



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

Сварочное производство Уралмашзавода. Этапы становления
и развития 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Поляков С. Г., Рыбаков А. А., Ныркова Л. И. Компьютерные
программы расчета эффективности защиты трубопроводов
методом нелинейной поляризации 7
Бушма А. И., Васенин Ю. Л., Кривцун И. В. Моделирование
процесса лазерного напыления керамических покрытий с учетом
рассеяния лазерного пучка напыляемыми частицами 12

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Корниенко А. Н., Жадкевич А. М. Разработка и применение
паяных решетчатых и сотовых конструкций в авиационной
технике (Ретроспективный обзор) 18
Ткаченко А. Н., Воскресенский А. С. Применение дуговой
точечной сварки при изготовлении кузовов вагонов 26
Игнатченко П. В., Бугай А. И. 15 лет Ассоциации «Электрод» и
анализ состояния производства сварочных материалов в странах
СНГ за 2000–2004 годы 29
Марченко А. Е. Технология как объект и инструмент
менеджмента качества в производстве сварочных электродов 33
Кучерова М. И., Белов Ю. М., Ранцев А. А., Арсюков Д. В.
Разработка электродов с высокими сварочно-технологическими
свойствами для наплавки 42
**Баранов А. В., Брусницын Ю. Д., Кащенко Д. А., Соколов
А. А.** Совершенствование технологий производства сварочных
электродов 43
**Орлов Л. Н., Голякевич А. А., Титаренко В. И., Пелешко
В. Н.** Восстановительная наплавка порошковой проволокой
деталей металлургического и горнодобывающего оборудования 45
Гежа В. В., Бишоков Р. В., Шекин С. И., Мельников П. В.
Новые сварочные материалы для изготовления конструкций из
хладостойких сталей в различных отраслях промышленности 51

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Кононенко В. Я. Применение технологии механизированной
подводной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» 53
Еремин Е. Н. Применение комбинированного электрода при
электрошлаковой сварке материалов малых толщин 54
Новости 56
Диссертации на соискание ученой степени 57
Патенты в области сварочного производства 58
По зарубежным журналам 61
Новая книга 64

ХРОНИКА

Научно-техническая конференция «Проблемы сварки,
металлургии и родственных технологий» 66
К. А. Ющенко — 70 66
Е. А. Аснису — 70 68
А. Т. Зельниченко — 50 68

ИНФОРМАЦИЯ 69

Указатель статей за 2005 г. 72
Указатель авторов 77

Разработано в ИЭС 28, 52

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. Yushina
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 manufacturing in Uralmash plant. Stages of evolution
and development 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Polyakov S. G., Rybakov A. A., Nyrkova L. I. Computer programs
of calculation of effectiveness of pipeline protection using the method
of a non-linear polarization 7

Bushma A. I., Vasenin Yu. L., Krivtsun I. V. Modeling of process of
laser spraying of ceramic coatings with account for laser beam scat-
tering by particles being sprayed 12

INDUSTRIAL

Kornienko A. N., Zhadkevich A. M. Development and application of
brazed lattice and honeycomb structures in aircraft engineering (Retros-
pective review) 18

Tkachenko A. N., Voskresensky A. S. Application of arc spot weld-
ing in manufacture of railway car bodies 26

Ignatchenko P. V., Bugaj A. I. 15 years of Association «Electrode»
and analysis of state-of-the-art of manufacture of welding consu-
mables in CIS countries for 2000–2004 29

Marchenko A. E. Technology as an object and tool of quality manage-
ment in manufacture of welding electrodes 33

Kucherova M. I., Belov Yu. M., Rantsev A. A., Arsyukov D. V. De-
velopment of electrodes with high welding-technological properties for
surfacing 42

**Baranov A. V., Brusnitsyn Yu. D., Kashchenko D. A., Sokolov
A. A.** Improvement of technologies of manufacture of welding elec-
trodes 43

Orlov L. N., Golyakevich A. A., Titarenko V. I., Peleshko V. N. Res-
toration flux-cored wire surfacing of metallurgical and mining equip-
ment parts 45

Gezha V. V., Bishokov R. V., Shekin S. I., Melnikov P. V. New weld-
ing consumables for manufacture of structures of cold-resistant steels
in different branches of industry 51

BRIEF INFORMATION

Kononenko V. Ya. Application of technology of mechanized underwa-
ter welding in construction of sea ice-resistant stationary platform «Pri-
razlomnaya» 53

Eryomin E. N. Application of combined electrode in electroslag weld-
ing of thin materials 54

News 56

Theses for scientific degree 57

Patents in the field of welding 58

Review of foreign journals 61

New book 64

NEWS

Scientific-and-Technical Conference «Problems in welding, metallurgy
and Related Technologies» 66

K. A. Yushchenko is 70 66

E. A. Asnis is 70 68

A. T. Zelnichenko is 50 68

INFORMATION 69

Index of articles for 2005 72

Index of authors 77

Developed at the PWI 28, 52

*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.*

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО УРАЛМАШЗАВОДА. ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

В декабре 2005 г. машиностроители Уралмашзавода отмечают знаменательное событие — 75-летие сварочного производства завода. Создание сварочного производства начиналось одновременно с его строительством. Строящийся цех металлоконструкций с 1930 г. стал выпускать сварные конструкции. Начальник строительства завода А. П. Банников горячо поддерживал зарождение технологического процесса сварки взамен процесса клепки при изготовлении металлоконструкций: *«Другие заводы металлические конструкции везут из-за границы или с южных заводов. Не можем мы допустить такую роскошь — платить золотом за железо и заклепки. Сами сделаем!»*.

Созданный отдел по проектированию, производству металлоконструкций возглавил молодой инженер Г. П. Михайлов, который уже в марте 1931 г. на Третьем всесоюзном автогенном съезде в Москве рассказал об опыте изготовления сварных конструкций подкрановых балок для кранов грузоподъемностью 50 т и длиной пролета 10 м. Сварные металлоконструкции стали первой продукцией Уралмашиностроя.

Г. П. Михайлов оказал определяющее влияние на отношение к сварке при строительстве Уралмашзавода. По его инициативе были организованы курсы по подготовке и обучению сварщиков, специализации инженерно-технических работников в области сварки. Крупнейшие отечественные специалисты сварочного дела В. П. Вологдин, К. К. Хренов и другие подготовили группу специалистов, состоящую из 39 человек, первый выпуск которых состоялся в 1930 г. Прделанная работа по подготовке специалистов по сварке очень быстро дала положительные результаты. К середине 1930-х гг. Уралмашзавод стал общепризнанным лидером по изготовлению сварных конструкций крупных размеров в бывшем СССР.

В период военного времени сварочные процессы получили необычайно широкое развитие. Уралмашзавод практически полностью перешел на выпуск военной техники, что потребовало в кратчайшие сроки освоения новых технологий и оборудования. И снова следует отметить роль Г. П. Михайлова, но в этот раз как крупнейшего ученого-электротехника. Он создает новое научное направление — высокопроизводительный процесс сварки трехфазной дугой. Подобные работы за рубежом тогда еще не проводились. Сварка трехфазной дугой эффективно использовалась при изготовлении сварных корпусов средних, тяжелых танков и самоходных артиллерийских установок в годы войны.

Послевоенный период (1945–1958 гг.) характерен широким применением новых сварочных процессов, особенно автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса в производстве ковшей чугуновозов емкостью 100 т, цементных печей длиной до 75 м, подъемных кранов грузоподъемностью до 175 т, первых отечественных шагающих экскаваторов ЭШ 14/65, серии блюмингов, крупных буровых установок, большого количества прокатного оборудования для отечественной промышленности и стран народной демократии и многое другое. В эти годы внедрены новые перспективные технологические процессы: полуавтоматическая газокислородная резка листового проката, поверхностная газопламенная закалка шаровых опор шагающего экскаватора, газопламенная наплавка баббитов на детали дробильно-размольного оборудования.

В 1958–1963 гг. на Уралмашзаводе проведена крупномасштабная реконструкция сварочного производства, в результате которой появился обособленный блок из 13 пролетов общей площадью более 100 тыс. м² с производственной мощностью свыше 100 тыс. т сварных конструкций для изготовления бурового оборудования, карьерных и шагающих экскаваторов, дробильно-размольного оборудования, агломашин, машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), тяжелых прессов и др. Под крышей блока разместились заготовительное и сборочно-сварочное производства, цехи комплектации и термопокраски. Для сокращения цикла изготовления металлоконструкций организован участок механической обработки сварных узлов массой до 70 т.

Наличие высотного пролета, размещение мостовых кранов большой грузоподъемности в двух ярусах позволяли изготавливать крупногабаритные изделия массой до 150 т. При необходимости конструкции могли подвергаться термообработке — отпуску для снятия напряжений или нормализации после электрошлаковой сварки в термических печах. Максимальные размеры узлов и деталей, загружаемых в печь, составляли 3,3×5,0×24 м.

В блоке были применены передовые по тем временам процессы: раскрой листового металлопроката на машинах с фотокопирами, сборка конструкций в приспособлениях и стендах, полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, автоматическая наплавка под слоем флюса. Основное технологическое оборудование — гильотинные ножницы, листопрямильные вальцы, пресс-ножницы, трубоотрезные станки — были оснащены порталными манипуляторами для загрузки и выгрузки, рольгангами, системой мерных упоров.

В последующие годы постоянно проводилось обновление оборудования, разработка и внедрение новых технологий. Машины для газокислородной резки с фотокопиром поэтапно заменялись на машины с ЧПУ фирм «Мессер Грисгейм», «Танака», ESAB. В 1980–1990-х гг. в сварочном производстве внедрены мощные гидравлические четырехвалковые вальцы фирмы «Хойслер», модель VRM 80x3600 и лазер-пресс с ЧПУ модели TRUMATIK 300LW фирмы «ТРУМПФ» для высокоточной вырезки заготовок из листов толщиной до 8 мм.

Наряду со сваркой постоянно совершенствовался процесс автоматической наплавки. К настоящему времени сварочное производство располагает оборудованием, современными технологиями и опытом автоматической наплавки углеродистых сталей коррозионностойкими, цветными и твердыми сплавами. Уровень технологических разработок по наплавке бронзы, композиционных сплавов для изготовления крупногабаритных деталей пар трения, для упрочнения тяжело нагруженных деталей и роликов МНЛЗ не уступает передовым достижениям российских и зарубежных фирм. Для наплавки роликов МНЛЗ в производстве функционирует специализированный участок.

Технология электрошлаковой сварки крупногабаритных изделий, в том числе цилиндрических, востребована так же, как и раньше. Имеющееся оборудование позволяет проводить сварку плавящимся мундштуком изделий толщиной до 2000 мм (для кольцевых швов — до 500 мм), длиной до 5700 мм, диаметром до 5000 мм и массой до 150 т.

За последние 10–15 лет существенно изменилась номенклатура оборудования, выпускаемого ОАО «Уралмашзавод». Завод перешел на выпуск технически сложного, тяжелого кранового оборудования для атомных электростанций и металлургических комбинатов, выпускает новое поколение МНЛЗ, в том числе по инжинирингу ведущих европейских фирм, таких, например, как «SMS-Demag» (Германия), оборудование для реконструкции каскада волжских ГЭС, для цементной промышленности и др.

Переход к выпуску новых видов продукции с повышенными требованиями к качеству сварных металлоконструкций потребовал соответствующей технической подготовки сварочного производства. Это коснулось как техники и технологических процессов, так и современных подходов к обеспечению системы менеджмента качества в производстве.



Рис. 1. Сварка металлоконструкции полуавтоматом «нового поколения» фирмы «Fronius» с использованием кассеты повышенной емкости типа «Marathon» (масса сварочной проволоки 475 кг)

В области достижений техники и технологии необходимо прежде всего отметить полный переход на сварку в защитных газовых смесях на основе аргона. За последние пять лет в сборочно-сварочном переделе существенно обновлено оборудование для полуавтоматической сварки. В производство внедрены современные сварочные полуавтоматы последнего поколения с программируемыми параметрами режимов сварки фирм ESAB (Швеция) и «Fronius» (Австрия).

