2006



КОНТАКТНАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВО-СТАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПРОСЛОЕК

В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, А. В. ЛОЗОВСКАЯ, кандидаты техн. наук,
А. А. НАКОНЕЧНЫЙ, А. Г. САХАЦКИЙ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана новая технология контактной сварки алюминия со сталью применительно к изготовлению биметаллических переходников токоведущих шин большого сечения, используемых в электролизерах при производстве алюминия. Изучен механизм деформации пакета и формирования сварного соединения. Изготовлена экспериментальная установка и блок управления процессом сварки.

Ключевые слова: контактная сварка сопротивлением, токоведущие шины, биметаллические переходники, композитная прослойка, технология

Разработка технологии прессовой сварки алюминия со сталью обусловлена необходимостью применения биметаллических токопроводящих шин большого сечения. Особый интерес представляет контактная сварка пакета алюминиевых пластин со стальной шиной сплошного сечения, что трудно осуществимо другими способами сварки.

Как показал опыт, высокая прочность сварных алюминий-стальных соединений достигается при толщине интерметаллидного слоя не более 6 мкм. Необходимо отметить, что механические свойства сварных соединений в значительной степени зависят от условий формирования интерметаллидных фаз. Они сохраняют удовлетворительный уровень лишь на начальной стадии процесса сварки, когда происходит поперечный рост интерметаллидной фазы. Получить качественное соединение указанных разнородных металлов позволяют лишь те способы сварки, у которых термический цикл не превышает температурно-временных условий образования интерметаллидов. Указанным требованиям в наибольшей мере соответствует сварка давлением. При изготовлении алюминий-стальных переходников получили распространение такие способы соединения, как сварка взрывом, трением, магнитно-импульсная, контактная сварка сопротивлением и оплавлением, а также прокатка. Все эти способы применимы в случае сварки изделий ограниченных типоразмеров, но не пригодны для получения биметаллических соединений больших сечений и сложной конфигурации. Помимо этого, существенные ограничения накладывают высокая стоимость используемого оборудования и сложность его эксплуатации.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения алюминий-стальных переходников токоведущих шин большого сечения, в частности катодных узлов электролизеров для производства алюминия. К такому узлу предъявляются следующие требования: сопротивление на разрыв на уровне основного металла — алюминия АД1; стабильно низкое переходное электрическое сопротивление; возможность продолжительной работы при повышенных температурах и ударных механических нагрузках под действием электромагнитных сил.

Отработку контактной сварки осуществляли на образцах размером 120×70×40 мм, состоящих из 20 листов алюминия АД1 толщиной 1 мм и двух пластин из стали 20 толщиной 10 мм, представляющих собой натурные образцы переходников катода электролизера (рис. 1). В промежутки между алюминиевыми и стальными пластинами были вставлены специальные деформируемые композитные прослойки, заполненные неэлектропроводным флюсом. Особенности формирования соединения изучали на стыковых образцах диаметром 25 мм.

С целью защиты зоны сварки от окисления, очистки от оксидов и активации поверхностей соединяемых металлов применяли флюс системы KF-AlF₃. Для проведения экспериментов была осуществлена модернизация сварочного пресса К602, разработаны специализированные блоки управления процессом сварки и оснастка, позволяющая выполнять сварку пакета алюминиевых и стальных пластин с использованием флюса.

Как известно, применение сварки давлением в твердой фазе позволит уменьшить или избежать формирования сплошной интерметаллидной прослойки. Однако такой способ сварки требует высоких сдвиговых деформаций и ограничений массогабаритных показателей сварочных машин и

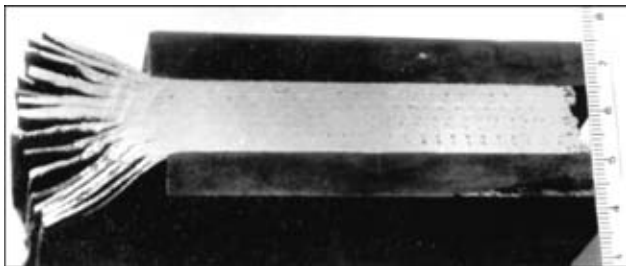


Рис. 1. Натурный образец алюминиево-стального переходника катода электролизера

используется только для сварки изделий небольших сечений [1]. Применение способов сварки, при которых активация поверхности происходит вследствие смачивания жидкой фазой, вызывает неизбежное образование интерметаллидной прослойки из-за существенного тепловложения в зону соединения, что связано со значительными теплоемкостью, тепло- и электропроводностью алюминия. Для изделия типа алюминиево-стального переходника электролизера, в котором сваривается одновременно внахлест пакет алюминиевых пластин между собой и со стальными пластинами с большой площадью поверхности, добиться стопроцентной свариваемости можно только при наличии жидкой фазы в зоне соединения. При этом необходимо ограничить тепловложение и температуру сварки, чтобы избежать превышения латентного периода образования интерметаллидной прослойки.

При разработанном способе сварки происходит активация контактной поверхности смачивания жидкой фазой и пластическая деформация, что дает возможность уменьшить температуру и время сварки, а также пластическую деформацию. Этот способ сварки основан на применении мелкодисперсных активаторов, которые добавляются в сварочный флюс с целью обеспечения образования жидкой эвтектической фазы при температуре ниже температуры плавления алюминия. В качестве активаторов использовали присадку из мелкодисперсных порошков кремния, меди или цинка. Стыковые алюминиево-стальные образцы испытывали на разрыв, а сваренные внахлест — на сдвиг. При этом измеряли переходное электросопротивление сварного шва.

На рис. 2 показаны изменения значений напряжения на дуге U_d , сварочного тока $I_{св}$ и мощности Q , выделяемой за время t сварки в стыковых образцах диаметром 25 мм при усилии осадки 10 МПа.

С целью выявления особенностей формирования сварного шва и влияния различных активаторов на прочность и электрическое сопротивление сварного шва исследовали три партии образцов, полученных на оптимальном режиме сварки с использованием активирующих присадок — кремния, меди и цинка.

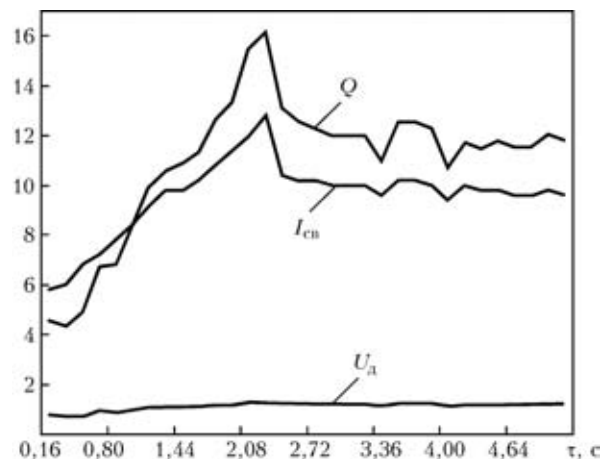


Рис. 2. Диаграмма изменения основных параметров сварочного процесса за время t сварки

Испытание на растяжения показали, что образцы, полученные с использованием флюса с присадкой кремния, разрушаются по околошовной зоне алюминия при временном сопротивлении 55...60 МПа. Временное сопротивление образцов с присадкой меди составляет 48...52 МПа, разрушение происходит по интерметаллидной прослойке со стороны алюминия. Образцы, полученные с присадкой цинка, имеют временное сопротивление 40...43 МПа и разрушаются по шву. Измерение переходного электросопротивления металла шва проводили с помощью микроомметра и ампер-вольтметра: у образцов, полученных с присадкой кремния, оно составляло 1,5, меди — 2, цинка — 3,7 мкОм.

Особенности формирования структуры и характера фазообразования в зоне сварки изучали с использованием методов оптической и аналитической растровой электронной микроскопии. На рис. 3 представлена микроструктура зоны сварного соединения алюминий АД1—сталь 20, полученного с применением флюса, содержащего кремний.

Установлено, что следов промежуточной алюминиевой композитной прослойки, используемой при сварке, не обнаружено. В структуре алюминия у переходной зоны эвтектические выделения по границам зерен отсутствуют, что свидетельствует о полном вытеснении близкоевтектической жидкой фазы из соединения при осадке.

Переходная зона в соединениях алюминий—сталь, полученных сваркой с использованием указанных выше активаторов, отличается различной структурой: при использовании флюса с присадкой кремния она приближается к прямолинейной, меди — волнистая, цинка — волнистая с микропорами. Особенностью микроструктуры, представленной на рис. 3, является то, что образующаяся интерметаллидная прослойка состоит из нескольких слоев, отличающихся травимостью. Толщина прослойки составляет от 3 до 5 мкм; не-

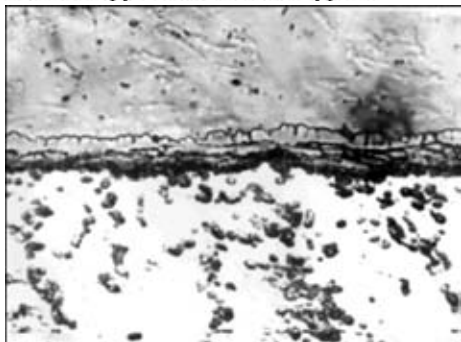


Рис. 3. Микроструктура (X400) сварного соединения алюминий – сталь, полученного при использовании флюса с кремнием

посредственно к алюминию примыкает темный слой, затем более тонкий промежуточный, а со стороны стали — зубчатый. Такой характер структуры переходной интерметаллидной прослойки свидетельствует о том, что в процессе формирования соединения происходят двухсторонние диффузионные процессы — проникновение железа в алюминий и алюминия в сталь. Обычно при сварке в твердой фазе интерметаллидная прослойка не имеет зубчатой структуры, которая характерна при алитировании железа жидким алюминием. Это свидетельствует о том, что на начальном этапе сварки происходит смачивание стали сплавом на основе алюминия. В структуре металла шва при использовании меди и цинка образуется развитая зона контакта, имеющая выступы и впадины, что свидетельствует об активном растворении алюминия в жидкой фазе. Толщина интерметаллидной прослойки при этом предусматривается от 3 до 6 мкм. Поскольку при одинаковом термическом цикле температура образования эвтектики цинк–алюминий составляет 382 °С, медь–алюминий — 548 °С (тогда, как кремний–алюминий 577 °С) [2], то при одинаковой температуре сварки растворение основного металла происходит значительно интенсивнее. Это вызывает формирование волнистой структуры металла шва.

С целью идентификации фазовых составляющих в зоне взаимодействия стали и алюминия с помощью микрорентгеноспектрального анализа исследовали состав переходной зоны соединения. Учитывая то, что толщина интерметаллидной

прослойки не превышает 5 мкм, а отдельных слоев — не более 2 мкм, запись проводили под углом 10° по отношению к границе соединения. Кроме того, определяли структурные составляющие переходной зоны шва путем облучения исследуемого объекта неподвижным зондом. На основании анализа диаграмм распределения элементов можно заключить, что интерметаллидная прослойка, образующаяся в переходной зоне, имеет сложный состав, в ее отдельных слоях можно обнаружить фазы на основе Fe₃Al, FeAl₂, FeAl₃, которые легированы соответственно кремнием, медью и цинком. Согласно литературным данным [3], такое легирование препятствует дальнейшему росту интерметаллидной прослойки, что особенно важно при эксплуатации алюминиево-стального переходника в условиях повышенных температур.