Для изготовления длинномерных, крупногабаритных сварных машиностроительных конструкций при толщине свариваемого металла до 80 мм внедрено высокопроизводительное сварочное оборудование фирмы «Fronius» для сварки в режиме «TIME-про-

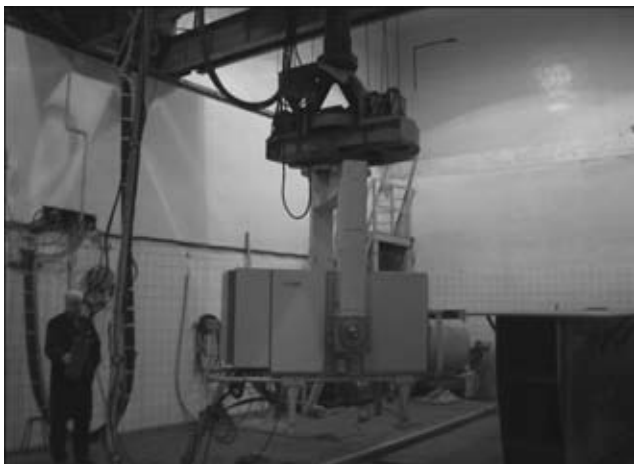


Рис. 2. Линейный ускоритель УЭЛВ-10-2Д-40

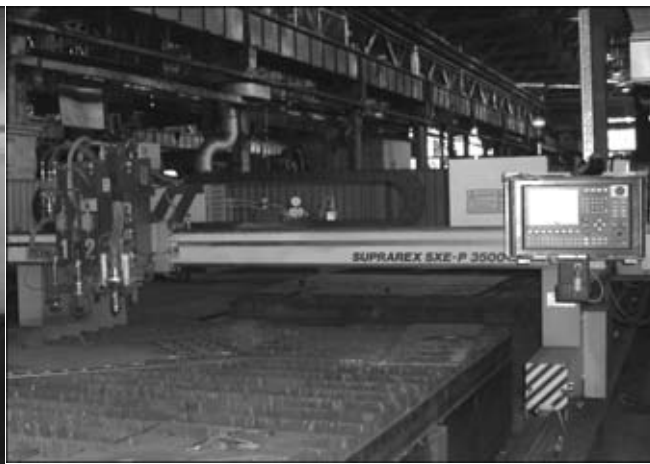


Рис. 3. Машина для термической резки с ЧПУ «Suprarex SXE-3500»

цесса» в многокомпонентных газовых смесях. Производительность процесса сварки достигает 12–15 кг наплавленного металла в час (рис. 1).

Для высокопроизводительного радиографического контроля крупногабаритных сварных узлов внедрен линейный ускоритель УЭЛВ-10-2Д-40 (рис. 2), обеспечивающий контроль сварных соединений с толщиной стенки от 100 до 500 мм.

В заготовительном переделе сварочного производства внедрена в эксплуатацию комбинированная машина с ЧПУ для термической резки (газокислородная резка + воздушно-кислородная плазменная резка + маркировочный блок), модель «Suprarex SXE-3500» фирмы ESAB (рис. 3). Стол машины оснащен системой вентиляции с фильтрацией удаляемых продуктов сгорания металла.

В 2004 г. введена в эксплуатацию отрезная автоматическая линия с ЧПУ на базе двухколонного ленточно-пильного станка «MEBA 560 GA-3300» фирмы «MEBA» (Германия) (рис. 4) для резки сортового проката, труб и профильного проката. Максимальное сечение разрезаемого проката до 560×700 мм, длина отрезаемых деталей в автоматическом режиме до 6000 мм, резка под любым углом (налево) в диапазоне 30–90°.

Основной объем металлопроката, запускаемого в производство, для изготовления сварных конструкций подвергается дробеструйной очистке и грунтовке на линии фирмы «Гутманн» (Германия) (рис. 5). Тщательная подготовка поверхностей сварных конструкций для обеспечения высококачественной окраски, надежная защита поверхности металлопроката от коррозии, повышение потребительских свойств и конкурентоспособности выпускаемой продукции, снижение трудоемкости газокислородной резки — результаты внедрения уникального оборудования фирмы «Гутманн».

Максимальная толщина обрабатываемого листового проката на линии 80 мм, ширина 2500 мм. Для профильного проката поперечное сечение составляет 1000×420 мм, длина — 12000 мм.

Для подтверждения возможностей в области сварки и с целью получения права изготовления сварных конструкций по требованиям международных стандартов Уралмашзавод с 1994 г. сертифицирует сварочное производство с привлечением фирмы DVS (Германия). В 2005 г. сварочное производство в очередной раз сертифицировано указанной фирмой с получением Сертификата качества по DIN EN 729-2 и Сви-



Рис. 4. Отрезная автоматическая линия с ЧПУ на базе двухколонного ленточно-пильного станка «MEBA 560 GA-3300»



Рис. 5. Линия дробеструйной очистки и грунтовки фирмы «Гутманн»

детельства о квалификации производителя по DIN 18800-7 (класс E).

Технологическое сопровождение работ в сварочном производстве, направления его технического перевооружения, современный уровень технического состояния определяет отдел главного сварщика Уралмашзавода, 60-летие образования которого будет отмечаться в январе 2006 г. Отдел главного сварщика — это коллектив высококвалифицированных специалистов с огромным опытом работы в области создания и изготовления ответственных крупногабаритных машиностроительных конструкций.

В развитие сварочного производства внесли большой вклад талантливые инженеры, организаторы и руководители сварочной службы, из-

вестные ученые в области сварки, которые в разное время работали на Уралмашзаводе — это Г. П. Михайлов, первый руководитель отдела по проектированию и изготовлению сварных конструкций на Уралмашинстрое, основатель кафедры сварки в УПИ им. С. М. Кирова; В. В. Степанов, начальник отдела сварки, а затем много лет заведовавший кафедрой сварки в УПИ; Н. И. Рыжков, главный сварщик, директор Уралмашзавода, затем председатель Совета Министров СССР; В. А. Батманов, известный специалист в области фундаментальных исследований по свариваемости чугуна, ремонтной сварке ответственных деталей из стальных и чугунных отливок; В. Д. Кудинов, создатель направления по автовакуумной наплавке цветных сплавов на основе меди и композиционной наплавке износостойких сплавов на основе карбидов вольфрама; З. И. Фридкис, автор способа наплавки баббитов; Е. А. Кириллов, главный сварщик Уралмашзавода с 1985 по 2001 гг. и др.

Многие оригинальные научные, технологические и конструкторские разработки внедрены в сварочном производстве и дали ощутимый экономический эффект от снижения трудоемкости изготовления металлоконструкций, повышения качества выпускаемой продукции благодаря совместному сотрудничеству со специалистами ИЭС им. Е. О. Патона, ФГУП «ЦНИИТМАШ», ФГУП «Прометей», УГТУ-УПИ.

Наличие универсальных сварочных мощностей и прогрессивных технологий, возможность производства сварных металлоконструкций широкого спектра по габаритам, массе и сложности в соответствии с требованиями Госгортехнадзора, Госатомнадзора и международных стандартов, наличие интеллектуального потенциала, высокий уровень профессиональной подготовки инженерно-технического и производственного персонала — ключевые компоненты современного сварочного производства Уралмашзавода на рынке изготовления сварных металлоконструкций.

В. А. Стародубцев, В. И. Фефелов, А. Ф. Сабельников, А. И. Малюшенко, А. И. Кузнецов
(ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург, РФ),
В. И. Панов («УралмашСпецсталь», г. Екатеринбург, РФ)



КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

С. Г. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук, А. А. РЫБАКОВ, канд. техн. наук, Л. И. НЫРКОВА, канд. хим. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана компьютерная программа расчета электрохимических параметров и проверена ее работоспособность в лабораторных условиях и условиях трассы при обследовании газопровода с помощью электрохимической микропроцессорной системы (ЭХМС). Полученные данные о скорости почвенной коррозии металла трубопровода удовлетворительно совпадают с данными массометрических измерений. Возможность оценки скорости остаточной коррозии металла трубопровода в дефекте покрытия с помощью ЭХМС и разработанной программы позволяет объективно судить о степени защищенности трубопровода и принимать обоснованное решение об очередности ремонта участков трубопровода с поврежденной изоляцией.

Ключевые слова: трубопроводы, изоляционное покрытие, коррозия, скорость коррозии, потенциал, эффективность защиты, потенциометрия, массометрия, компьютерные расчеты

Изучение механизма и кинетики коррозии стальных трубопроводов необходимо для практической оценки опасности разрушения подземных металлических сооружений и определения их эффективной электрохимической защиты.

Эффективность защиты трубопроводов от коррозии характеризуется скоростью коррозии металла трубопровода в дефекте изоляционного покрытия. Для расчета значений этой величины используют следующие параметры, определяемые по поляризационным кривым: поляризационный потенциал E_p , тафелевский наклон анодной поляризационной кривой b_a и скорость почвенной коррозии i_k . Таким образом, расчет эффективности защиты трубопровода от коррозии сводится к определению скорости почвенной коррозии и поляризационного потенциала трубопровода.

Скорость остаточной коррозии металла трубопровода в дефекте изоляционного покрытия $i_{k,0}$ рассчитывается по формуле

$$i_{k,0} = \bar{i}_k 10^{\bar{E}_p/b_a}, \quad (1)$$

где \bar{E}_p — среднее значение поляризационного потенциала.

Определение скорости коррозии металла в какой-либо среде является основной проблемой электрохимической кинетики. В настоящее время как у нас в стране, так и за ее пределами вопрос о способе определения скорости коррозии остается открытым. Ученые разных стран, работая над созданием компьютерных программ для расчета электрохимических параметров коррозионного процесса — скорости почвенной коррозии и тафелевских наклонов [1–11], пришли к выводу, что достоверность обрабатываемых данных зависит от вы-

бора способа снятия поляризационных кривых, а не от метода математической обработки результатов испытаний.

Для большинства систем металл–электролит потенциал коррозии E_k расположен довольно далеко от равновесных потенциалов анодной и катодной реакции. Зависимость плотности тока i от потенциала E описывается уравнением

$$i = i_k [10^{2,303(\eta/b_a)} - 10^{(-2,303\eta/b_k)}], \quad (2)$$

где $\eta = E - E_k$ — перенапряжение; b — постоянная Тафеля; индексы «а», «к» относятся соответственно к анодной и катодной реакциям.

Это уравнение чаще всего используют для нахождения коррозионных характеристик металла по данным поляризационных измерений.

Численный метод расчета скорости коррозии металлов и сплавов в точке перегиба можно рассматривать как альтернативный по отношению к методу поляризационного сопротивления Штерна и Гири [12]. Его применение не требует введения каких-либо ограничений относительно формы поляризационных кривых. Однако в большинстве случаев априорная оценка положения точки перегиба необходима, поскольку фактические значения наклонов анодного и катодного участков тафелевских прямых для исследуемой системы не известны. Кроме того, интервал значений электродного потенциала, полученных с помощью измерений, шире традиционного ($E_k = -10 \dots +10$) мВ. Метод точки перегиба может использоваться как в анодной, так и в катодной области потенциала. Это имеет большое практическое значение, поскольку для надежной оценки скорости коррозии необходимо знать эффективные значения тафелевских наклонов.

При определении скорости коррозии следует выбрать процедуру снятия поляризационных кривых в постоянном временном интервале. Это необходимо для того, чтобы проверить, является ли значение мгновенной скорости коррозии постоянным на протяжении всего данного исследования и установить аномальные условия, в значительной



степени влияющие на сопротивление процессу коррозии. Как показала практика, неудовлетворительные результаты могут быть получены, когда поляризационные кривые измеряли в течение более длительного (по сравнению с другими кривыми) времени. Кроме того, очень важно уменьшить или устранить влияние на электродную кинетику любого фактора, который существенно изменяет форму поляризационных кривых, например, сопротивление раствора между рабочим электродом и электродом, используемым для сравнения.

Из результатов опубликованных исследований становится очевидным, что успешное определение скорости коррозии зависит также от надежности численного метода обработки экспериментальных данных в реальном промежутке времени. Доказано, что метод NOLI в случае, если протекает более двух определяющих процессов из тех, что вносят существенный вклад в результирующую реакцию в интервале потенциалов ($E_k = -90 \dots +90$) мВ, не пригоден.

Математические выкладки. Значения наиболее важных электрохимических параметров можно определить, вычислив корень соответствующей функции и рассчитав элементарные соотношения, установленные между ними.

В оригинальной версии метода точки перегиба кинетический закон описывается следующим уравнением:

$$i(\Delta E) = i_k(e^{\alpha_a \Delta E} - e^{-\alpha_k \Delta E}), \quad (3)$$

где $\Delta E = E - E_m$; E_m — смешанный потенциал; α_a и α_k — величины, связанные соответственно с анодным и катодным тафелевскими наклонами соотношениями: $b_a = \alpha_a^{-1} \ln 10$ и $b_k = \alpha_k^{-1} \ln 10$. Кроме того, всегда справедливы соотношения $0 < \alpha_a < 1$ и $0 < \alpha_k < 1$.

Важность закона (3) обусловлена тем фактом, что с помощью кривых ток–потенциал описывается поведение большого класса коррозионных процессов одного типа. Как показал опыт, кривые ток–потенциал для металлов и сплавов, находящихся в разных агрессивных средах, подчиняются уравнению Тафеля, когда используется метод последовательного приближения.

Исходя из аналитического выражения для первой производной

$$i'(\Delta E) = i_k(\alpha_a e^{\alpha_a \Delta E} + \alpha_k e^{-\alpha_k \Delta E}), \quad (4)$$

становится очевидным, что $i'(\Delta E) > 0$ и функция (3) имеет минимум в середине интервала $(-\infty \dots \infty)$, поскольку $i'(\Delta E) \rightarrow \infty$ при $\Delta E \rightarrow -\infty$ и $i'(\Delta E) \rightarrow \infty$ при $\Delta E \rightarrow \infty$. Это означает, что вторая производная

$$i''(\Delta E) = i_k(\alpha_a^2 e^{\alpha_a \Delta E} - \alpha_k^2 e^{-\alpha_k \Delta E}) \quad (5)$$

имеет единственный корень в точке

$$\Delta E_i = 2 \frac{\ln(\alpha_k / \alpha_a)}{\alpha_a + \alpha_k}, \quad (6)$$

которая является точкой перегиба функции (3). Согласно математическому анализу точка перегиба

непрерывной функции $f(x)$ определяется условием $f^{(2n)}(x) = 0$, где n — целое положительное число.

Анализ уравнения (3) показал, что $\Delta E_i > 0$ при $\alpha_a < \alpha_k$ и $\Delta E_i < 0$ при $\alpha_a > \alpha_k$. Таким образом, положение точки перегиба зависит только от значений тафелевских наклонов.

Определить значения электрохимических параметров α_a , α_k , i_k можно, рассчитав корни следующих уравнений:

$$i'(0) = i_k(\alpha_a + \alpha_k); \quad (7)$$

$$i''(0) = i_k(\alpha_a^2 - \alpha_k^2); \quad (8)$$

$$\alpha_a^2 e^{\alpha_a \Delta E_i} - \alpha_k^2 e^{-\alpha_k \Delta E_i} = 0. \quad (9)$$

Объединив (7) и (8) и полагая $w = i''(0)/i'(0)$, получим соотношение

$$w = \alpha_a - \alpha_k. \quad (10)$$

С учетом (10) уравнение (9) приобретает вид

$$\alpha_a^2 e^{\alpha_a \Delta E_i} - (\alpha_a - w)^2 \alpha_k^2 e^{-\alpha_k \Delta E_i} e^{w \Delta E_i} = 0, \quad (11)$$

что дает возможность при известном значении ΔE_i рассчитать α_a .

Главным моментом представленной теории есть определение формы функции $F(\alpha_a)$ по уравнению

$$F(\alpha_a) = e^{\alpha_a \Delta E_i} [\alpha_a^2 - (\alpha_a - w)^2] e^{-2\alpha_k \Delta E_i} e^{w \Delta E_i} \quad (12)$$

в интервале (0,1) для того, чтобы установить, есть ли корень внутри этого интервала и выбрать численный метод его расчета.

С целью упрощения примем $\alpha_k > \alpha_a$, т. е. $\Delta E_i > 0$ и $w < 0$. Тогда получим $F(0) = -w^2 e^{w \Delta E_i}$ при $\alpha_a = 0$ и $F(\alpha) \rightarrow \infty$ при $\alpha_a \rightarrow \infty$. Это указывает на то, что $F(\alpha)$ имеет как минимум один корень. На следующем этапе необходимо доказать, что этот корень единственный.

Доказательство того, что $F(\alpha)$ имеет только один корень осуществляется путем введения функции $G(\alpha_a)$, которая описывается формулой

$$G(\alpha_a) = \alpha_a^2 - (\alpha_a - w)^2 e^{-2\alpha_k \Delta E_i} e^{w \Delta E_i}, \quad (13)$$

и его первой производной

$$G'(\alpha_a) = 2[\alpha_a + (\alpha_a - w) e^{-2\alpha_k \Delta E_i} e^{w \Delta E_i}][(\alpha_a - w)\Delta E_i - 1]. \quad (14)$$

При анализе выражения (14) можно рассмотреть три случая: $-w\Delta E_i > 1$; $-w\Delta E_i = 1$ и $-w\Delta E_i < 1$. В первых двух случаях всегда $G'(\alpha_a) > 0$ при $\alpha_a \neq 0$. При таких условиях функция $F(\alpha)$ монотонно возрастает, поскольку имеет только один корень. Третий случай является более сложным, поскольку нелегко установить аналитическую процедуру, если всегда $G'(\alpha_a) > 0$ при $\alpha_a \neq 0$.

Чтобы доказать, что $G'(\alpha_a) > 0$, нужно использовать неравенство

$$\alpha_a + (\alpha_a - w) e^{-2\alpha_k \Delta E_i} e^{w \Delta E_i} [(\alpha_a - w)\Delta E_i - 1] > 0. \quad (15)$$

Таким образом, необходимо найти приемлемый численный метод определения нижней границы α_{a1} , поскольку $G'(\alpha_a) > 0$, а $F(\alpha)$ — монотонно возрастающая функция при $\alpha_a > \alpha_{a1}$. Кроме того, положительное значение α_{a1} , которое отвечает минимуму $G(\alpha_a)$, меньше, чем корень $F(\alpha_a)$. Это обусловлено тем, что внутри интервала (0, α_{a1})



функция $G(\alpha_a)$ является монотонно убывающей и принимает отрицательные значения.

Остается показать, что для всех трех случаев $F(1) > 0$. Это легко доказать, проверив, выполняется ли неравенство

$$e^{\Delta E_i}(1 - (1 - w)^2 e^{-(2-w)\Delta E_i}) > 0. \quad (16)$$

Анализируя произвольно выбранные численные примеры и помня, что $|w| < 1$, справедливость неравенства (16) становится очевидной для случая $\Delta E_i \geq 1$. Более того, неравенство (12) дает прямое подтверждение того, что $\alpha_a < 1$.

Из изложенного ранее следует, что корень $F(\alpha_a)$ обеспечивает значимое решение при выполнении условия $0 < \alpha_{a1} < 1$. Если $\alpha_a > \alpha_k$, то $\Delta E_i < 0$ и $w > 0$, то приходим снова к случаю, когда обсуждается кривая ток-потенциал $h(\Delta E_r) = -i(-\Delta E)$, где $\Delta E_r = -\Delta E$ — новая переменная.

Теперь остается только проанализировать условие $\alpha_a = \alpha_k$, которое отвечает условию $\Delta E_i = 0$ и $w = 0$. В соответствии с этой гипотезой рассчитаем по идентичному уравнению (9) третью производную $i(\Delta E)$ при $\Delta E = 0$ и получим соотношение

$$\alpha_a = \sqrt{\frac{i'''(0)}{i'(0)}}. \quad (17)$$

Следует заметить, что, если ΔE_i принимает значения, близкие к нулю, то правильность неравенства (16) подвергается сомнению. Поэтому лучше принять $\Delta E_i = 0$ и рассчитать первое приближение по уравнению α_a (17).

Оценка плотности тока коррозии. Корень функции $F(\alpha_a)$ при $\alpha_a \neq \alpha_k$ можно рассчитывать с помощью метода Ньютона. Приведем выражение для его первой производной, которое с учетом (13) и (14) принимает вид

$$F'(\alpha_a) = \Delta E_i e^{\alpha_a \Delta E_i} G(\alpha_a) + e^{\alpha_a \Delta E_i} G'(\alpha_a). \quad (18)$$

Корень $F(\alpha_a)$ представлен предельным значением числовой последовательности

$$\alpha_{an} = \alpha_{a(n-1)} - \frac{F(\alpha_{a(n-1)})}{F'(\alpha_{a(n-1)})}. \quad (19)$$

Начальное значение может быть выбрано произвольно внутри данного интервала сходимости.

Если значения корня $F(\alpha_a)$ известны, то значения α_k можно вычислять из (10), а значения i_k находят, используя приближения разного характера. Таким образом, i_k можно рассчитать с помощью (7). При этом получим

$$i_k = \frac{i'(0)}{\alpha_a + \alpha_k}.$$

При использовании оригинальной версии метода точки перегиба выражение для расчета i_k принимает вид

$$i_k = \frac{i'(\Delta E_i)}{\alpha_a e^{\alpha_a \Delta E_i} + \alpha_k e^{-\alpha_k \Delta E_i}},$$

где $i'(\Delta E_i)$ — значение первой производной i по ΔE , полученное при использовании метода точки перегиба; ΔE_i — приращение потенциала, вычисленное по экспериментальным данным.

Значение i_k можно рассчитать и другим способом. Приняв $S(\Delta E) = e^{\alpha_a \Delta E} - e^{-\alpha_k \Delta E}$ и рассматривая пары $(\Delta E_k, i_k)$ при $k = 1, 2, \dots, N$, получим

$$i_k = \frac{\sum_{k=1}^N i_k S(\Delta E_k)}{\sum_{k=1}^N i_k S(\Delta E_k)^2}.$$

Главное преимущество указанных соотношений заключается в том, что правильность расчета значений скорости коррозии на основании экспериментальных данных подтверждается сопоставлением с данными, полученными при снятии поляризационных кривых.

Правильность предыдущих математических соображений оценена путем анализа некоторых примеров, благодаря которым можно также проверить сходимость числовой последовательности (19) и влияние выбора значения α_0 на эффективность метода Ньютона.

Что касается последнего заключения, то после предыдущей обработки решено принять $\alpha_{a0} = 0,1 \text{ мВ}^{-1}$, поскольку именно при таком значении α_{a0} получены наиболее удовлетворительные результаты во всех исследованных случаях. Кроме того, следует обратить внимание на то, что всегда $\alpha_a < 0,1 \text{ мВ}^{-1}$. Таким образом, нет необходимости в том, чтобы принимать значения α_{a0} , которые удовлетворяют неравенству $0,1 < \alpha_a < 1 \text{ мВ}^{-1}$.

Метод Ньютона является мощным инструментом для расчета корня уравнения (11), а начальное значение $\alpha_a = 0,1 \text{ мВ}^{-1}$ — правильным для достижения сходимости числовой последовательности после нескольких итераций (19) как при теоретических, так и при экспериментальных данных. На основании анализа расчетных кривых можно заключить, что корень уравнения (8) не зависит от относительных значений b_a и b_k .