Выводы

1. Предложенная технология контактной сварки сопротивлением позволяет получать качественные алюминиево-стальные соединения сложной конфигурации и развитой площадью поверхности. По сравнению с технологией традиционной контактной сварки новая технология предусматривает более низкую удельную мощность и меньшее усилие осадки, что существенно улучшает массогабаритные показатели контактных машин.

2. Процесс сварки происходит в два этапа: образование жидкой металлической фазы, смачивание ею основного металла и вытеснение расплавленного флюса; схватывание алюминия с алитированным слоем при пластической деформации в твердой фазе.

3. В зоне контакта алюминия со сталью образуется интерметаллидная прослойка толщиной не более 5 мкм, обогащенная активирующими присадками, которые снижают скорость ее роста.

1. Гельман А. С. Основы сварки давлением. — М.: Машиностроение, 1970. — 312 с.
2. Хансен М. Структура бинарных сплавов. — М.: Машгиз, 1941. — 150 с.
3. Рябов В. Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами. — Киев: Наук. думка, 1983. — 264 с.

A new technology has been developed for flash-butt welding of aluminium to steel in fabrication of bimetal transition pieces of a large-cross-section current-carrying buses, used in electrolyzers in aluminium production. The mechanism of pack deformation and welded joint formation has been studied. An experimental set-up and welding process control module have been manufactured.

Поступила в редакцию 22.12.2005,
в окончательном варианте 16.01.2006

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОГО НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

А. П. ЖУДРА, С. Ю. КРИВЧИКОВ, кандидаты техн. наук, В. В. ПЕТРОВ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния небольших добавок кремния на физико-механические свойства низколегированного углеродистого наплавленного металла при электродуговой наплавке самозащитной порошковой проволокой. Показано, что увеличение содержания кремния до 2,3 % приводит к уменьшению доли мартенситной фазы в наплавленном металле и тем самым повышает его стойкость против образования микротрещин.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая проволока, наплавленный металл, трещиностойкость, легирование кремнием, микроструктура, микротвердость

Основными способами повышения трещиностойкости высокоуглеродистых низколегированных сплавов при сварке и наплавке является применение дорогостоящих порошковых проволок, легированных никелем (до 80 %), использование предварительного подогрева и некоторых других приемов металлургического и технологического характера. Роль сравнительно небольших добавок (до 2...3 %) таких элементов, как кремний, марганец, алюминий и титан, чаще оценивают их участием в процессах раскисления сварочной ванны и нитридообразования, а их влияние на некоторые физико-механические свойства наплавленного металла, например, трещиностойкость, изучено недостаточно.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния кремния на микроструктуру, трещиностойкость и твердость углеродистого сплава при наплавке самозащитной порошковой проволокой без использования предварительного подогрева. Для проведения исследований изготовили порошковые проволоки диаметром 1,8 мм, содержание кремния в которых изменяли дискретно путем изменения количества ферросилиция в сердечнике. Постоянство химического состава и коэффициента заполнения порошковых проволок при увеличении содержания ферросилиция обеспечивали соответствующим снижением количества железного порошка. Наплавку одиночных валиков производили на следующем режиме: $I_{св} = 170...180$ А, $U_{д} = 19...21$ В, $v_{н} = 14$ м/ч, ток постоянный обратной полярности. Химический состав исследованных наплавленных образцов (в третьем слое), мас. %: 2,2...2,4 С; 0,7...0,8 Мн; 0,3...0,4 Аl; 0,25...0,30 Тi и 0,58; 1,16; 1,86 и 2,33 Si. Наличие макротрещин в наплавленном металле оценивали визуально или с по-

мощью магнитного дефектоскопа. Изменения микроструктуры, количество и морфологию микротрещин изучали с помощью металлографического анализа. Для получения сравнимых и достоверных результатов микрошлифы для металлографических исследований изготавливали из образцов наплавленного металла, вырезанных на одном и том же расстоянии от начала наплавки каждого валика, когда технологический процесс наплавки считался установившимся.

Микроструктура наплавленного металла включает продукты распада аустенита (ферритно-перлитная смесь), цементитно-ледебуритную эвтектику «сотового» строения и аналогична микроструктуре низколегированного литейного доэвтектического чугуна*. Как показали эксперименты,



Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла (×600) при содержании кремния 0,58 %

* Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. — М.: Металлургия, 1969. — 416 с.

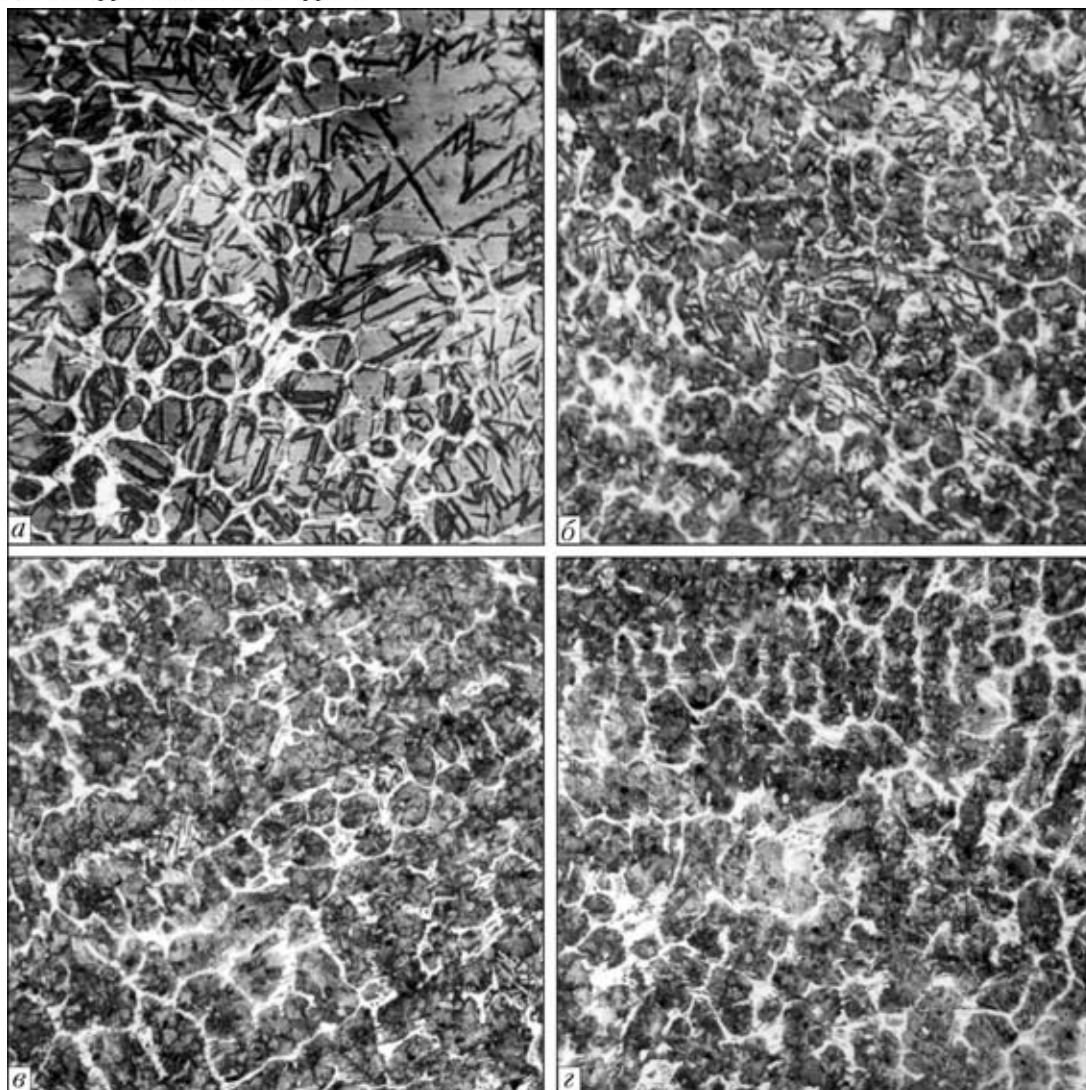


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла ($\times 320$) при содержании кремния 0,58 (а); 1,16 (б); 1,86 (в); 2,33 (г) %

изменение содержания кремния в исследованных пределах не оказывает влияния на образование и количество макротрещин в наплавленном металле. Они наблюдаются во всех наплавках, причем образуются в наплавленных валиках при их охлаждении в интервале температур $450 \dots 250$ °С и сопровождаются значительным звуковым эффектом, что позволяет классифицировать их как «холодные».

Металлографическими исследованиями установлено, что кремний оказывает большое влияние на количество и протяженность микротрещин в наплавленном металле. Максимальное количество микротрещин наблюдается в наплавленном образце, содержащем 0,58 % Si. При этом они присутствуют как в наплавленном металле (рис. 1), так и в зоне сплавления, протяженность микротрещин также максимальна. С увеличением содержания кремния количество и протяженность микротрещин уменьшается и максимальную трещиностойкость имеет наплавленный металл, легированный кремнием в количестве 2,33 %.

Влияние сравнительно небольших концентраций кремния на образование микротрещин возможно связано с изменением количества, морфологии мартенсита и его твердости. Установлено, что наибольшее количество крупноигльчатого мартенсита наблюдается в наплавках, содержащих 0,58 % Si (рис. 2, а). С увеличением концентрации кремния количество и протяженность игл мартенсита уменьшается (рис. 2, б, в). В наплавленном металле, содержащем 2,33 % Si, мартенситная фаза практически отсутствует (рис. 2, г).

Помимо структурных превращений легирование кремнием сопровождается изменением микротвердости продуктов распада аустенита H_{μ}^a (зерен твердого раствора) и карбидной эвтектики H_{μ}^k (рис. 3).

Изменение микротвердости структурных составляющих наплавленного металла обусловлено тем, что с увеличением содержания кремния снижается доля перлитного цементита, а в наплавках, содержащих 1,86 и 2,33 % Si, в зернах перлита обнаруживаются мелкие (диаметром не более

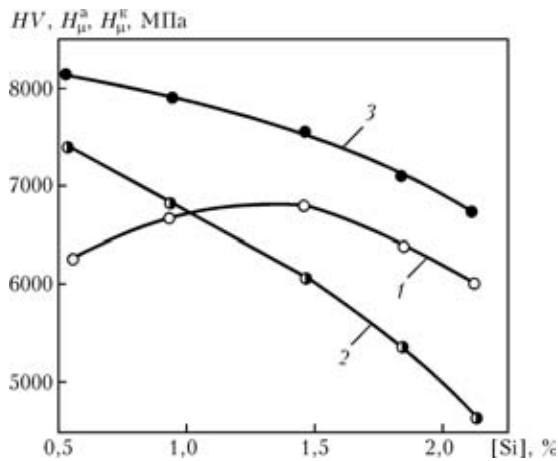


Рис. 3. Влияние кремния на твердость наплавленного металла HV (1), микротвердость зерен твердого раствора H_{μ}^a (2) и ледебуритно-цементитной эвтектики H_{μ}^k (3)

1 мкм) включения структурно свободного углерода. В результате значение H_{μ}^a уменьшается. Причину изменения H_{μ}^k с помощью металлографичес-

кого анализа установить не удалось, но возможно она вызвана изменением стехиометрического состава карбидных составляющих наплавленного металла при изменении содержания кремния.