Построенные кривые свидетельствуют о том, что числовая последовательность (19) есть конвергентной даже, если $-w\Delta E_i = 1,25 \cdot 10^{-4}$, что имеет место в случае $b_a = 89$ и $b_k = 90 \text{ мВ}$. Если экспериментальные поляризационные кривые наиболее точно описываются полиномом 4-й степени, то расчет скорости коррозии дает наиболее удовлетворительные результаты. Таким образом, эффективность численных методов обработки зависит от точности и воспроизводимости экспериментальных данных. Поляризационные измерения следует выполнять с использованием наиболее современных электрохимических методов, учитывая при этом влияние омического сопротивления на потенциал электрода.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Существует способ расчета тафелевских наклонов и мгновенной скорости коррозии, исходя из поляризационных кривых на основании использования короткой и простой компьютерной программы BetaCrunch, написанной на языке BASIC, которая базируется на последовательной подстановке известных значений b_k , b_a и i_k в (2) и



Таблица 1. Значения коэффициентов b_a , b_k и i_k , полученные с помощью программы BetaCrunch

Среда, кислотность	b_a , В	b_k , В	i_k , А/м ²
3%-й раствор NaCl, pH 4	0,043	0,093	0,146
3%-й раствор NaCl, pH 7	0,072	0,200	0,097
3%-й раствор NaCl, pH 9	0,051	0,176	0,026
Песок + 3%-й раствор NaCl, pH 4	0,065	0,249	0,240
Песок 3%-й раствор NaCl, pH 7	0,069	0,690	0,226

определении величин, которые дают наименьшее отклонение между экспериментальным и расчетным значениями плотности тока.

В настоящей работе исследована возможность применения данной программы для обработки полученных экспериментальных данных. Сделана попытка рассчитать с ее помощью константы b_k , b_a и i_k для стального электрода в 3%-м растворе NaCl с разными значениями pH и для датчика почвенной коррозии в среде, имитирующей грунт (песок + 3 % NaCl). Значения b_k , b_a и i_k , полученные с помощью программы BetaCrunch для указанного раствора, не поддаются интерпретации и, очевидно, лишены физического смысла. Рассчитать значение указанных параметров для почвы не удалось, поскольку программа при этом давала сбой и появлялось сообщение о необходимости проверки данных.

После неудачных попыток рассчитать значения b_k , b_a и i_k на основании поляризационных кривых, полученных экспериментально, работу программы проверили на следующем примере. Известно, что при коррозии железа в кинетической области с

образованием ионов двухвалентного железа $b_k = 0,12$ В, $b_a = 0,006$ В и $i_k = 0,4$ А/м². Согласно (2) рассчитаны значения пар точек $i-E$, которые описывают поляризационную кривую вблизи потенциала коррозии в интервале $(-0,55 \pm 0,05)$ В. Сделана попытка рассчитать b_k , b_a и i_k с помощью программы BetaCrunch. Однако, работа была прекращена, поскольку на экране компьютера появилось сообщение об отклонении данных от полученных из (2).

В поисках других путей расчета необходимых параметров разработана новая программа. Ее алгоритм основан на комбинации методов нелинейной минимизации. Целевая функция для данного алгоритма записывается в виде суммы квадратов отклонений экспериментальных и расчетных значений. Метод допускает задание интервала возможных значений по каждому параметру. Для расчета первых производных целевой функции по каждому из неизвестных используются аналитические выражения, матрица вторых производных (матрица Гессе) находится численно. Основной модуль программы написан на языке Фортран, модуль графического вывода — на языке C⁺.

Первый этап проверки работоспособности программы включал расчет b_k , b_a и i_k для тестового примера. Значения коэффициентов рассчитаны с точностью до третьего знака после запятой. Затем рассчитывали значения этих параметров на основании экспериментально полученных поляризационных кривых (табл. 1).

На рис. 1 и 2 показаны поляризационные кривые, полученные для раствора и почвы. Точками обозначены экспериментальные данные, а сплошной линией — рассчитанные по программе. Хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных для раствора свидетельствует о корректной работе указанной программы, а также о том, что данные эксперимента подчиняются уравнению (2). В случае почвы расчетная поляризационная кривая отклоняется от экспериментальной. Вероятнее всего, это обусловлено протеканием процессов, которые не учитываются уравнением (2).

В качестве примера применения данной программы в комплексе с электрохимической микропроцессорной системой (ЭХМС) [13–15] в зоне с положительной аномалией поляризационного потенциала проведены измерения скорости почвенной коррозии металла трубы и рассчитана скорость остаточной коррозии (табл. 2).

Из результатов расчета $i_{k,0}$ по (1) следует, что наиболее интенсивно разрушается стенка трубы на участке, расположенном на расстоянии 130 м от отметки 262 км. После этого в обследуемых местах были вырыты шурфы и обследовано состояние изоляции трубопровода. Во всех трех шурфах вследствие потери адгезионной прочности обнаружено растрескивание изоляции и ее отслаивание на поверхности трубы площадью 1...3 м². Очевидно, что ухудшение физико-механических свойств изоляционного покрытия обусловило снижение абсолютных значений поляризационных потенциалов в контрольных точках. Наиболее глубокие коррозионные повреждения трубы язвенно-

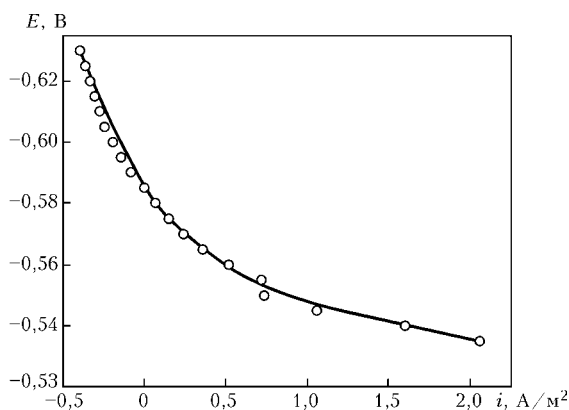


Рис. 1. Поляризационные кривые стали в 3%-м растворе NaCl (pH 4)

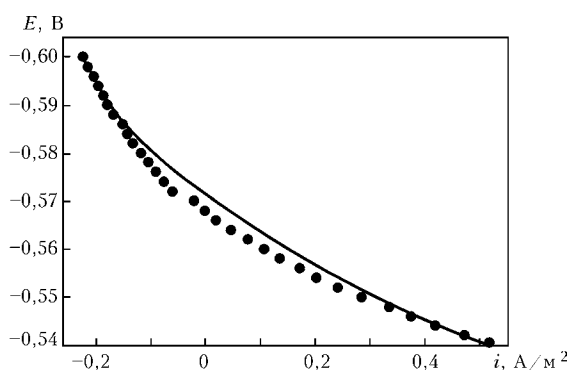


Рис. 2. Поляризационные кривые, полученные на датчике почвенной коррозии в среде, имитирующей почву



Таблица 2. Результаты обследования газопровода Ефремовка–Диканька–Киев станции катодной защиты ПСК-М-06

H, м	$E_p = -0,720 \text{ В}$ $E_k = -0,580 \text{ В}$ (40 м)		$E_p = -0,750 \text{ В}$ $E_k = -0,560 \text{ В}$ (115 м)		$E_p = -0,620 \text{ В}$ $E_k = -0,375 \text{ В}$ (130 м)	
	i_k , мм	$i_{k, \text{о'}}$ мм/год	i_k , мм	$i_{k, \text{о'}}$ мм/год	i_k , мм	$i_{k, \text{о'}}$ мм/год
0,75	0,18	0,009	0,20	0,0065	0,24	0,08
1,15	0,21	0,011	0,23	0,0071	0,27	0,11
1,50	0,24	0,015	0,25	0,0090	0,31	0,13

Примечания. 1. Расстояние от отметки — 262 км. 2. Режим работы станции: $U = 268 \text{ В}$; $I = 6 \text{ А}$. 3. H — глубина погружения датчика.

Таблица 3. Результаты определения скорости почвенной коррозии металла трубы 17ГС массометрическим методом в различных точках газопровода в зонах с положительной аномалией E_p

Параметр, мм/год (способ измерения)	Расстояние от отметки 262 км, м		
	40	115	130
i_k (в природных условиях на уровне нижней образующей трубопровода)	0,27	0,28	0,30
v_k (по методу массометрии)	0,52	0,50	0,57

го характера выявлены на участке, расположенном на расстоянии 130 м от отметки 262 км. Этот участок подлежит первоочередному ремонту.

На уровне нижней образующей трубопровода были установлены контрольные образцы из трубной стали марки 17ГС для определения скорости почвенной коррозии массометрическим методом. Спустя 1 мес образцы были извлечены из шурфов и определены значения скорости v_k почвенной коррозии. Кроме того, из шурфов извлекли пробы грунтов для определения коррозионной активности согласно ГОСТ 9.602–89 (табл. 3).

Сопоставляя данные табл. 3 с результатами скорости почвенной коррозии, полученными с помощью ЭХМС, можно отметить хорошее совпадение значений i_k и v_k .

Выводы

1. На основании проведенного анализа литературных данных о методах расчета электрохимических параметров коррозионного процесса можно заключить, что способы расчета скорости коррозии, направленные на обеспечение надежности получения и простоты обработки экспериментальных данных, с помощью которых описывают поведение большого количества электрохимических систем, нуждаются в усовершенствовании.

2. Использование разработанной программы расчета электрохимических параметров совместно

A computer program has been developed for calculation of electrochemical parameters and its performance has been verified in the laboratory and in the route, when testing a gas pipeline using an electrochemical microprocessor system (EChMS). It is shown that the obtained data on the rate of soil corrosion of pipeline metal correlate in a satisfactory manner with that of mass measurements. Possibility of evaluation of the rate of residual corrosion of pipeline metal in a coating defect using EChMS and developed program, allows an objective assessment of the degree of pipeline protection and taking a well-grounded decision on the sequence of repair of pipeline sections with damaged insulation.

с ЭХМС дает возможность получить объективные данные о скорости почвенной коррозии металла трубопровода и коррозионной активности грунта. Благодаря ЭХМС можно оценить скорость остаточной коррозии металла трубопровода в дефекте покрытия, что является важным критерием при определении коррозионного состояния трубопровода, позволяет объективно судить о степени его защищенности и принять обоснованное решение относительно необходимости ремонта участков трубопровода с поврежденной изоляцией.

- Rossini G. An improved to the Mansfields method for computing electrochemical parameters from polarization data // Corros. Sci. — 1994. — 36, № 4. — P. 567–578.
- Рейнгерц М. Д., Хайт Ю. Г. О расчете скорости коррозии металлов по данным поляризационным измерений // Защита металлов. — 1992. — 28, № 5. — С. 852–855.
- Определение кинетических параметров общей коррозии по данным поляризационным измерений / М. Д. Рейнгерц, Н. Г. Семенова, Н. А. Сергеева, Л. И. Солодкова // Тез. докл. Защита-92, г. Москва, 6–11 сент., 1992 г. — М., 1992. — С. 4–6.
- Rossini G. The determination of Tafel slopes by an integral method // Ibid. — 1994. — 36, № 1. — P. 113–125.
- Yeum K. S., Devereux O. F. An iterative method for fitting complex electrode polarization curves // Corrosion. — 1989. — 45, № 6. — P. 478–487.
- Jensen M., Britz D. A linearized least-squares method of corrosion parameters calculation // Ibid. — 1990. — 46, № 2. — P. 111–114.
- Qamar J., Husain S. W. Application of a new computational method to determine corrosion current in a cathodically protected system // Brit. Corros. J. — 1992. — 27, № 2. — P. 125–127.
- Qamar I., Husain S. W. New computational method to determine corrosion Tafel slopes and corrosion rates from electrode kinetic measurements // Ibid. — 1990. — 25, № 30. — P. 202–204.
- Rossini G. The generalization of the three point method and its application to the corrosion rate measurement // Ibid. — 1990. — 30, № 1. — P. 9–21.
- Rossini G. The use of the three point method for evaluating corrosion rates // Ibid. — 1996. — 38, № 7. — P. 1019–1031.
- Рубашов А. А., Кузмяк А. Э. Определение плотности тока коррозии и меченых тафелевских постоянных из поляризационных кривых // Противокоррозионная защита в химической промышленности. — М., 1989. — С. 100–102.
- Rossini G. The evaluation of corrosion rates with the generalised inflection point method // Corros. Sci. — 1999. — 41, № 11. — P. 2129–2142.
- Пат. 242121 А Украина, МКИ G 01 N 17/00, G 01 N 17/04. Способ определения коррозионного состояния подземных металлических сооружений / С. Г. Поляков, Б. Е. Патон, А. О. Рыбаков и др. — Оpubл. 07.07.98.
- Поляков С. Г., Рыбаков А. А., Ныркова Л. И. Электрохимические методы контроля коррозионного состояния трубопроводов // Физ.-хим. механика материалов. — 2001. — № 2. — С. 16–21.
- Поляков С. Г., Рыбаков А. А., Ныркова Л. И. Научные основы и технические средства электрохимического мониторинга коррозионного состояния магистральных газопроводов // Науч.-техн. совещание специалистов НАК «Нефтегаз Украины», ДК «Укртрансгаз», ОАО «Газпром» по вопросам повышения надежности и эффективности работы газотранспортной системы. — Киев: Укртрансгаз, 2001. — С. 86–88.

Поступила в редакцию 02.02.2005



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НАПЫЛЯЕМЫМИ ЧАСТИЦАМИ

А. И. БУШМА, инж., Ю. Л. ВАСЕНИН, канд. физ.-мат. наук, И. В. КРИВЦУН, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана математическая модель для компьютерного моделирования движения и нагрева частиц мелкодисперсных керамических материалов в условиях лазерного напыления покрытий. При определении локальных значений интенсивности излучения вдоль траектории движения отдельной частицы учитывается рассеяние и поглощение лазерного пучка всей совокупностью частиц. Рассчитаны траектории, скорость движения, пространственное распределение и температурные поля мелкодисперсных частиц SiO_2 в условиях лазерного напыления с использованием CO_2 -лазера. Показано существенное влияние расхода порошка на распределенные и интегральные характеристики лазерного пучка, а также тепловое состояние напыляемых частиц.

Ключевые слова: лазерное напыление, керамические частицы, лазерный пучок, рассеяние, скорость движения, тепловое состояние, моделирование

В современном промышленном производстве все более широкое распространение получают технологические процессы нанесения покрытий с использованием лазерного излучения. Одним из таких процессов является лазерное напыление, заключающееся во введении частиц дисперсного материала в зону лазерного нагрева, их ускорении потоком газа, плавлении и осаждении на поверхности изделия [1–3]. Рассматриваемый процесс может быть реализован с применением лазерного излучения разных длин волн, различных способов и систем фокусировки излучения, а также схем подачи напыляемого порошка в зону нагрева (рис. 1). В частности, при лазерном напылении покрытий из керамических материалов (Al_2O_3 ,

SiO_2 , ZrO_2 и др.) наиболее целесообразно использовать CO_2 -лазеры, поскольку указанные порошковые материалы поглощают излучение с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм значительно лучше, чем коротковолновое ($\lambda = 1,06$ мкм) излучение Nd:YAG-лазеров [4, 5]. Кроме того, в отличие от металлических частиц, поглощающих лазерное излучение в тонком приповерхностном слое, частицы мелкодисперсных диэлектрических (керамических) материалов поглощают его во всем объеме [6], что позволяет обеспечить объемный нагрев и полное проплавление напыляемых частиц, а следовательно, повысить качество получаемого покрытия.

Важными характеристиками процесса лазерного напыления являются траектории, скорость движения и тепловое состояние частиц напыляемого материала, определение которых эксперименталь-

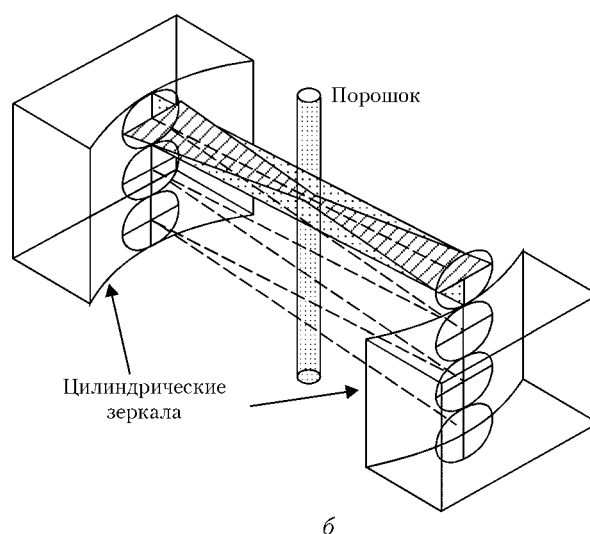
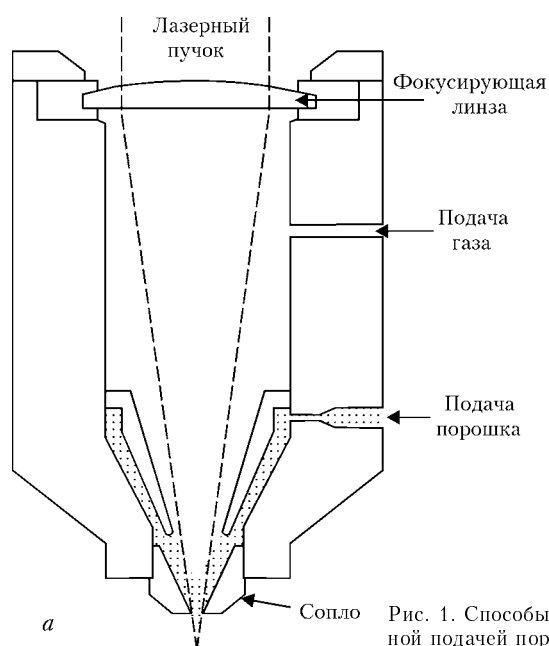


Рис. 1. Способы практической реализации процессов лазерного напыления с коаксиальной подачей порошка в лазерный пучок [2] (а) и лучевую ловушку [3] (б)



ным путем во многих случаях затруднено. Целью настоящей работы является разработка математических моделей и компьютерное моделирование движения и нагрева мелкодисперсных керамических частиц в условиях лазерного напыления покрытий. Следует отметить, что, поскольку в рассматриваемых условиях лазерный пучок распространяется в запыленной среде, при построении математической модели лазерного нагрева отдельной частицы необходимо учитывать поглощение и рассеяние лазерного излучения всей совокупностью частиц.

Рассмотрим процесс лазерного напыления керамических покрытий, реализованный по схеме, представленной на рис. 2. Сфокусированный оптический системой пучок излучения CO₂-лазера проходит вдоль оси цилиндрического сопла, которое служит для подачи газа, ускоряющего частицы напыляемого материала в сторону изделия. Керамические частицы вводятся в зону обработки через узкую кольцевую щель, расположенную горизонтально и коаксиально оси системы. Пространственные распределения интенсивности лазерного излучения, скорости газа и частиц предполагаются аксиально-симметричными, а сами частицы — сферическими.

Для расчета скорости и траектории движения отдельной (пробной) частицы будем использовать математическую модель, предложенную в работе [7]. В случае, когда струя ускоряющего газа является слаборапыленной и частицы напыляемого материала не взаимодействуют (не сталкиваются) друг с другом, приведенные в указанной работе уравнения движения сферической частицы в газовом потоке с заданным распределением скорости можно использовать для определения текущих значений радиуса-вектора $\mathbf{r}(t) = (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ и скорости $\mathbf{v}(t) = (\bar{v}_x, \bar{v}_y, \bar{v}_z)$ любой частицы из совокупности напыляемых частиц, которые различаются только условиями ввода в струю, т.е. начальными условиями (здесь и далее все величины записаны в системе координат, изображенной на рис. 2).

При анализе теплового состояния пробной частицы также будем использовать предложенную в [7] модель нагрева сферической керамической частицы в лазерном пучке с известным распределением интенсивности излучения $S(x, y, z)$. Для замыкания этой модели необходимо определить пространственное распределение интенсивности лазерного излучения в зоне обработки с учетом многократного рассеяния и поглощения исходного пучка всей совокупностью напыляемых частиц. Предполагая, что рассеяние происходит на дискретных вкраплениях (частицах диэлектрика), размер которых больше длины волны лазерного излучения, и считая, что эффективная комплексная диэлектрическая проницаемость ϵ такой запыленной поглощающей среды слабо меняется на расстояниях порядка λ , для нахождения S будем использовать метод параболического уравнения [8]. С учетом принятого ранее предположения об аксиальной симметрии распределения интенсивности излучения параболическое уравнение для комплексной

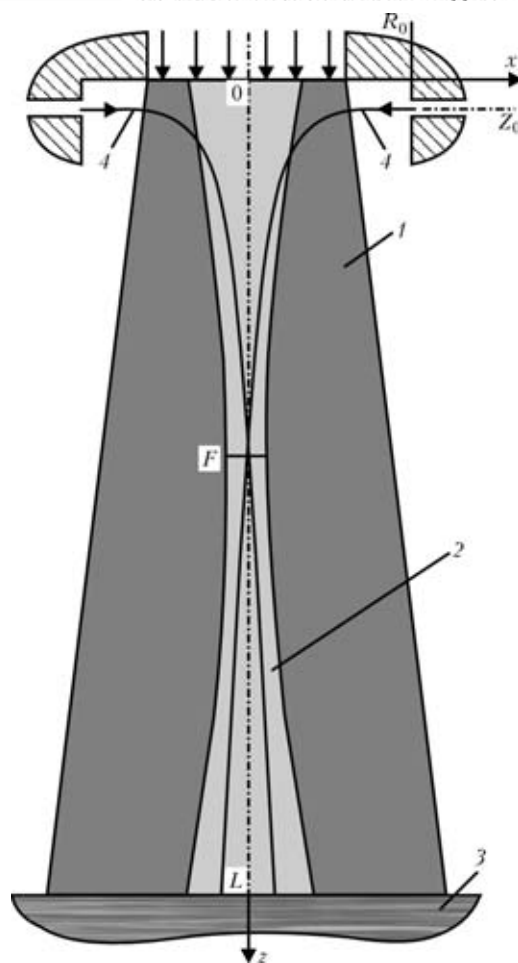


Рис. 2. Схема исследуемого процесса лазерного напыления покрытий: 1 — струя ускоряющего газа; 2 — лазерный пучок; 3 — изделие; 4 — траектории движения напыляемых частиц; R_0 , Z_0 — координаты точек ввода частиц; L — дистанция напыления; F — расстояние фокальной плоскости пучка от среза сопла

амплитуды $E(r, z)$ электрического поля лазерного пучка, распространяющегося в запыленной среде, запишем в виде

$$-2ik \frac{\partial E}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E}{\partial r} \right) + k^2(\epsilon - 1)E, \quad (1)$$

где i — мнимая единица; $k = 2\pi/\lambda$ — волновой вектор лазерного излучения; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ — расстояние от оси системы. Искомая величина $S(r, z)$ представляет собой среднее по времени значение аксиальной составляющей плотности потока электромагнитной энергии пучка [9]

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon^0 / \mu^0} |E|^2, \quad (2)$$

где ϵ^0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; μ^0 — универсальная магнитная постоянная.

Начальные (входные) и граничные условия к уравнению (1) можно записать в следующем виде:

$$E|_{z=0} = E^0(r); \quad \frac{\partial E}{\partial r}|_{r=0} = 0; \quad E|_{r=R} = 0,$$

где R — радиус расчетной области $\{0 \leq z \leq L; 0 \leq r \leq R\}$. Для задания явного вида $E^0(r)$ примем, что через отверстие сопла в зону обработки вво-



дится сфокусированный гауссов пучок излучения (TEM₀₀-мода), который в отсутствие порошка имеет минимальную полуширину r_F в плоскости $z = F$ (см. рис. 2). Пространственное распределение комплексной амплитуды поля такого пучка, удовлетворяющее уравнению (1) при $\epsilon = 1$, определяется выражением из работы [10]

$$E = E_F \frac{r_F}{r_z} \exp \left[-\frac{r^2}{r_z^2} + i \left(k \frac{r^2}{2R_z} - \varphi_z \right) \right] \quad (3)$$

Здесь

$$\begin{aligned} r_z^2 &= r_F^2 \left[1 + \frac{(z-F)^2}{z_F^2} \right]; \quad R_z = (z-F) \left[\frac{1+z_F^2}{(z-F)^2} \right]; \\ \varphi_z &= \arctg \left(\frac{z-F}{z_F} \right); \quad z_F = \frac{kr_F^2}{2}, \end{aligned} \quad (4)$$

а постоянная E_F находится из интегрального соотношения для полной мощности излучения

$$Q = 2\pi \int_0^\infty S r dr, \quad (5)$$

что при учете (2) дает

$$E_F = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{Q^0}{r_F^2} \left(\frac{\mu^0}{\epsilon^0} \right)^{1/2}}, \quad (6)$$

где Q^0 — мощность исходного лазерного пучка. Таким образом, выражения (3), (4) и (6) при подстановке в них $z = 0$ полностью определяют радиальное распределение амплитуды электрического поля пучка в начальном сечении расчетной области.