Наличие максимума на кривой твердости HV обусловлено изменением количества и твердости мартенситной фазы в наплавленном металле с разной концентрацией кремния. В наплавке с минимальным (0,58 %) количеством кремния микротвердость мартенсита относительно невелика и составляет 5000...5200 МПа. С увеличением концентрации кремния (наплавка с 1,16 и 1,86 % Si) количество мартенсита снижается, но его микротвердость возрастает до 7000...7400 МПа. При этом твердость наплавленного металла достигает максимального значения. Дальнейшее увеличение содержания кремния приводит к снижению как количества, так и микротвердости (до 6200...6400 МПа) мартенсита, что приводит к уменьшению значения твердости наплавленного металла.

Given are the results of experimental studies of the influence small additives of silicon on the physico-mechanical properties of low-alloyed white cast iron in electric-arc surfacing with self-shielded flux-cored wire. It is shown that increase of silicon content up to 2.3% reduces the share of the martensite phase in the deposited metal and increases its microcracking resistance.

Поступила в редакцию 05.07.2004

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЦЕЛЬНОЛИТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Разработана технология восстановления и техника выполнения ремонтной сварки поврежденных элементов крупногабаритных цельнолитых конструкций, изготавливаемых из среднеуглеродистых сталей (до 0,4 % C). В основе технологии заложено применение стандартных низколегированных сварочных материалов отечественного производства, обеспечивающих прочность металла шва 450...550 МПа. Технология предусматривает контроль характера и размеров повреждений конструкции (трещины, выработки и т.д.); удаление дефектов и разделку кромок под сварку; непосредственно сварку в соответствии с уточненными рекомендациями применительно к конкретной конструкции; проведение мероприятий, направленных на исключение образования закалочных структур и снижение уровня остаточных сварочных напряжений в сварных соединениях; неразрушающий контроль качества соединений.

В большинстве случаев проведение ремонта не требует полного демонтажа и последующего монтажа восстанавливаемого объекта. Опыт показывает, что стоимость ремонтных работ составляет 10...30 % себестоимости изделия, сроки работ — от 10 до 40 суток.

Разработанные технические решения по ремонту крупногабаритных цельнолитых конструкций, изготавливаемых из сталей 35Л и 25Л, использованы при восстановлении станины и поперечины прессы усилием 10000 тс (срок работы оборудования 25 лет), подвижной щеки камнедробилки (срок эксплуатации 10 лет), станин конусных дробилок ККД, КСД и КМД (срок от 10 до 20 лет). После ремонта восстановленное оборудование работает в проектных режимах. Восстановительные работы были проведены на металлургических и горнодобывающих предприятиях Украины и Российской Федерации.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 39
Тел./факс: (38044) 227 43 66



«НОУ-ХАУ» И КАК ЕГО ИСПОЛЬЗОВАТЬ

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

В переходной экономике «ноу-хау» эффективно защищает экономические интересы разработчика интеллектуального продукта. Количество опубликованных работ и полученных патентов не могут быть приняты за решающий показатель эффективности работы НИИ прикладного профиля. Для успешного функционирования института в рыночных условиях важны такие показатели, как количество и цена проданных разработок и услуг. Для долгосрочной перспективы важно выполнение фундаментальных научных работ. При этом необходимо стратегическое планирование.

Ключевые слова: интеллектуальная деятельность, ноу-хау, авторские и имущественные права, особенности реализации, конкурентоспособность

Термин «ноу-хау» довольно часто используется в публикациях и дискуссиях, посвященных производственно-хозяйственной (коммерческой) деятельности, однако его содержание до сих пор не получило полного определения. Точнее, оно непрерывно расширяется в связи с научно-техническим прогрессом [1]. Впервые термин был использован в США в 1916 г. в судебном процессе Дюранда против Брауна. Его дословный перевод с английского «знаю как (делать)» (в сокращенном варианте). С позиции патентоведения ноу-хау — «объект права интеллектуальной собственности», однако от таких «узаконенных» объектов, как патент и свидетельство, оно отличается тем, что по своей природе не может иметь охранного документа.

Ноу-хау — продукт интеллектуальной деятельности человека, информация, которую ее обладатель (продавец) сохраняет в секрете с целью получения экономической выгоды при передаче покупателю. Как сказал патентный поверенный В. Куцевич, «можно утверждать, что у производителя-продавца на свободном рынке может быть только одна экономическая цель» — продать с прибылью произведенный им товар. Все остальное — словоблудие, ведущее к растрате своего и чужого невозвратного времени и, нередко, чужих денег, материалов и энергии» [2]. Заметим, что он имел в виду исключительно производителя-продавца, и только на свободном рынке. Утверждение не может быть прямо применено к такой специфической организации как научно-исследовательский институт. Последний нельзя однозначно квалифицировать как хозяйствующий субъект, единственная цель которого состоит в получении прибыли. Суть существования научно-исследовательского института как организации заключается в решении двух разнородных задач, главная из которых — познание окружающего ми-

ра, законов природы, дополнительная — коммерциализация добытых знаний. Однако научно-исследовательские институты имеют и другие социально значимые задачи. Они способствуют повышению интеллектуального уровня нации и, следовательно, ее конкурентоспособности, удерживают интеллектуальную элиту от эмиграции в развитые страны, трудоустривая своих ученых дома. Государства с развитой научной сферой имеют возможность развивать высокотехнологичные, а следовательно высокорентабельные отрасли народного хозяйства. В таких государствах меньше уровень безработицы.

Знание законов природы в идеале товаром не является, поэтому ни одно патентное ведомство в мире не выдает на открытия патенты, закрепляющие монопольное право собственности (право распоряжаться по собственному усмотрению) на предмет открытия. А вот различные варианты применения открытий в практической деятельности с получением соответствующей выгоды — это уже технические решения, подлежащие защите патентами и другими охраняемыми документами. Следует заметить, что западная цивилизация («эгоистический золотой миллиард») с ее священным правом частной собственности, в том числе и на объект интеллектуальной собственности, не очень последовательно придерживается этого фундаментального принципа — универсальности, всеобщности права собственности на знания. Специфические, «отраслевые» знания, добываемые в научных подразделениях корпораций (а также в университетах) становятся предметом монопольного владения и реализуются в собственном хозяйственном цикле, либо продаются на свободном рынке как товар, а часто — и то, и другое вместе. Если говорить об Украине и других республиках бывшего Советского Союза, до недавнего времени наши научно-технические журналы раскрывали в публикациях (в соответствии с социалистической философией) до 80 % ноу-хау [1], а результаты научно-исследовательских работ институтов Академии наук Украины до сих пор выставляются в УкрИНТЭИ для свободного доступа.

Наука как средство познания окружающего мира — занятие неприбыльное, поэтому она финансово поддерживается во всех развитых странах. Достижения науки являются тем интеллектуальным источником, который питает творческой энергией технический прогресс.

Заказчик купит ноу-хау, если оно повысит эффективность бизнеса. Ноу-хау передается покупателю в режиме конфиденциальности либо вообще никому не передается — сохраняется для собственного использования.

Может ли научно-исследовательский институт иметь ноу-хау «для внутреннего потребления»? Известно, что по своей природе научный институт — «добытчик знаний» и по совместительству — генератор идей, производитель нематериальных активов, в том числе и ноу-хау. Держать его у себя для «внутреннего потребления» ему неудобно. Вместе с тем такие институты, как ИЭС им. Е. О. Патона, создавшие собственную производственную базу — инфраструктуру (ОКБ, инженерные центры, опытные заводы и т. д.), имеют возможность держать в секрете некоторые ноу-хау, получая от этого немалую выгоду. К ним можно отнести состав («рецептуру») различного рода сварочных материалов: электродов, порошковой проволоки и т. д. Производить их исключительно у себя — на Опытном заводе сварочных материалов, не раскрывая состава в патенте (указать содержание компонентов в широком диапазоне) — значит обезопасить себя от недобросовестных конкурентов и увеличить прибыль путем наращивания производства. Есть варианты, когда для реализации технологии на производстве требуется небольшое количество сварочного материала — буквально граммы на погонный метр шва (как, например, при дуговой сварке неплавящимся электродом с использованием активирующих флюсов). Научный отдел института может никому не раскрывать «рецептуру» флюса и продавать его заказчику вместе с технологией, а производить в собственной лаборатории или общеинститутских мастерских (экспериментальном производстве).

Не следует спешить делиться с миром своими находками и в области уникальных технологий, использование которых в масштабах страны насчитывает единицы в год и реализация технологии которых практически невозможна без участия сотрудников института (разработчиков технологии). Примером может служить электрошлаковая сварка (ЭШС) металла больших толщин. В ИЭС им. Е. О. Патона была разработана технология ЭШС плавящимся мундштуком, эффективная при использовании в труднодоступных местах, в том числе на монтаже. Плавящийся мундштук представляет собой пластину из металла, родственного свариваемому, имеющую внутри канал для подачи электродной проволоки, а снаружи — флюсовое

покрытие. Его преимущество — исчезает необходимость в использовании механизма вертикального перемещения сварочной головки. Публикация об этом способе (с подробным описанием всех нюансов, вплоть до размеров мундштука и марок проволоки и флюса) вдохновила одного американского инженера на разработку новой разновидности известного способа, который получил патент на свою разработку не только в США, но и в других странах. Его разработка содержит три новшества:

изготовление пластинчатого плавящегося мундштука из двух штампованных пластин с полукруглыми желобами на поверхностях каждой, образующими в совокупности канал;

использование механизма дистанционной подачи проволоки, перенос катушки с проволокой с головки сварочного аппарата на площадку, удаленную от места сварки на значительное (более 10 м) расстояние, для чего усиливается механизм подачи проволоки дополнительными подталкивающими механизмами типа «тяги-толкая»;

автоматизация процесса, одновременно протоколируя его в компьютере (записывая параметры режима в реальном масштабе времени).

Теперь он предлагает институту купить у него патент либо стать партнером (агентом) по внедрению своего изобретения на территории Евразии. Можно не сомневаться, что если бы институт держал эту технологию в секрете как ноу-хау и опубликовал в журнале статью рекламного характера, не раскрывая подробностей (как поступает большинство западных фирм), американец вынужден был бы запросить у института лицензию на использование его ноу-хау и подписать предварительное соглашение о неразглашении конфиденциальной информации.