Уравнение (1) будем решать методом конечных разностей с учетом пространственного распределения эффективной комплексной диэлектрической

проницаемости запыленной среды $\hat{\epsilon} = \hat{\epsilon}(r, z)$, которая может быть представлена в виде [8]

$$\hat{\epsilon} = 1 + 4\pi n P.$$

Здесь $n(r, z)$ — распределение концентрации напыляемых частиц в пространстве; $P = \frac{\pi}{6} d^3 p$ — поляризуемость частицы; d — ее диаметр. Коэффициент поляризуемости p для керамических (диэлектрических) частиц может быть рассчитан по формуле Лорентц-Лоренца [11]:

$$p = \frac{3}{4\pi} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1},$$

где $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ — комплексная диэлектрическая проницаемость материала частицы.

Для расчета $n(r, z)$ будем использовать метод индивидуальных траекторий. С этой целью разобьем весь поток напыляемого материала (предполагая, что он монодисперсный) на отдельные траектории, соответствующие частицам с различными направлениями вектора начальной скорости (абсолютное значение начальной скорости для всех частиц предполагается одинаковым, равным v_0). При этом будем считать, что из каждой точки кольцевой щели частицы вводятся в зону обработки в направлении оси системы (см. рис. 2), имея случайную ориентацию вектора скорости относительно указанного направления в некотором телесном угле $\Omega = 2\pi(1 - \cos \vartheta_m)$, где ϑ_m — максимальный угол отклонения. Тогда, учитывая предположение об аксиальной симметрии пространственного распределения напыляемых частиц, для вычисления $n(r, z)$ достаточно рассмотреть только траектории частиц, вводимых через одну точку щели, и усреднить полученный результат по всем точкам ввода частиц, т. е. по окружности.

Число частиц, инжектируемых в струю ускоряющего газа в единицу времени, определяется соотношением

$$N = \frac{6M}{\pi d^3 \rho},$$

где M — массовый расход порошка; ρ — плотность материала. Разделив полученное число на количество рассматриваемых траекторий, получим число частиц N_1 , поступающих в единицу времени на одну траекторию. Рассчитав время τ_j , необходимое частице для достижения поверхности изделия при движении по j -й траектории ($j = 1, 2, \dots, J$, где J — количество рассматриваемых траекторий), можно найти число частиц $N_1 \tau_j$, одновременно находящихся на указанной траектории, а также их координаты. Затем, выбрав сетку в цилиндрической системе координат, определяем соответствующее данной траектории число частиц в каждой ячейке выбранной сетки. И наконец, разделив это число на объем цилиндрической ячейки и суммируя соответствующие результаты для всех рассматриваемых траекторий, находим искомую величину $n(r, z)$.

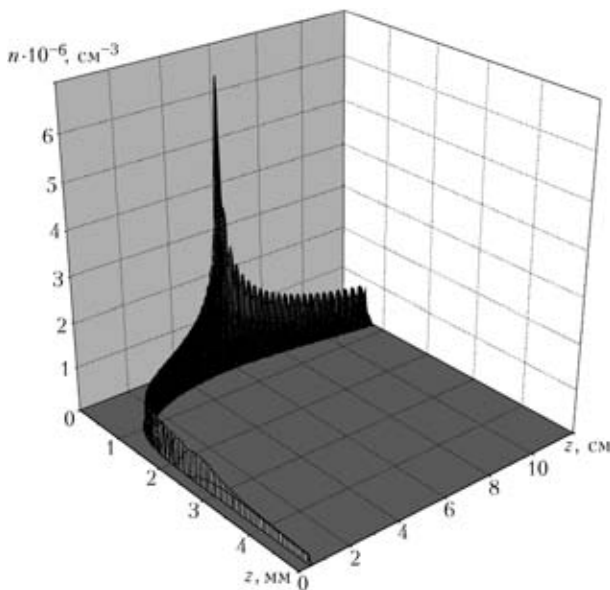


Рис. 3. Пространственное распределение концентрации частиц напыляемого материала (SiO₂), ускоряемых струей газа

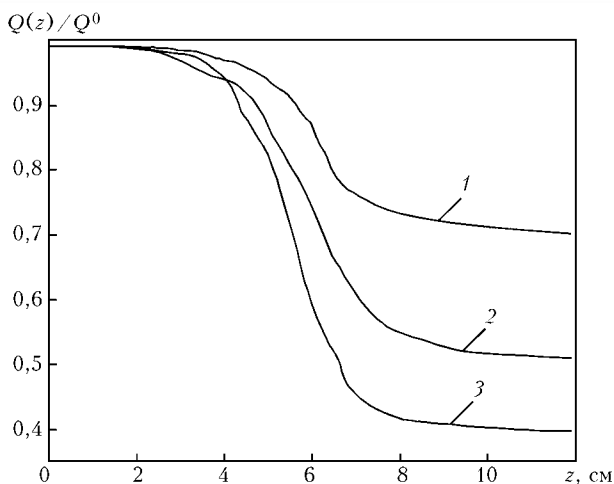


Рис. 4. Влияние расхода M порошка на ослабление пучка за счет поглощения лазерного излучения напыляемыми частицами: 1 — $M = 0,5$; 2 — 1,0; 3 — 1,5 кг/ч

На рис. 3 представлено вычисленное таким образом пространственное распределение концентрации частиц SiO_2 ($d = 20$ мкм), вводимых в поток ускоряющего газа, как показано на рис. 2 ($R_0 = Z_0 = 5$ мм) при $v_0 = 9$ м/с, $\vartheta_m = 5^\circ$. В качестве такого газа взят аргон, затопленная струя которого истекает из цилиндрического сопла диаметром 6 мм при расходе газа $G = 47$ л/мин (указанные значения параметров выбраны исходя из условия, что частицы с нулевым углом отклонения от основного направления ввода в каждой точке кольцевой щели пересекают ось лазерного пучка в фокальной плоскости $z = F$). Приведенные на рис. 3 расчетные данные соответствуют массовому рас-

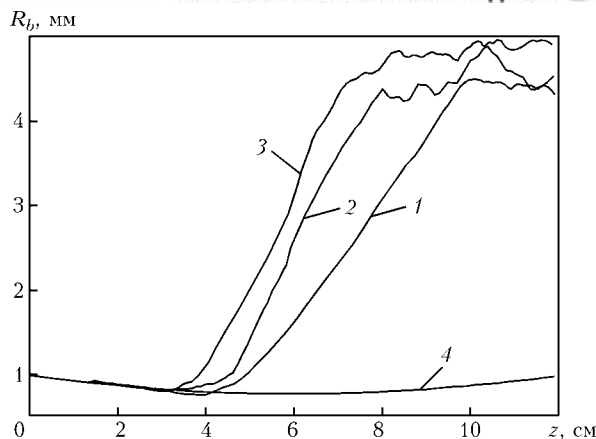


Рис. 5. Изменение эффективного радиуса R_b лазерного пучка при его рассеянии частицами напыляемого материала (SiO_2) с $d = 20$ мкм: 1–3 — см. рис. 4; 4 — $M = 0$ (радиус исходного пучка)

ходу порошка $M = 1$ кг/ч и получены при $J = 100$ (дальнейшее увеличение количества рассматриваемых траекторий не приводит к заметному улучшению точности расчетов). Следует отметить, что в рамках используемой модели слабозапыленной газовой струи изменение расхода напыляемого материала сводится просто к пропорциональному изменению $n(r, z)$.

Влияние расхода порошка на интегральные и распределенные характеристики сфокусированного лазерного пучка, взаимодействующего со всей совокупностью напыляемых частиц в рассматриваемых условиях, представлено на рис. 4–6. В частности, на рис. 4 показано ослабление гауссова пучка ($Q^0 = 5$ кВт, $F = 6$ см, $r_F = 0,5$ мм) за

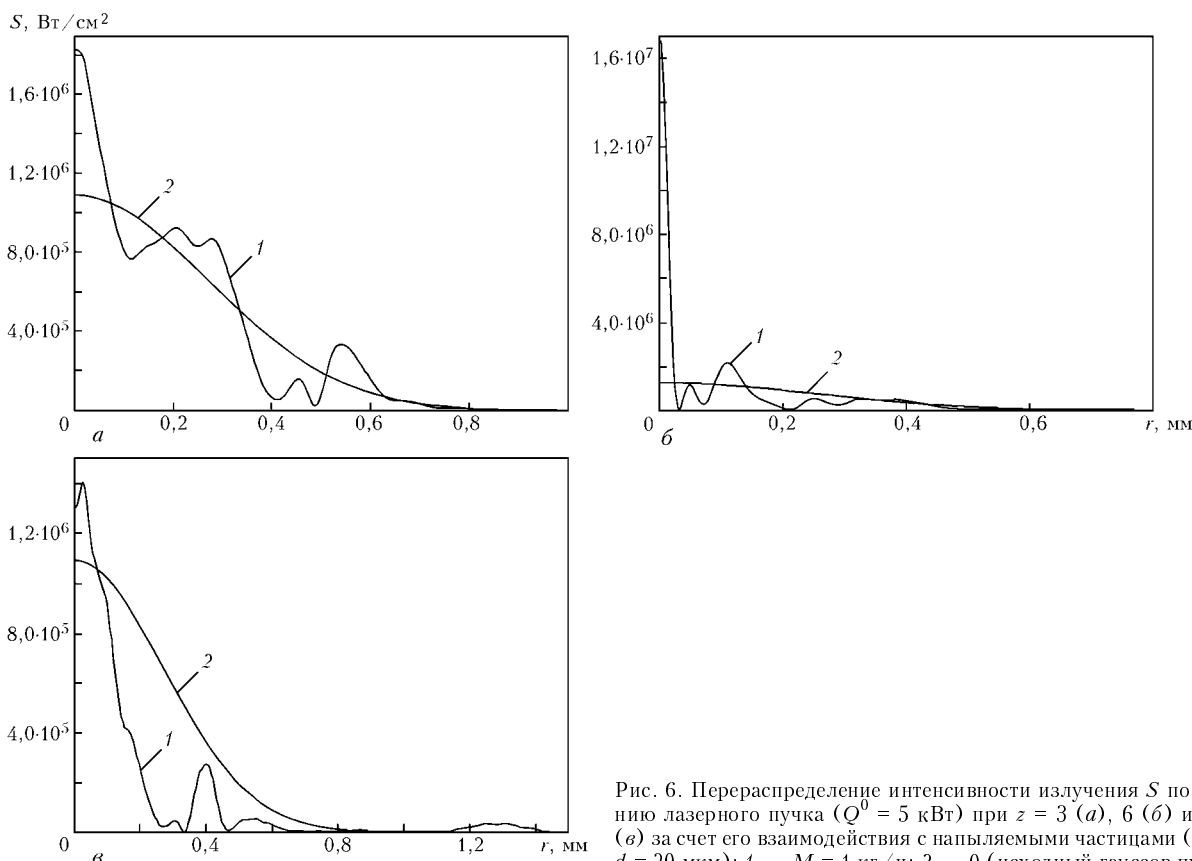


Рис. 6. Перераспределение интенсивности излучения S по сечению лазерного пучка ($Q^0 = 5$ кВт) при $z = 3$ (а), 6 (б) и 9 см (в) за счет его взаимодействия с напыляемыми частицами (SiO_2 , $d = 20$ мкм): 1 — $M = 1$ кг/ч; 2 — 0 (исходный гауссов пучок)