Можно привести еще один пример. Институт разработал технологию и оборудование для дуговой сварки стыковых швов трубопроводов в монтажных условиях (пристыковка плетей трубопроводов). Использовали самозащитную порошковую проволоку, формирование шва осуществляли с помощью подвижных водоохлаждаемых ползунов. В 1970–1980-е годы этим способом заинтересовались многие монтажные организации в различных районах Советского Союза. Процесс этот, на первый взгляд, выглядит очень просто: подается порошковая проволока в зазор между кромками, осуществляется поперечное колебание токоподводящего мундштука от одной кромки к другой, под действием дуги образуется металлическая ванна, заполняющая зазор между кромками, а сверху — шлаковая. Водоохлаждаемые ползуны прижимают к кромкам и перемещают вверх вместе со сварочной головкой по мере заполнения зазора присадочным металлом, т. е. со скоростью сварки. Однако в реальных условиях



приходится сталкиваться со многими обстоятельствами, которые заранее трудно предвидеть: отклонение стыкуемых труб по диаметру, их эллиптичность, неточности в подготовке кромок, неожиданно возникающие зазоры между ползуном и поверхностями свариваемых труб, через которые может вытекать металлическая ванна и др. Все нюансы ни в какой технологической инструкции предусмотреть невозможно. Поэтому сварочные работы в упомянутых выше организациях выполнялись с участием и под авторским надзором (с научно-техническим сопровождением) сотрудников института. Так, в работе по прокладке водопровода питьевой воды от Десны до Киева после аварии на Чернобыльской АЭС принимал участие представитель Института электросварки им. Е. О. Патона, сотрудник отдела № 10 А. Н. Кутовой. Упомянутый способ сварки весьма специфичный, и освоение его без прямой передачи («из уст в уста») опыта, знаний (ноу-хау) разработчика — дело непростое.

Что такое ноу-хау? Международная ассоциация по охране промышленной собственности в своей резолюции 1974 (1) 47 (053В) сформулировала определение ноу-хау как знания и опыт технического, коммерческого, административного, финансового и другого происхождения, которые можно использовать на практике во время эксплуатации в производстве или ремесле.

Комиссия Европейского Сообщества приняла специальный директивный документ — Правила № 556/89 от 30 ноября 1988 г. об использовании статьи 85 (3) Римского договора применительно к некоторым категориям лицензионных соглашений относительно ноу-хау. В этом документе ноу-хау определяется как *совокупность технической информации, которая является секретной, существенной и идентифицируемой в любой форме.*

Эксперты Международной торговой палаты определяют ноу-хау как *совокупность сведений, профессиональных знаний и опыта, используемых в технологии производства любого продукта.*

Статья 10 Постановления Европейского Совета 1996/240/ЕС о передаче технологий определяет ноу-хау как основную часть технической информации, являющуюся секретной, существенной и идентифицируемой в любой форме [1].

Законом Украины «Про інвестиційну діяльність» в статье 1 ноу-хау характеризуется как *одна из форм інвестицій.*

Характерными примерами ноу-хау могут служить «технологические секреты», нераскрываемые путем анализа товаров, выпускаемых на рынок. Такие секреты обычно относятся к критериям выбора сырья, компонентов, шихты, режимов технологических процессов, алгоритмов и программ управления технологическими процессами; к базам знаний, базам данных, логическим и/или ма-

тематическим алгоритмам и составленным на их основе программам для вычислительных машин; к выбору технологического оснащения и оптимальных приемов его использования в производстве. Личный опыт и навыки персонала квалифицируются как особая разновидность ноу-хау, носителями которого являются физические лица. В условиях развитого рынка труда физические лица — носители ноу-хау находятся в «пользовании» работодателя вместе со своими неотчуждаемыми ноу-хау [3]. В качестве ноу-хау его объектами могут быть:

- любые заявленные объекты интеллектуальной собственности, находящиеся на экспертизе по сути — до момента официального опубликования;

- любое патентоспособное решение, которое из соображений сохранения высокой конкурентоспособности предприятия (фирмы) выгодно не публиковать, а оставить у себя в качестве секретной информации для внутреннего пользования;

- любое патентоспособное решение, которое трудно защитить от несанкционированного использования недобросовестными лицами из-за невозможности легального обнаружения факта несанкционированного использования. К таким решениям можно отнести: способы диагностики, профилактики и ремонта; способы измерения физических, химических и других величин без связи с материальными (в частности, аппаратными) средствами измерения; способы преобразования энергии без связи с аппаратными средствами их осуществления;

- «старые, хорошо забытые» изобретения (желательно свои), находящиеся в архивах в виде авторских свидетельств, многие из которых за прошедший период даже не были востребованы;

- любая разработка, которая «не тянет» на патент в соответствии с законодательством Украины, но имеет коммерческую привлекательность. К таким, в частности, можно отнести: алгоритмы и программы для ЭВМ (до регистрации в Украине и за ее пределами); топологии интегральных микросхем (до регистрации в Украине и за ее пределами); способы организации и планирования производства и/или сбыта товаров и способы управления производством и/или сбытом; способы бухгалтерского учета и т. д. [3].

К ноу-хау относится также информация, содержащаяся в текстовой и/или графической технической документации, на любых этапах ее разработки и особенно в комплектной рабочей технической документации, например, в рабочих чертежах, рецептурах (составах) изготавливаемых материалов; в промышленных технологических процессах (регламентах), технологических картах, инструкциях и т. д.; в технико-экономических обоснованиях создания или совершенствования новых процессов, материалов или устройств; в отчетах

о НИОКР, подготовленных для конкретного заказчика (государственный орган — вышестоящая инстанция, любое министерство, ведомство также является конкретным заказчиком); в любых конкурсных проектах, если они содержат сведения о незапатентованных изобретениях, полезных моделях, промышленных образцах или других коммерчески ценных технических решениях; в любой другой технологической (в широком значении этого слова) информации, содержащей коммерчески ценные решения [3].

В сварочной технологии к ноу-хау следовало бы отнести все алгоритмы сварки, особенно касающиеся сложных и ответственных конструкций, все составы сварочных материалов (если они изготавливаются на собственном опытно-производственном предприятии), все разрабатываемые алгоритмы управления сварочными аппаратами, методы диагностики и контроля качества и т. д. Их также не следует раскрывать в публикациях.

Характерным примером коммерциализации ноу-хау являются договоры на научно-техническое сопровождение строительства и ремонта мостов, мостовых переходов, доменных печей, газопроводов и т. д. Здесь реализуется концентрированный богатейший опыт сотрудников института, накопленный десятилетиями. Например, сварка балок несущей конструкции моста предусматривает столько и таких нюансов, что неучет или неправильное соблюдение хотя бы одного может привести к значительным потерям материалов, труда, времени, средств. Как правильно состыковать части, сохранив прямолинейность (или заданную криволинейность) конструкции, поддерживая при этом нормативные параметры зазора между кромками. Как предварительно закрепить сваркой («прихватить») кромки. Как правильно заварить, учитывая, что в реальных условиях зазор между кромками «гуляет» и не «подчиняется» чертежу. Размеры и форма выводных планок, марка и диаметр сварочного электрода, его кондиция (качество покрытия, его влажность, наличие на поверхности стержня ржавчины и различных загрязнений), род и значение сварочного тока, угол наклона электрода, длина дуги, погодные условия и многое другое — все эти знания и навыки приобретаются с годами, их практически невозможно учесть в технологической инструкции. Сказанное выше свидетельствует также о том, что наличие «старых кадров» (в институте или на предприятии) — один из основных моментов сохранения и накопления интеллектуального капитала коллектива, как и пополнение молодыми кадрами — непрерывное условие жизнеспособности организации, а уважительное отношение к ветеранам — залог успешности).

Стоит упомянуть и такой пример. На одном из египетских машиностроительных заводов воз-

никла проблема. По чертежам немецкой фирмы был изготовлен аппарат для получения сахара из сахарного тростника. Аппарат представлял собой цилиндрический сосуд диаметром около 2 м и длиной около 10 м с «начинкой» из металлических полос, привариваемых к внутренней стенке цилиндра. Аппарат был отправлен заказчику на сахарный завод, но там его не приняли — немецкий инспектор, осуществлявший авторский надзор, забраковал изделие из-за сильных деформаций в продольном и поперечном направлениях. Завод обратился за помощью к сотрудникам Института электросварки им. Е. О. Патона, работавшим там в качестве технических советников. Следующее изделие изготавливалось уже с их участием. Приглашенный на приемку представитель заказчика изделие принял, дав ему оценку «европейское качество». Проблема заключалась в необходимости строгого соблюдения определенного алгоритма сварочных работ. В этом случае пригодился предыдущий опыт и накопленные знания (ноу-хау) сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона: один из них — бывший главный сварщик завода металлоконструкций, второй — специалист по сварочным напряжениям и деформациям.

Не являются ноу-хау сведения об опасных для людей и окружающей среды свойствах процессов, веществ и товаров, о мерах безопасности, правила пользования [3]. К ноу-хау не относятся «торговые секреты», касающиеся себестоимости любых товаров и кредитоспособности предприятий, конкретных торговых соглашений, содержание рекламы до ее обнародования и т. д. [3].

Ноу-хау — наиболее широкий по содержанию и характеру информации объект права интеллектуальной собственности по сравнению с патентами, полезными моделями, промышленными образцами, вместе взятыми.

Еще одно преимущество ноу-хау — более конкретное наполнение, приемлемое для непосредственного применения. Его использование легче сопровождать и контролировать, поскольку передача от продавца к покупателю происходит в конфиденциальном режиме. Важная функция ноу-хау — косвенная, скрытая защита патента от возможного несанкционированного его использования. Формулу изобретения следует составлять таким образом, чтобы часть информации, жизненно необходимая для реализации запатентованного изобретения, оставалась у заявителя в качестве его ноу-хау. Раскрывать последнее можно только реальному покупателю лицензии на патент после достижения конкретной договоренности [2].

Главный недостаток ноу-хау — слабая отработанность, отсутствие практики судебной защиты от несанкционированного его использования в случае, например, разглашения содержания покупателем (как правило, вследствие болтливости



сотрудников последнего). Это связано с отсутствием закона Украины об охране ноу-хау, поскольку содержание последнего нельзя раскрывать.

Процедура передачи ноу-хау требует высокой квалификации продавца. Важно не раскрыть его содержание до момента подписания договора о передаче.

Откуда берутся ноу-хау? Источники возникновения ноу-хау самые разнообразные: накопленный персоналом индивидуальный и коллективный опыт и знания; результат выполнения заказной поисковой работы по заданию вышестоящей организации или отдельных ведомств, предприятий, фирм; «побочный» результат выполнения заказной поисковой работы; результат инициативной поисковой работы, выполняемой сотрудниками предприятия.

Поиск может быть чисто интеллектуальный (например, изучение массива патентов стран мира), в результате чего могут появиться «по ассоциации» собственные идеи (например, опыт молодого А. Эйнштейна в патентном ведомстве Австрии), статистическая обработка накопившейся на предприятии информации производственного, технического и другого характера, в частности результатов механических и другого вида испытаний и т. д.

Поиск может иметь вид специальной экспериментальной работы, выполняемой по предварительно составленной программе.

Право авторства и имущественные права на ноу-хау. Право авторства на ноу-хау подобно правам авторства на другие объекты права интеллектуальной собственности: изобретения, полезные модели, промышленные образцы, произведения научного и художественного творчества, интегральные микросхемы и программные регистрируемые продукты.