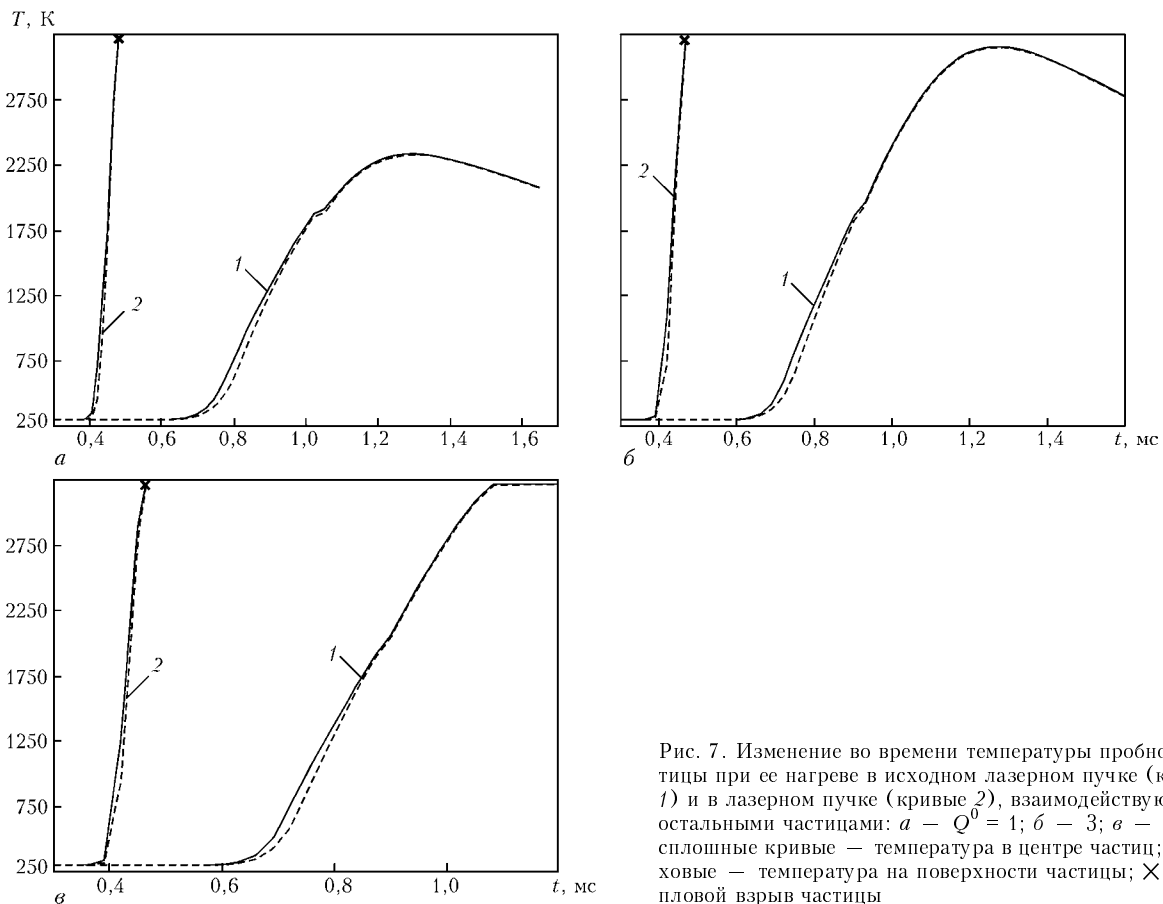


Рис. 7. Изменение во времени температуры пробной частицы при ее нагреве в исходном лазерном пучке (кривые 1) и в лазерном пучке (кривые 2), взаимодействующем с остальными частицами: а — $Q^0 = 1$; б — 3; в — 5 кВт; сплошные кривые — температура в центре частицы; штриховые — температура на поверхности частицы; X — тепловой взрыв частицы

счет его поглощения частицами напыляемого материала. Как следует из рисунка, полная мощность лазерного излучения $Q(z)$, вычисляемая путем подстановки решения уравнения (1) в выражения (2) и (5), начинает заметно убывать при $z > 3$ см, причем скорость ее убывания увеличивается вместе с расходом порошка. В результате при выбранной дистанции напыления $L = 12$ см мощность излучения, достигающего поверхности изделия, существенно зависит от M и может быть более чем в 2 раза ниже Q^0 . Это необходимо учитывать не только при моделировании нагрева частиц в условиях лазерного напыления покрытий, но и при оценке теплового воздействия лазерного излучения на поверхность изделия.

Наряду с поглощением лазерного излучения напыляемыми частицами, весьма существенным фактором является его рассеяние при распространении в запыленной среде. Так, например, рассеяние сфокусированного гауссова пучка с параметрами $F = 6$ см, $r_F = 0,5$ мм совокупностью рассматриваемых частиц при $z > 3$ см приводит к значительному увеличению эффективного радиуса пучка $R_b(z)$, определяемого как радиус окружности, в пределах которой сосредоточено 99 % мощности лазерного излучения по сравнению с соответствующим радиусом исходного пучка (см. рис. 5). Кроме того, рассеяние лазерного излучения вместе с его поглощением частицами напыляемого материала вызывает весьма существенное перераспределение интенсивности излучения (рис. 6). В частности, результирующая плотность

мощности на оси пучка при $z = F$ более чем в 10 раз может превышать максимальное значение S для исходного лазерного пучка (рис. 6, б). Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе процесса нагрева порошка в условиях лазерного напыления покрытий.

Для оценки влияния рассмотренного перераспределения интенсивности лазерного излучения на тепловое состояние частиц SiO_2 ($d = 20$ мкм) в условиях лазерного напыления проведен сравнительный численный анализ нагрева одной (пробной) частицы в исходном лазерном пучке ($F = 6$ см, $r_F = 0,5$ мм), т. е. при $M = 0$, а также с учетом его поглощения и рассеяния всей совокупностью напыляемых частиц при $M = 1$ кг/ч. В качестве пробной выбрана частица, которая вводится в зону обработки перпендикулярно оси Oz и пересекает ее в плоскости $z = F$ (см. рис. 2). Зависимости температуры в центре такой частицы и температуры на ее поверхности от времени представлены на рис. 7.

Как и следовало ожидать, максимальная температура частицы, достигаемая при нагреве в исходном лазерном пучке, повышается с увеличением его мощности (кривые 1, рис. 7). При учете взаимодействия пучка с остальными частицами пробная частица нагревается до температуры кипения значительно быстрее. Это сопровождается тепловым взрывом частицы [6, 7], который происходит при $z \approx 4$ см даже в случае малых значений Q^0 (кривые 2, рис. 7). Причиной этого является повышение интенсивности лазерного излучения вли-



зи оси пучка в результате его рассеяния в запыленной среде (см. рис. 6). Таким образом, варьируя расход и условия ввода порошка в зону обработки, т. е. изменяя $n(r, z)$, а следовательно, и пространственное распределение интенсивности лазерного излучения, взаимодействующего с напыляемыми частицами, можно локально управлять их нагревом, плавлением, а также дроблением, происходящим в результате теплового взрыва. Это позволит повысить эффективность рассматриваемого процесса не за счет увеличения дорогостоящей мощности лазерного излучения, а за счет целенаправленного ее перераспределения и оптимального использования для нагрева напыляемых частиц.

В целом результаты проведенного в настоящей работе математического моделирования процесса лазерного напыления керамических покрытий свидетельствуют о необходимости учета поглощения и рассеяния лазерного излучения напыляемым материалом при анализе теплового состояния частиц, формирующих покрытие.

1. Pawlowski L. Thick laser coatings: A rev. // J. of Thermal Spray Technology. — 1999. — 8, № 22. — P. 279–295.
2. Laser-processed composite metal cladding for slurry erosion resistance / T. R. Tucker, A. H. Clauser, I. G. Wright et al. // Thin Solid Films. — 1984. — 117. — P. 73–84.

Mathematical model has been developed for computer simulation of movement and heating of particles of finely dispersed ceramic materials under conditions of laser coating. Scatter and absorption of the laser beam by the whole of the particles are allowed for in estimation of local values of the intensity of radiation along the path of movement of an individual particle. The paths, velocities, spatial distributions and temperature fields of fine SiO₂ particles under conditions of laser spraying using CO₂-laser have been calculated. It is shown that powder consumption has a substantial effect on distributed and integral characteristics of the laser beam, as well as on thermal state of the spray particles.

3. Kindler H., Volz R., Huonker M. Ein neues verfahren zum laserbeschichten // Proc. of the 6th European conf. on laser treatment of materials, Germany, Stuttgart, 1996. — Stuttgart, 1996. — Vol. 1. — P. 447–454.
4. Золоторев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред: Справочник. — Л.: Химия, 1984. — 215 с.
5. Bushma A. I., Krivtsun I. V. Peculiarities of absorption and scattering of different wavelength laser radiation by fine spherical particles // Laser technologies in welding and materials processing: Proc. of the Intern. conf., May 19–23, 2003, Katsiveli, Crimea, Ukraine. — Kiev: E. O. Paton Electric Welding Inst. of the NAS of Ukraine, 2003. — P. 103–107.
6. Бушма А. И., Кривцун И. В. Особенности нагрева мелкодисперсных керамических частиц лазерным излучением // Физика и химия обраб. материалов. — 1992. — № 2. — С. 40–48.
7. Борисов Ю. С., Бушма А. И., Кривцун И. В. Моделирование движения и нагрева частиц порошка при лазерном, плазменном и гибридном напылении // Доп. НАНУ. — 2005. — № 1. — С. 86–94.
8. Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Титарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II: Случайные поля. — М.: Наука, 1978. — 463 с.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982. — 620 с.
10. Яриу А. Квантовая электроника. — М.: Сов. радио, 1980. — 488 с.
11. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973. — 719 с.

Поступила в редакцию 12.02.2005

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРОМ» (19-й семинар)

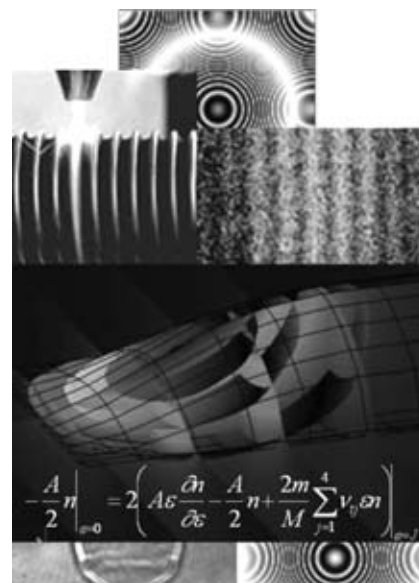
18–20 января 2006 г.

г. Инсбрук, Австрия

На семинаре будут рассмотрены вопросы численного и аналитического моделирования физических процессов, протекающих при сварке, резке, поверхностной обработке и других родственных процессах, использующих в качестве источника энергии лазерное излучение.

По вопросам участия в семинаре следует обращаться в Оргкомитет:

проф. Александр Каплан
 Университет технологий, Люлея, Швеция.
 E-mail: alexander.kaplan@ltu.se
 fax: +46 920 492 228
 tel: +46 920 491 733





РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПАЯНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ И СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ (Ретроспективный обзор)

А. Н. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук, А. М. ЖАДКЕВИЧ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описана история возникновения, развития и применения решетчатых и сотовых конструкций узлов летательных аппаратов. Во второй половине XX в. произошло резкое повышение качества эксплуатационных сплавов и надежности технологий, применяемых при изготовлении самолетов и ракет. В связи с совершенствованием сварных конструкций и трудностями применения традиционных технологий, пайка становится наиболее перспективным способом соединения.

Ключевые слова: технология пайки, авиастроение, ракетостроение, решетчатое крыло, сотовая конструкция, конструкционные материалы, история техники

В истории науки и техники существует немало примеров, когда отдельные научные идеи находят свое воплощение спустя многие годы после их возникновения и опубликования. Одним из таких примеров является разработка, создание и производство решетчатых и сотовых конструкций, используемых при изготовлении самолетов, вертолетов, ракет, кораблей, вагонов, автомобилей, зданий и др.