Субъектами права авторства могут быть только физические лица (отдельные авторы или группы соавторов), чьим творческим трудом создано ноу-хау.

Соавторство может быть нераздельным и раздельным [3]. В первом случае все соавторы в равной степени считаются собственниками права авторства. Второй случай соответствует сложным объектам ноу-хау: изобретению с многозвенной формулой, отчету о НИР, содержащему несколько самостоятельных разделов, проекты устройств, комплексов и т. п., состоящих из различных частей, в которых каждую функционально и/или структурно раздельную часть разрабатывает конкретный автор или группа соавторов. Факт соавторства должен быть зафиксирован в отдельном документе, подписанном всеми соавторами.

Факт создания самого ноу-хау, его содержательную часть (объект) отображают в виде информации, помещенной на каком-нибудь матери-

альном носителе, пригодном для длительного хранения и позволяющим считывать всю информацию. Там же или в сопроводительном документе указывается имя, фамилия автора (соавторов) ноу-хау.

Имущественные права на ноу-хау также подобны правам на другие объекты права интеллектуальной собственности. Они включают право владения, право пользования и право распоряжения. Если все компоненты права собственности на ноу-хау принадлежат одному лицу (или группе лиц, выступающих в роли коллективного собственника), принято считать такие права исключительными имущественными правами.

В качестве объектов имущественных прав на ноу-хау, помимо упомянутой выше информации, могут быть натурные образцы разработанных изделий (что считается нежелательным), материальные продукты, изготовленные в соответствии с конкретным ноу-хау [3].

Субъектами имущественных прав на ноу-хау могут выступать:

разработчики (авторы, соавторы) во всех случаях создания и использования ноу-хау;

физические и/или юридические лица — только в тех случаях и только на часть имущественных прав (с учетом части, принадлежащей автору/соавторам), когда они потратили деньги на создание (разработку) ноу-хау и/или доведение ноу-хау до практического использования. Физические/юридические лица могут приобретать имущественные права на ноу-хау на основе лицензионных договоров. Они называются добросовестными пользователями имущественных прав на ноу-хау. К таким относят также тех, кто независимо и самостоятельно разработал подобное ноу-хау.

Лицами, имеющими право на часть имущественных прав на ноу-хау на основании понесенных на их создание затрат, могут быть:

граждане Украины или других государств, *спонсорское* (!) участие которых в создании ноу-хау подтверждено соответствующими договорами с разработчиками и отчетными документами о понесенных затратах (банковские платежные документы, документы о поставке материалов, энергии, других материальных ресурсов и т. д.) независимо от того, имеют ли они статус индивидуального юридического лица;

юридические лица Украины, включая совместные с иностранцами предприятия, и государство Украина в лице уполномоченных на основе соответствующих договоров с разработчиками ноу-хау;

иностранные юридические лица, действующие на территории Украины в соответствии с законодательством Украины на основе договоров с разработчиками ноу-хау [3].

Автор (соавторы) могут иметь исключительные имущественные права на ноу-хау только в двух случаях: если они разработали ноу-хау исключительно за собственные средства и не уступали никому своих прав по договору ни в целом, ни даже в его части либо, когда лицо (группа лиц), финансировавшее разработку ноу-хау, добровольно и в письменной форме отказалось от своей части имущественных прав на ноу-хау в пользу автора (соавторов).

Для возникновения имущественных прав на ноу-хау достаточным основанием является существование первичных объектов этих прав в виде оригинальных носителей информации, содержащих сведения о сущности ноу-хау, и их сохранение в режиме «служебной тайны».

Как «зафиксировать» (идентифицировать) предмет ноу-хау? На предприятии документально оформленную информацию, составляющую предмет ноу-хау, его суть, следует хранить как секретный документ, зарегистрированный соответствующим образом. На случай возможного судебного разбирательства относительно приоритета на конкретное ноу-хау полезно запастись с самого начала печатью почтового ведомства. Материальный носитель с записью необходимой информации автор (авторы) посылают самим себе заказным почтовым отправлением (письмом, бандеролью, посылкой) и хранят, не вскрывая, неопределенно долгое время — до момента «Х», когда потребуются аргумент в суде [2]. Почтовое отделение регистрирует отправление должным образом с хорошо различной датой отправления на штампе (в квитанции).

Как продавать ноу-хау. Необходимо постоянно помнить закон рынка: «покупатель всегда прав», а также «товар для покупателя, а не наоборот». Ноу-хау наилучшим образом коммерциализируется [3], если его разработка доведена до уровня, достаточного для практического использования;

если предприятие имеет необходимые площади, оборудование и персонал для применения ноу-хау;

если реализация ноу-хау принесет покупателю заметную прибыль и в кратчайшие сроки.

Покупатель заинтересован в ноу-хау, которые требуют «коротких» денег, т. е. возможность обойтись без банковского кредита или с минимальным краткосрочным кредитом. Однако привлекательны и дорогостоящие ноу-хау, которые способны обеспечить высокую прибыль.

Возможны такие варианты поиска покупателя (заказчика), когда [3]:

покупателя ищут под готовый продукт;

по запросу заказчика разрабатывают продукт;

одновременно разрабатывается за счет внутренних ресурсов новое ноу-хау (пришла вдрут

блестящая идея!) и осуществляется поиск покупателя или инвестора.

При контакте с покупателем (заказчиком, инвестором) необходимо знать его платежеспособность (желания не всегда соответствуют возможностям), а также его обязательность, порядочность, способность сохранять ноу-хау в коммерческой тайне.

При контакте с иностранным покупателем (заказчиком) необходимо учитывать обычаи страны пребывания заказчика и менталитет ее народа.

В заключение можно отметить, что в наших условиях, когда еще не развернулись или не в полную меру работают экономические и юридические механизмы регулирования рыночных отношений, ноу-хау представляется наиболее эффективным объектом права интеллектуальной собственности для разработчика-владельца ноу-хау, поскольку дает ему возможность «на близкой дистанции» наблюдать (и способствовать!) за продвижением своей разработки на рынке с наибольшей экономической отдачей.

С точки зрения конкурентоспособности научно-исследовательского института на рынке количество опубликованных им научных работ и полученных патентов не могут быть приняты за определяющий показатель. Более того, раскрытие производственных секретов в статьях и патентах, защитить которые легально представляется непостоянным делом, приводит к тому, что упомянутые статьи и патенты снижают конкурентоспособность института, иногда катастрофически. С этой позиции появляющиеся иногда в прессе утверждения о том, что главным показателем результативности работы научных сотрудников является индекс их цитируемости в мировой специальной литературе применительно к прикладным наукам, где вырабатывается наибольшее количество практических знаний, оцениваемых как ноу-хау, могут иметь провокационный характер: «давайте, мол, ребята, побольше публикуйте, а мы все это внимательно изучим, усвоим и освоим!». Более весомым показателем конкурентоспособности института может быть количество заключенных договоров на создание и передачу научной продукции и доходы от ее продажи.

Иногда выгоднее держать патентоспособное техническое решение в качестве ноу-хау и реализовать его на рынке по соответствующей процедуре. Брать патент на изобретение экономически выгодно только тогда, когда его недобросовестное использование сторонней организацией (предприятием) можно легко выявить легальным путем (использование таких изобретений трудно скрыть), с учетом того, что коммерциализация такого изобретения принесет определенную прибыль. Существует категория изобретений, не сулящих явной материальной выгоды, однако спо-



собствующих утверждению приоритета и повышению престижа института.

Ориентация на сиюминутный спрос рынка является утилитарным подходом к делу, дающим сиюминутный экономический эффект. Однако не следует забывать о перспективе, для чего необходимы стратегическое планирование и активный научный поиск. Без фундаментально поставленных научных работ, в том числе в прикладных науках, ожидать прорывов в технологиях, тем более высоких, не приходится. Без стратегического планирования развития науки и государственной поддержки выход на передовые позиции в мировом рынке невозможен. Экономическое благополучие научно-исследовательского инсти-

тута в значительной степени зависит от уровня экономического развития государства. С другой стороны, научно-исследовательские институты сами являются эффективным инструментом экономического развития народного хозяйства, поэтому государство должно быть заинтересовано в расширении и углублении научно-исследовательских работ, а следовательно, в развитии и усилении научно-исследовательских учреждений.

1. Андрощук Г. Правове регулювання ноу-хау // Інтелектуальна власність. — 2004. — № 10. — С. 29–35.
2. Куцевич В. Винахідництво і патентування для ринку // Те саме // 2004. — № 10. — С. 45–49.
3. Куцевич В. Про ноу-хау // Те саме. — 2005. — № 4. — С. 32–38.

In the transition economy the «know-how» effectively protects the economic interests of the intellectual product developer. The number of published works and granted patents cannot be taken as the decisive index of the effectiveness of activity of an applied profile research institute. Such indices as the quantity and price of the sold developments and services are important for a successful functioning of the institute's scientific center under market conditions. In the long-term perspective fulfillment of fundamental research and strategic planning are important.

Поступила в редакцию 27.12.2005

ПОДВИЖНОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОПЕРАТОРА-КОСМОНАВТА

Выполнение работ на внешних поверхностях космических объектов требует соответствующей организации рабочего места оператора, снаряженного в скафандр, в связи с его ограниченной подвижностью и условиями пониженной гравитации.



Для проведения технологических экспериментов с аппаратурой «Универсал» в ИЭС им. Е. О. Патона разработан комплекс вспомогательного оборудования, в состав которого входит подвижное рабочее место оператора. Оно содержит основание с поворотной площадкой и вертикальную стойку с рукоятками и клавишами управления перемещением и вращением, а также прижатием ног оператора к поворотной площадке. Для перемещения рабочего места вдоль направляющей на основании имеются подпружиненные ролики с тормозом; устройство, обеспечивающее поворот оператора вокруг своей оси, также снабжено тормозом.

Использование такого рабочего места с направляющей позволяет оператору, выбрав удобное положение и зафиксировав ноги, освободить обе руки для выполнения различных (в том числе и сварочных) технологических операций. Это имеет важное значение в «безопорных»

условиях пониженной гравитации, поэтому применение такого рабочего места может быть эффективным при выполнении самых разнообразных работ в открытом космосе.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, № 35
Тел.: (38044) 287 10 77
Факс: (38044) 289 91 15
E-mail: dep35pwi@g.com.ua



23-я ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «INTERMACH'2006»

С 9 по 13 мая 2006 г. в крупнейшем выставочном центре ВІТЕС г. Бангкок, Таиланд состоялась ежегодная выставка «INTERMACH'2006», которая проводилась при поддержке правительства Таиланда и была организована, как и все предыдущие, крупнейшей тайской выставочной компанией CMP Media (Thailand) Co., Ltd. (www.cmpthailand.com).

Выставки INTERMAC, которые проводятся с 1983 г. — это, по заявлению их организаторов, машиностроительные выставки номер 1 в Юго-Восточной Азии. В этом году она работала совместно с выставкой «AUTOMOTIVE ENGINEERING ASIA 2006». Всего «INTERMACH'2006», включала шесть специализированных выставок, в том числе «WELDTech'2006».

Выставку посетило более 35 тыс. посетителей, что более чем на 15% больше, чем в прошлом году. В целом на выставке было представлено около 280 компаний из 26 стран (Таиланд, США, Япония, Германия, Швейцария, Китай, Россия, Украина и др.), которые демонстрировали новейшие промышленные инновационные технологии и оборудование по следующим основным направлениям:

- инструменты и станки для механообработки;
- системы автоматизации и управления, роботы и манипуляторы;
- гидравлическое и пневматическое оборудование;
- оборудование для очистки поверхности и нанесения покрытий;
- насосы, затворы, фитинги;
- ручное и вспомогательное оборудование и инструмент;
- сварочное оборудование и материалы;
- технологии и оборудование для резки металлических и других материалов.

В рамках выставки была проведена конференция и семинары, тематика которых ориентирована на различные подотрасли машиностроения.



Представленные на выставке разработки отличались высоким современным техническим уровнем. Хотя основу выставки представляли экспонаты, изготовленные в Таиланде, в основном они выполнены на базе «западных» разработок или с участием мировых лидеров. Высокий уровень исполнения и низкая цена позволяют считать, что в области сварочных технологий Таиланд демонстрирует реальные возможности на достойное место на мировом рынке. Это же относится и к сва-





рочному оборудованию, которое хотя и не содержало каких-либо замеченных нами технических новинок, выполнено на очень хорошем техническом уровне. Всего на выставке «WELDTech'2006» было представлено 14 тайских компаний (в том числе совместных с таким известными фирмами, как KEMPPi, Lincoln Electric, Hypertherm, OTC-DAIHEN Corp., Rofin и др.), которые экспонировали различное сварочное оборудование, материалы и аксессуары. На выставке в основном было представлено оборудование для сварки и резки, а также аксессуары общего назначения (держатели, маски, химические средства, горелки и пр.) таких фирм, как Siam Part Products Co., Ltd.; Siam Plasma Corp., Ltd.; Stud Welding (Thailand) Co., Ltd.; Siam Noline Co., Ltd.; TOPGAS C & W Co., Ltd. и др. Демонстрировалось также специализированное оборудо-



вание, например, роботизированные комплексы для дуговой сварки (фирма UNAC), оборудование для лазерной и микролазерной сварки (Han's Laser Science & Technology (Thailand) Co., Ltd.; PTS Progressive Engineering Co., Ltd.; Laser Master (Thailand) Co., Ltd.; DSI Laser Service (Thailand) Co., Ltd.).

Многие представители тайских и других компаний проявляли интерес к представленным на выставке разработкам НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» и обсуждали их с нашими представителями. Уже имеется около двадцати запросов на разработки ИЭС. Представителями НТК были проведены переговоры и подписан протокол о сотрудничестве с компанией-организатором выставки SMP Media (Thailand) Co., Ltd. по взаимному продвижению товаров и услуг на рынки Юго-Восточной Азии и Украины, в том числе через выставочную деятельность. По мнению авторов, на сегодня в Таиланде имеется реальный потенциальный рынок для сварочных и смежных технологий, оборудования, материалов и услуг, которые являются предметом деятельности ИЭС. При этом выставки «INTERMACH/WELDTech» являются достаточно представительными и дальнейшее участие в них ИЭС, с учетом заинтересованности в освоении тайского рынка, в том числе и рынка Юго-Восточной Азии, представляется весьма целесообразным.

Следующая выставка «INTERMACH/WELDTech'2007» состоится 9–13 мая 2007 г. в центре ВITEC в г. Бангкок.

Интересно отметить, что практически на всех стендах даже западных компаний в качестве стендистов участвовали тайцы, а надписи были сделаны либо только по-тайски, либо на тайском и английском языках. Как нам сообщили организаторы выставки, тайцы мало и плохо владеют иностранными языками. Это в значительной степени связано с тем, что Таиланд никогда не был колонизирован. Поэтому участие местных специалистов в качестве стендистов и выполнение стендовых надписей на тайском языке является крайне желательным. Вообще, работа в Таиланде должна осуществляться с участием местного партнера, знающего особенности данного рынка и оказывающего помощь в подготовке демонстрационных и рекламных материалов, налаживании контактов, проведении переговоров.

Д. В. Коваленко, инж. Г. С. Маринский, д-р техн. наук

ТРИАДА КОНФЕРЕНЦИЙ В СИЭТТЛЕ

15–18 мая 2006 г. в Сиэтле (США) в Конвейшен-центре одновременно проходили три международных конференции — по термическому напылению покрытий, инженерии поверхности и «Аэромат-2006». Участники одной конференций могли свободно посещать заседания секций другой, тем более, что во многих случаях тематика докладов оказывалась близкой. Всего на этих конференциях приняло участие около 1200 специалистов из различных стран мира.

Наиболее многочисленной как по количеству докладов (360), так и по числу участников оказалась Международная конференция по термическому напылению, проведение которой было приурочено к 100-летию технологии газотермического напыления покрытий, родоначальником которой считается швейцарец Шооп. На ней было представлено 330 докладов, в том числе 84 стендовых, авторами которых являлись специалисты из 32 стран мира. Наибольшее количество докладов было представлено из стран Северной Америки — 115, в том числе из США — 71, из Канады — 44. Западная Европа представила 112 докладов, из которых 41 Германия и 27 Франция. От стран СНГ в программу конференции вошло 12 докладов из них Россия представила 6, Украина 5, Беларусь 1.

На конференции рассматривался широкий круг вопросов, начиная с развития теории и математического моделирования процессов газотермического напыления и до анализа экономики технологий, проблем техники безопасности и подготовки кадров. Все доклады были разделены на четыре направления — оборудование и процессы изотермического напыления, свойства покрытий и их применение, математическое моделирование процессов изотермического напыления, холодное напыление, биомедицинские покрытия, экономика и обучение кадров. В объеме этих направлений было сформировано 27 секций.

Две группы докладов были посвящены решению проблем экономичного использования топливных ресурсов (теплозащитные покрытия — 22 доклада) и поиску новых путей производства энергии (твердотопливные ячейки — 11 докладов). Актуальной является задача замены гальванического хрома в качестве износостойкого покрытия (6 докладов). Продолжает развиваться направление газотермических биомедицинских покрытий (19 докладов). Все большее внимание привлекает разработка составов и процессов нанесения

газотермическими методами покрытий с нанокристаллической структурой (33 доклада). В обзорных докладах показано, что накопленный опыт свидетельствует о возможности повышения таким путем сопротивления напыленных покрытий износу в 1,2...1,5 раза. Одним из наиболее рациональных способов газотермического напыления таких покрытий в настоящее время считается использование суспензий (11 докладов).

Наибольшее количество докладов было посвящено развитию холодного напыления (50 докладов), в которых рассматривались вопросы особенностей самого процесса холодного напыления, выбора материалов для получения покрытий таким путем, исследование свойств покрытий, разработки новых типов оборудования для холодного напыления и определение наиболее рациональных областей применения этой технологии.

Следует отметить снижение интереса к таким методам напыления, как обычное газопламенное (5 докладов) и плазменное напыление в динамическом вакууме (7 докладов). В то же время все большее внимание начинает уделяться развитию гибридных технологий (12 докладов).

К новым оригинальным областям применения газотермического напыления относится использование этой технологии для установки вмонтированных (embedded) сенсоров различного назначения (для определения местоположения объекта, оценки уровня напряженного состояния и др.).

В работе конференции по термическому напылению от Украины приняли участие сотрудники ИЭС Ю. С. Борисов и И. В. Кривцун.

При рассмотрении программ других конференций, в частности «Аэромат-2006», можно отметить повышенное внимание к титановым сплавам и применению процесса сварки трением, а также рассмотрение вопросов применения в аэрокосмической технике холодного напыления.

В повестке дня конференции по инженерии поверхности было также обращено внимание на холодное напыление, в частности для получения таким путем покрытий с нанокристаллической структурой. Значительная часть докладов этой конференции была посвящена рассмотрению проблем триботехнологии.

Ю. С. Борисов, д-р техн. наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИТАН в СНГ 2006»

21–24 мая 2006 г. в историческом и туристическом центре России — Суздаль под эгидой ЗАО «Межгосударственная организация «Титан» прошла ставшая уже традиционной ежегодная Международная конференция «Титан в СНГ». В конференции приняли участие более 270 участников из России, Украины, Белоруссии, Таджикистана, США, Германии, Италии, Японии, Китая, Люксембурга и других стран. На конференции выступили с докладами ученые и специалисты в области титана из ведущих научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России и стран СНГ: ОАО «Всероссийский институт легких сплавов», ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов», ЦНИИ КМ «Прометей», Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Московского авиационного института, «МАТИ» — РГТУ им. К. Э. Циолковского, ФГУП «Гиредмет», МИСиС — Технологический университет, Уральского государственного технического университета «УПИ», Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Института металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины, ГНИПИ титана, Донецкого национального технического университета, ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА», КП «ЗТМК», ОАО «ОКБ Сухого», ОАО «ГМК «Норильский никель» и др. Всего было представлено более 80 докладов.

На конференции было подробно рассмотрено текущее состояние рынка титана и перспективы его развития, представлены последние достижения в области получения губчатого титана, слитков титана и его сплавов, а также производства титановых полуфабрикатов и их сварки. Значительное внимание было уделено вопросам применения титана в авиационной, химическом

машиностроении, медицине. Особо отмечалась перспективность применения жаропрочных интерметаллидных материалов на основе титана при разработке самолетов нового поколения.

От ИЭС им. Е. О. Патона были представлены доклады Б. Е. Патона, Н. П. Тригуба, Г. В. Жука «Производство высококачественных слитков, полуфабрикатов и заготовок изделий из титана методом электронно-лучевой плавки»; С. В. Ахонина, В. Ф. Топольского, Р. Н. Мищенко, И. К. Петриченко, Э. Л. Вржижевского «Свариваемость и служебные характеристики титанового листа ВТ6, полученного методами ВДП и ЭЛП»; В. П. Прилуцкого, В. Ю. Белоуса, С. В. Ахонина «Высокоэффективный способ дуговой сварки титановых сплавов большой толщины в узкой зазор»; С. Л. Антонюка, В. А. Трофимова, А. Г. Моляра, С. В. Ахонина, В. Ф. Топольского «Эксплуатационные характеристики нового высокопрочного титанового сплава Т110», посвященные развитию электронно-лучевой плавки титана, созданию новых титановых сплавов и усовершенствованию технологий их сварки. Представленные сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона доклады вызвали большой интерес у участников конференции, а последний доклад занял первое место в конкурсе стеновых докладов.

Согласно прогнозу участников конференции ожидается увеличение потребления проката титана с 75 тыс. т в 2005 г. до 100 тыс. т в 2010 г. При этом основной рост потребления намечается в гражданском авиационном, промышленном машиностроении (теплообменники, опреснители, нефтедобыча, химическое оборудование) и в производстве изделий медицинского назначения (эндопротезы, импланты, инструмент и др.). Новой перспективной областью использования титана является применение его в производстве электродов для нахо-



дящих все более широкое применение систем обеззараживания воды, в том числе питьевой, основанных на процессе электролиза в потоке воды.

Для удовлетворения потребностей рынка планируется увеличить производство губчатого титана со 107 тыс. т в 2006 г. до 146 тыс. т в 2008 г. В России, Японии, Казахстане и Украине увеличение объемов производства губчатого титана будет осуществляться за счет модернизации и расширения существующих производств, а в США к началу следующего года возобновят производство губчатого титана на ранее закрытых по экологическим соображениям заводах. Однако основной рост объемов производств губчатого титана будет достигнут в Китае за счет расширения двух существующих и строительства еще двух новых заводов. К 2010 г. в Китае планируют производить до 40 тыс. т губчатого титана в год по сравнению с 10 тыс. т в 2005 г.

Несмотря на то, что основным способом выплавки слитков титана и его сплавов в настоящее время является технология вакуумно-дугового переплава, наиболее прогрессивной признана технология электронно-лучевой плавки титана и до 2010 г. плавильные мощности ЭЛП будут увеличены до 85 тыс. т слитков в год по сравнению с существующими мощностями в 54 тыс. т слитков в год.

Задача производства полуфабрикатов из титановых сплавов с улучшенными физико-механическими характеристиками в настоящее время решается как путем

создания новых титановых сплавов, так и разработкой эффективных способов и режимов термомеханической деформации для уже существующих сплавов. Значительное внимание в докладах было уделено технологиям получения изделий из титановых сплавов методами порошковой металлургии, в том числе с использованием порошков гидрида титана.

Из всего разнообразия сварочных технологий на конференции наибольшее внимание было уделено вопросам сварки изделий из титановых сплавов большой толщины, для решения которых использовали способы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом в узкий зазор и электронно-лучевой сварки. Кроме того, достаточно подробно были представлены технологии производства сварных титановых труб различного назначения.

Как показали представленные доклады, в России продолжают интенсивные работы по разработке технологии получения высококачественного 70% ферротитана из первичной шихты (ильменита, рутила) методами внепечной металлургии, однако успехов в этой области пока не достигнуто.

В заключение хотелось бы отметить высокую организацию проведения конференции и выразить благодарность ее организаторам в лице ЗАО «Межгосударственная организация «Титан» и его председателю А. В. Александрову.

С. В. Ахонин, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)



12-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПО СВАРКЕ, РЕЗКЕ И РОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ «СВАРКА 2006»

С 30 мая по 2 июня в Выставочном комплексе «Ленэкспо» в Санкт-Петербурге прошла 12-я Международная выставка по сварке, резке и родственным технологиям «Сварка 2006», которую по праву считают главной специализированной выставкой в странах СНГ и Балтии, что признается международным сообществом сварщиков. Популярность выставки в значительной мере предопределена тем, что Санкт-Петербург является одним из крупнейших научно-промышленных и культурных центров России, где сосредоточены предприятия ведущих отраслей промышленности, транспорта, электроэнергетики, составляющие основу экономики страны.

Выставка проходила в новом павильоне, который в настоящее время является самой современной площадкой для экспозиций в Санкт-Петербурге (площадь 9000 м²). Ее организаторами выступили ОАО «Ленэкспо», Институт сварки России, Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона России при поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ, Администрации Санкт-Петербурга, Российской инженерной академии, Академии электротехнических наук, Российского научно-технического

сварочного общества (РНТСО), Союза сварщиков Германии (DVS) при содействии Министерства путей сообщения, Госстроя РФ, Корпорации «Транстрой».





Тематика выставки «Сварка 2006» включала демонстрацию достижений в области новых технологий и оборудования для сварки, резки, термообработки и нанесения покрытий; разработки и производства сварочных и наплавочных материалов, систем вентиляции и кондиционирования воздуха, средств защиты сварщиков и окружающей среды; создания специализированных видов оборудования и технологий.

На пресс-конференции перед открытием выставки ее организаторы отметили, что положительным является тот факт, что наблюдается тенденция к увеличению представительства на выставке фирм-производителей сварочной продукции в сравнении с торгующими фирмами. Отрадно, что в России создана государственная программа развития сварочного производства на период до 2010 г. и она принята федеральным агентством по промышленности. Следствием этого может быть, в частности, стабилизация положения с кадрами. Молодые специалисты смогут поверить в перспективность своей деятельности в сварочном производстве, где им будет обеспечена достойная зарплата и условия труда. Отмечалась необходимость налаживания координации действий Союза разработчиков и производителей сварочного производства РФ (президент В. В. Смирнов) и РНТСО.

В. В. Смирнов осветил роль созданного союза, который в условиях прекращения деятельности многих научных центров (на базе отраслевых институтов) призван помочь объединению специалистов сварочного производства для выработки общей технической политики, координации деятельности с РНТСО. Союз включает 9 комитетов: по стандартам, образованию и науке, оборонной технологии, сварочным материалам, сварным конструкциям, экологии и др.

В выставке приняли участие около 250 фирм, являющихся крупными, средними и мелкими разработчиками, производителями и торгующими организациями из 18 стран (России, Украины, Беларуси, Литвы, Германии, Испании, Италии, Венгрии, Австрии, Турции, Франции, Дании, Бельгии, Китая, Швеции, Швейцарии, Финляндии). Среди них такие известные компании, как ESAB, KEMPPPI, Fronius, Deloro Stellite, Abicor Binzel, Awelko, Boehler Thyssen, Kuka Schweißanlagen, Messer Catting, Migatronic, Oerlicon, Sabaros, Selco, Polysoude и др. В российской экспозиции было представлено свыше 140 предприятий и фирм. Достаточно широко были представлены, в частности, производители сварочных материалов — это Волгодонский, Лосиноостровский, Санкт-Петербургский электродные заводы, Межгосметиз, Сибэс, Судиславский завод сварочных материалов, Спецэлектрод и др. Санкт-Петербург и Ленинградская область РФ были представлены региональными компаниями — ФГУП, ЦНИИ ТС, СП ЗАО «Красс», ГК «Кондиционер-сервис», НПП «ФЕБ», ЗАО «Электродный завод», НПП «Сизод»,

«СовПлим», «Линде Газ» и др. От Украины в выставке приняли участие Институт электросварки им. Е. О. Патона, Каховский завод электросварочного оборудования (крупнейшая в Украине и СНГ компания, специализирующаяся на проектировании, изготовлении, комплексной поставке и сервисном обслуживании широкой гаммы современного оборудования для дуговой и контактной сварки), Симферопольский электромашиностроительный завод фирма «СЭЛМА» (крупный производитель электросварочного и специализированного оборудования, в России представлен компанией ИТС), Донмет (крупнейшее в Украине предприятие по проектированию и производству сертифицированного газокислородного оборудования для резки, сварки и пайки металлов), «ЗОНТ» (производство и модернизация машин для газокислородной и плазменной резки), Коин (разработка, изготовление и поставка самозащитных и газозащитных порошковых проволок), Симферопольский моторный завод (производство высокоэффективной и энергоэкономной сварочной аппаратуры — инверторы и чопперы). Среди новых разработок в области высоких технологий можно отметить роботизированные комплексы фирмы «Kuka Schweißanlagen» (Германия), установки для контактно-стыковой сварки Schlater (Швейцария), оборудование для сварки трением с перемешиванием фирмы ESAB (Швеция), гибридных видов сварки «Fronius» (Австрия) и др.

Экспозиция ИЭС им. Е. О. Патона отличалась хорошим оформлением стенда, наличием печатных изданий и каталога, отражающего разработки института за последние 5 лет. Особый интерес у посетителей выставки вызвали разработки ИЭС, связанные со сваркой живых тканей и сваркой в космосе, контактно-стыковой сваркой рельсов, электронно-лучевой сваркой, взрывными технологиями и сваркой трением. Представители многих промышленных предприятий из России, Белоруссии, других стран СНГ проявляли желание восстановить прежние связи в части использования новых технологий сварки, наплавки и нанесения покрытий, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона.

Интересным и полезным дополнением к программе выставки этом году послужило проведение конкурса дипломных проектов выпускников сварочных кафедр вузов Санкт-Петербурга. Конкурс проводился с целью привлечения внимания общественности, правительства города и предпринимателей к проблемным вопросам развития сварочных технологий в условиях заметного падения престижности специальности инженера-сварщика.

Традиционным было проведение конкурса на звание «Мисс Сварка Санкт-Петербурга-2006». В нем приняли участие девушки до 18 лет, работающие в профильных организациях. Они боролись за главный приз конкурса — путевку на Кипр.



В рамках выставки «Сварка 2006» состоялась Международная конференция «Актуальные проблемы сварочного производства», работа которой проходила в трех секциях: «Сварочное оборудование», «Сварочные материалы» и «Стандартизация, сертификация и подготовка кадров».

На секции «Сварочное оборудование» было заслушано 12 докладов. Четыре из них представил Институт сварки России: «Закон РФ о техническом регулировании применительно к электросварочному оборудованию» (О. А. Цукуров), «Специальное оборудование для наплавки-сварки тел вращения» (В. В. Глазов), «Оборудование и технологии диффузионной сварки медных и алюминиевых конденсаторов» (М. А. Сорокин), «Расчет индуктивностей рассеяния трансформаторов двухмостовых сварочных выпрямителей» (П. Д. Федоров). Большой интерес у слушателей вызвали два презентационных сообщения представителей фирм «Kuka Schweissanlagen Group» (Германия) и «Lincoln Electric» (США), в которых были освещены достижения в области разработки и изготовления гибких производственных систем для автомобильной и металлообрабатывающей промышленности (Kuka) и современном сварочном дуговом оборудовании для профессионалов («Lincoln Electric»).

На секции с докладами выступили также представители завода «Электрик» (С.-Петербург), ГKNПЦ им. М. В. Хруничева (Москва), ЗАО «Псковэлектросвар» (Псков) и др.

На секции «Сварочные материалы» было заслушано около десяти докладов. От руководства секции с обзором современного состояния производства сварочных материалов в СНГ выступил д-р техн. наук З. А. Сидлин. Он, в частности, отметил, что в настоящее время производство их сосредоточено в России (70 %) и Украине (25 %) и лишь 5...6 % приходится на другие страны СНГ. В последнее время осваивается производство сварочных материалов в Казахстане, Узбекистане, вскоре будет в Азербайджане. Общий объем производства в СНГ составляет 220 тыс. т. В РФ наметился подъем производства: на 1,6 % за последний год, ожидается прирост на 4 % в 2006 г., затем на 10 % в 2007 г., а к 2010 — на 30 %. В целом ситуация на рынке СНГ стабилизировалась. Сварочные материалы России и Украины доминируют на рынке СНГ. Характерна тенденция в становлении предприятий среднего (по объему производства) уровня. Пример — Мценск-Госметиз, Волгодонский электродный завод и др. Такие предприятия расширяют номенклатуру производимых материалов, осваивают производства проволок, керамических флюсов. Это происходит на фоне ухода с рынка крупных производителей с ограниченной номенклатурой производства из-за недостаточной их загруженности. Остановилась «вахханалия» с элект-

тродами-«заменителями» из-за их низкого качества. Сегодня, например в группе Э-46А электродов доминируют рутиловые электроды вследствие востребованности их на рынке. Наблюдается тенденция вклада средств в новые разработки, улучшения товарного вида материалов, их упаковки и маркировки, повышения точности размеров и др. Это снижает возможности фальсификации, переупаковки, перепродажи. Улучшаются сварочно-технологические свойства материалов, предпринимаются попытки потеснить импортные электроды, используемые, например, в трубопроводном транспорте. Для сварки нержавеющей сталей шире используются электроды с рутило-основным покрытием. Разрешена казавшаяся тупиковой ситуация с поставкой поташа. Найдена возможность использования низкоуглеродистых проволок с повышенным содержанием алюминия. Все это положительные моменты. Но впереди предстоит большая техническая работа с тем, чтобы выдержать конкуренцию с зарубежными производителями, особенно в условиях вступления в ВТО.

От ИЭС им. Е. О. Патона были сделаны два доклада: «Новые исследования и разработки сварочных порошковых проволок и совершенствование технологии их изготовления (д-р техн. наук В.Н.Шлепаков) и «Перспективы использования сварочной проволоки из полуперспективной стали для изготовления сварочных электродов» (канд. техн. наук И. Р. Явдошин), вызвавшие большой интерес. Были также заслушаны доклады представителей С.-Петербургского ГПУ, ГНЦ ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ОАО ИТЦ «Прометей», ЗАО «Электродный завод», ОАО «Межгосметиз-Мценск» и др.

На третьей секции «Стандартизация, сертификация и подготовка кадров» были представлены доклады ГУ «НИКТИ СП с ОП», ОАО «Институт сварки России», «МАТИ»—РГТУ им. К. Э. Циолковского, ОАО ИТЦ «Прометей» и др. Тематика семинара включала обсуждение вопросов стандартизации, аттестации и технического нормирования в области сварки, международной практики системы менеджмента качества, методике аудита, развития систем сертификации, опыту профессионального образования.

Одновременно с выставкой «Сварка 2006» проходили специализированные выставки «Защита от коррозии» с Международной конференцией «Новые материалы и технологии защиты от коррозии» и Химический форум «Технохимия» вместе с выставкой «Лаки, краски и покрытия». На выставке экспонировались достижения около 60 предприятий и фирм из Бельгии, России, Германии, Голландии, Финляндии и Польши.

В заключение следует отметить, что выставка «Сварка» все в большей степени становится реальным инструментом развития и совершенствования промышленного производства. Она дает возможность участникам продемонстрировать последние научно-технические достижения в этой области, способствует их внедрению в практическое производство, становится прекрасной площадкой для обмена опытом между специалистами, установления новых деловых контактов, служит расширению международных связей, улучшению взаимопонимания и сотрудничества.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук
Н. Г. Третьяк, канд. техн. наук

ПАМЯТИ В. А. ТИТОВА



20 июня 2006 г. на 47-м году ушел из жизни генеральный директор Опытного завода сварочного оборудования Института электросварки им. Е. О. Патона, лауреат премии Ленинского комсомола 1989 г., кандидат технических наук Владимир Александрович Титов.

Получив образование в Волгоградском политехническом институте (1982), В. А. Титов был распределен

в Институт электросварки, где занимался вопросами обработки сварных соединений взрывом. В 1982 г. В. А. Титов в составе молодого коллектива ученых становится лауреатом премии Ленинского комсомола за цикл исследований, направленных на повышение надежности и долговечности металлоконструкций обработкой взрывом. В 1991 г. В. А. Титов инициирует создание при ИЭС им. Е. О. Патона малого предприятия «Экспловелд», сумевшего в короткие сроки стать известным в Украине поставщиком сварочного оборудования и материалов. Приняв в 1997 г. руководство Опытным заводом сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона, В. А. Титов с сложное для завода время сумел обеспечить его эффективную работу, и оно стало ведущим в Украине по выпуску

специализированного сварочного оборудования, применяемого на важных объектах промышленности. В. А. Титов не был безучастным к судьбе журнала «Автоматическая сварка». В сложное для него время «Экспловелд» оказывал материальную поддержку, являясь генеральным спонсором журнала.

В. А. Титов был талантливым инженером, ученым, неординарным руководителем. Он был жестким, требовательным к себе и к людям, неудобным для многих, но в то же время чутким, заботливым, добрым не только к своим близким, но и ко всем, с кем его сводила судьба. Он умел ставить перед собой задачи, многим казавшиеся невыполнимыми, и умел находить верные решения. Никогда не уклонялся от борьбы, жил всегда на острие событий Института электросварки, Опытного завода сварочного оборудования, Академии наук Украины. Был преданным, надежным другом и непримиримым оппонентом. Рядом с ним жизнь была не всегда комфортной, но всегда активной и вела к прогрессу как в сварочном деле, так и в человеческих отношениях.

Невосполнимая потеря. Эти слова не просто дань уважения замечательному человеку, это реальность, которая болью отзовется в сердцах и судьбах многих людей. Светлая ему память.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редакция и редколлегия журнала «Автоматическая сварка»

Книги ❖ Монографии ❖ Труды конференций

- Ryabov V.R., Dobrushin L.D., Jung-Gi Moon. *Welding of Bimetals*. — 2003. — 130 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$*.
- Lysak V.I., Kuzmin S.V. *Explosive Welding of Metal Layered Composite Materials*. — 2003. — 118 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$.
- Juttner B., Vasenin Yu.L. *Cathodic Processes of the Metal Vapor Arc*. — 2003. — 68 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах*: Сб. докл. Междунар. конф., 16–20 сент. 2002 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В.И. Махненко. — 266 с., формат 200×290 мм, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Laser Technologies in Welding and Materials Processing*: Сб. докл. Междунар. конф., 19–23 мая 2003 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — 2003. — 256 с., формат 200×290 мм (англ. яз.), 100 грн./720 руб./38\$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах*: Сб. докл. Второй Междунар. конф., 13–17 сент. 2004 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. И. Махненко. — 256 с., формат 200×290 мм, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Контактная сварка и другие виды сварки давлением*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за 2001–2005 гг., по проблемам различных видов сварки давлением. — 2005. — 128 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн./720 руб./38\$.
- *Трубопроводный транспорт*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журналах «Автоматическая сварка» и «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» за 2001–2005 гг., по проблемам трубопроводного транспорта. — 2005. — 178 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн./720 руб./38\$.
- *КАТАЛОГ. Технологии. Материалы. Оборудование*. Содержит информацию о разработанных в последние годы в ИЭС технологиях, материалах и оборудовании для сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов, предлагаемых для коммерческой реализации. — 2005. — 260 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./960 руб./50\$.
- *ТИТАН: технологии, оборудование, производство*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за 2001–2004 гг., по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. — 2005. — 196 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./960 руб./50\$.
- Письменный А. С. *Индукционный нагрев при сварке и родственных технологиях*. — 2005. — 140 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 25 грн./240 руб./20\$.
- Гарашук В.П. *Вступ до фізики лазерів*. — 2005. — 244 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 40 грн./360 руб./38\$.
- *Laser Technologies in Welding and Materials Processing*: Сб. докл. Второй междунар. конф., 23–27 мая 2005 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — 2005. — 246 с., формат 200×290 мм (англ. яз.), 100 грн./720 руб./38\$.
- Makhnenko V. I., Pochynok V. E. *Strength Calculation of Welded Joints with Adjacent Sharp Cavities* (англ. яз.). — 2006. — 266 с. — формат 165×235 мм, мягкий переплет, 250 грн./2250 руб./90\$.
- Kononenko V. Ya. *Technologies of Undewater Wet Welding and Cutting*. — 2006. — 140 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 100 грн./900 руб./40\$.

По вопросам заказа просьба обращаться
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»
Тел./факс: (38044) 271 24 03, 529 26 23, 528 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua

* Цены указаны с НДС соответственно для Украины, России и дальнего зарубежья с учетом доставки заказной бандеролью.

Более 13 лет на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

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



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

Электромашино-
строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**



**60 лет
в мире сварки**



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

www.selma.ua

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

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

**Разработка, производство, внедрение
Порошковые проволоки
для сварки, наплавки и напыления**

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



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



г. Киев, 03150,
ул. Боженко, 11
www.gefest-sv.com.ua
gefest-sv@kiev.web.com.ua

тел./факс: (38044) 200-88-33

**Производство высококачественных
электродов для:**

- Сварки высоколегированных сталей
 - ОЗЛ-6
 - АНЖР-1
 - ЦА-11
 - АНЖР-2
 - ЭА-48М/22
 - ЦТ-15
- Сварки теплоустойчивых сталей
 - ЦУ-5
 - ТМУ-21У
 - ЦА-39
 - 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)
 - ЦНИИИ-4

А также множество других марок
на заказ

ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ СОЗДАВАТЬ!

Вся продукция СЕРТИФИЦИРОВАНА

**ЭЛЕКТРОДЫ
ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ
ФЛЮСЫ**

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

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

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

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

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

Порошковые проволоки для наплавки
по ГОСТ 26101-84

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

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК

-ВЕЛТЕК Н200 - Н620

Порошковые проволоки для сварки

-АН1,АН8,АН39,АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ

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

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

ул. Полевая, 24, офис 504

03056, Киев, Украина

тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485

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



**ПРОИЗВОДСТВО
ПРОДАЖА
СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ**



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



➤ Автономные мобильные сварочные комплексы на базе резонансных преобразователей



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

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

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

"ИЭС - ЭПС"

ОАО "ЗОНТ"
АВТОГЕНМАШ

Машины для термической резки "Комета М"
Машины для микроплазменной резки "Метор"
Переносные газорезущие машины "Радуга"
Машины для фигурной газокислородной резки "АСШ - 70М"

Капитальный ремонт и модернизация МТР
Поставка источников плазменной резки,
насосов, теплообменников и газосных частей
к крупнейшему оборудованию

oaozont@zont.com.ua т. +38048 717-00-50
www.zont.com.ua ф. +38048 715-69-50
65104, Украина, пр. Маршала Жукова, 103

Завод автогенного оборудования
г. Краматорск

Сертифицированная продукция!

РЕЗЕРВ

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

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

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

E-mail: svarka@donmet.com.ua

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



СпецСплав www.spetssplav.dp.ua



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

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

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

ЗАРЕЗЕРВИРУЙТЕ место
для Вашей рекламы
в следующих номерах.

Звоните:
(044) 529 26 23, 287 63 02



**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ
И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ**

2-я Международная научно-методическая конференция

11–14 сентября 2006 г. г. Мариуполь

Организаторы

- ✓ Министерство образования и науки Украины
- ✓ Общество сварщиков Украины
- ✓ УНЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ»
- ✓ Приазовский ГТУ
- ✓ ОАО «Азовмаш»
- ✓ ОАО «Сталькон»

Программа конференции (пленарные и секционные заседания)

- ✓ Повышение качества и эффективности процессов сварки и других родственных технологий
- ✓ Проблемы проектирования, изготовление и эксплуатации сварных конструкций
- ✓ Система сертификации продукции сварочного производства
- ✓ Проблемы совершенствования подготовки кадров в условиях многоуровневой системы высшего образования

Справки по тел.: (0629) 31 69 70, 31 65 79, 31 65 86

**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 отступить 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 11.07.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.

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