Решетчатые конструкции представляют собой аэродинамические полиплановые поверхности, имеющие значительные преимущества по сравнению с моноплановыми и создающие огромные перспективы для использования в новых типах летательных аппаратов. В зависимости от размеров и назначения они могут быть изготовлены как с помощью сварки, так и пайки, но последняя доминирует.

Сотовые конструкции (панели) — это несущие конструкции малой средней плотности (в некоторых случаях менее $1 \cdot 10^3$ кг/м³), имеющие, как правило, обшивки и наполнитель различной формы. В большинстве случаев они соединены между собой пайкой, так как имеют протяженные закрытые полости, куда невозможно ввести сварочный инструмент.

Решетчатое крыло самолета представляет собой пространственную систему, состоящую из большого количества профилированных или плоских планов, соединенных между собой боковинами. Существует два основных вида решетчатых крыльев — рамное (с планами, перпендикулярными боковинам и параллельными между собой, рис. 1, а) и сотовое с диагональным или параллельным набором планов. Однако наибольшее распро-

странение получило крыло с квадратными и шестигранными сотами, когда диагональный набор планов составляет с боковинами угол 45° (рис. 1, б, в).

Разработке и расчету конструкций, эксплуатации летательных аппаратов с решетчатыми и сотовыми узлами посвящено достаточное количество работ, однако особенности технологии изготовления с применением пайки рассмотрены только в отдельных журнальных публикациях. Так, авторами работы [1] подробно описаны технологии изготовления авиационных конструкций из титановых сплавов и в специальной главе — технологии сварки, однако использование пайки не упоминается.

Целью настоящей работы является исторический анализ развития решетчатых и сотовых авиационных и ракетных конструкций, изготавливаемых с применением пайки, с представлением видов новых конструкционных материалов и материалов для пайки. Учитывая непрерывно усложняющиеся условия эксплуатации и повышающиеся требова-

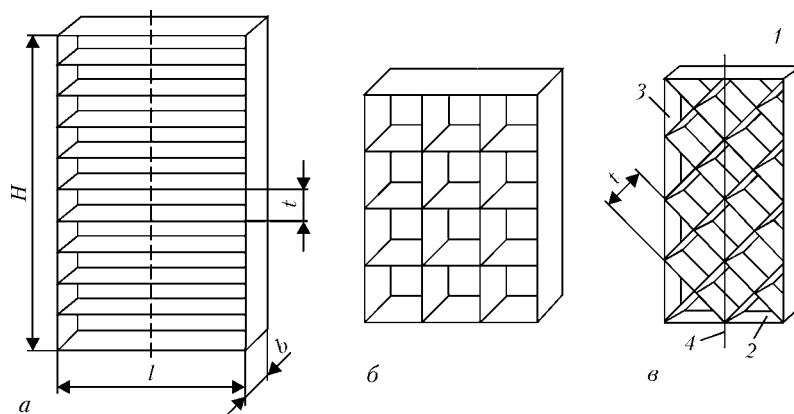


Рис. 1. Схемы основных видов решетчатых крыльев: а — рамное; б, в — сотовое соответственно с перпендикулярным и диагональным набором планов: 1, 2 — верхний и нижний планы; 3 — боковая стенка; 4 — ось крыла; H — расстояние между верхним и нижним планами; l — расстояние между крайними боковинами решетчатого крыла; b — расстояние между наиболее удаленными друг от друга точками профиля плана (хорда крыла); t — расстояние между соответствующими точками двух соседних планов

ния к жаростойкости, прочности и другим характеристикам материалов, оценка возможностей и определение перспектив применения паяных авиационных и ракетно-космических конструкций особенно актуальны. Сварка комплексно-легированных сталей, сплавов титана и алюминия затруднена, поэтому пайка остается основным способом соединения сложных конструкций из трудносвариваемых сплавов.

Рассматриваемые конструкции нашли применение еще в 1883 г. в летательной машине английского инженера Г. Филлипса, в которой план представлял собой вертикальную решетку с большим количеством легких деревянных планов, скрепленных вертикальными стойками и расчалками, суммарная площадь этой решетки составляла 13 м^2 (рис. 2). В том же году Х. Максим построил летательную машину многопланового типа (рис. 3).

В 1911 г. С. А. Чаплыгиным была написана статья «Теория решетчатого крыла» [2], опубликованная в 1914 г. В начале прошлого века Н. Е. Жуковский со своими учениками положил начало комплексу теоретических и экспериментальных исследований по решетчатым крыльям для аппаратов воздухоплавания [3]. В 1920-е годы комиссия ВСНХ СССР, возглавляемая Н. Е. Жуковским, занималась проектированием тяжелого самолета по схеме триплана с высокой коробкой крыльев и биплановым оперением. Этот самолет (он летал, но серийно не изготавливался) вошел в историю авиации под названием «КОМГА».

В процессе развития самолетостроения по мере увеличения скоростей полета главное внимание уделялось применению моноплановых крыльев. Только в конце 1940-х годов продолжили работы по аэродинамике решетчатых складывающихся крыльев на дозвуковых скоростях с целью возможного использования их на планируемых торпедах. Результаты этих работ легли в основу дальнейших исследований по решетчатым крыльям, что позволило с 1955 г. под руководством С. М. Белоцерковского [4, 5] создать целое комплексное научное направление, включающее широкий спектр теоретических и экспериментальных исследований по аэродинамике, конструкции, прочности, массе и технологии изготовления решетчатых крыльев. Этой проблемой занимались в ЦАГИ и ВВИА им. профессора Н. Е. Жуковского. Работы, проведенные в тесном содружестве с рядом НИИ и КБ, позволили разработать теоретические методы расчета аэродинамических характеристик решетчатых крыльев для широкого диапазона скоростей от звуковых до сверхзвуковых [5]. Большая заслуга в этом принадлежит ученым-исследователям С. М. Белоцерковскому, В. С. Демидову, Л. А. Одноволу, Ю. З. Сафину, В. А. Шитову, П. Н. Кравченко, Б. И. Ульянову и др.

В современном исполнении решетчатые крылья представляют собой новый вид несущих стабилизирующих и управляющих поверхностей, имеющих ряд преимуществ перед традиционными моноплановыми крыльями: планы соответствующим образом спроектированы и позволяют получить плав-

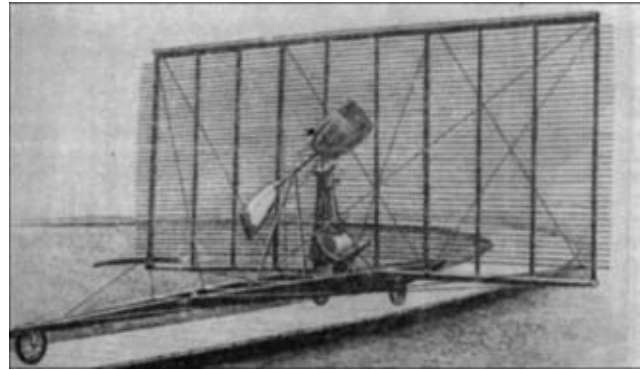


Рис. 2. Самолет Г. Филлипса

ное обтекание до углов атаки $40...50^\circ$; на сверхзвуковых скоростях планы решетки можно расположить достаточно близко друг от друга и получить большую суммарную площадь решетчатого крыла и значительно увеличить подъемную силу [5–7].

В результате анализа прочностных и свойств жесткости полиплановых систем, выполненных А. И. Тюленевым с сотрудниками, были определены основные направления по выбору рациональных конструкций решетчатого крыла [8]. Ими были предложены и новые конструктивные схемы решетчатых крыльев с переменным шагом по размаху крыла, с косоугольной ячейкой, цилиндрические, с полыми планами и пр. (рис. 4). Основной целью рациональной разработки решетчатого крыла явилось обеспечение необходимой прочности и минимизация массы в условиях аэродинамического нагрева с высокими температурами торможения. Работы сводились к отысканию комплексного варианта конструктивных форм, сочетающих свойства выбранных конструктивных материалов и рациональной технологии изготовления решетчатого крыла. Результаты проведенных исследований позволили выявить особенности и преимущества решетчатых крыльев, разработать методы их практического расчета и изготовления, когда при конструировании ряда объектов затруднено или невозможно применение традиционных моноплановых крыльев [5, 9–11].

Первые образцы решетчатых крыльев изготавливали клепкой, сваркой, кокильным литьем. Известны примеры, когда стальные решетчатые крылья выфрезеровывали из монолитных поковок ценой огромных трудозатрат, при этом потери металла в стружку составляли до 90 % исходной заготовки. С появлением в середине прошлого века

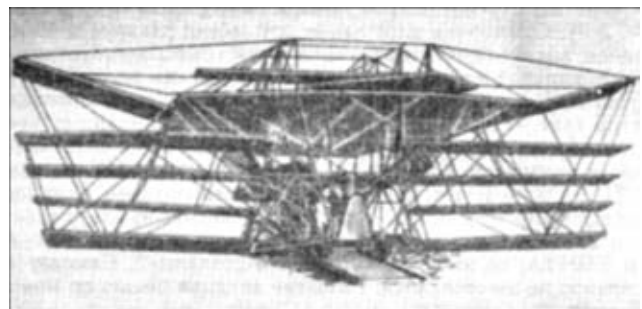


Рис. 3. Самолет Х. Максима

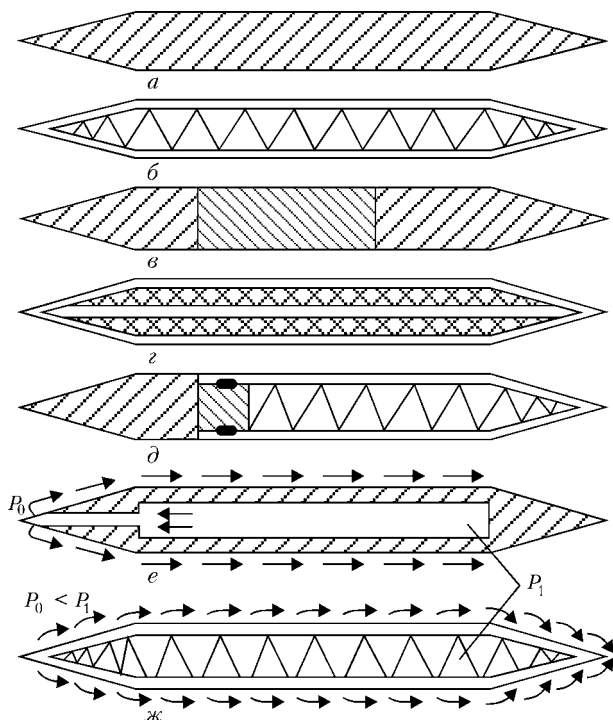


Рис. 4. Варианты конструкций планов решетчатого крыла: а — обычный, сплошного сечения; б — полый; в — составной; г — многослойный; д — комбинированный; е, ж — охлаждаемые, где P_1, P_0 — соответственно давление охлаждающей и окружающей среды

сотовой (ферменной) схемы решетчатых крыльев, отличающихся большей сложностью, чем рамная конструкция, возникла необходимость исследования и разработки рационального метода изготовления и построения на его основе типового технологического процесса, который позволил бы осуществлять производство указанных изделий с наибольшим технико-экономическим эффектом [5, 6, 11, 12]. Принципиальное значение для изготовления решетчатых крыльев имел выбор конструкционных материалов.

Более 90 лет важнейшими технологиями соединения элементов авиационных конструкций (наряду с клепкой) остаются сварка и пайка [13]. Отношение к различным способам сварки на протяжении первой половины прошлого века менялось в зависимости от применяемых в авиационной технике материалов и развития сварочной техники [14]. В то же время объем применения пайки ацетиленокислородным пламенем возрастал. Пайка латунными припоями конкурировала с дуговой и газовой сваркой стальных конструкций, а пайку конструкций и ремонт двигателей из алюминиевых сплавов осуществляли легкоплавкими припоями из алюминиевых сплавов. Особенно широкое применение получила пайка с целью ремонта в годы Второй мировой войны. Важные теоретические и экспериментальные результаты для различных условий эксплуатации крыльев и технологии их изготовления пайкой в послевоенный период получены профессором В. П. Фроловым [15–18].

В современном авиационном производстве решетчатые крылья изготавливаются различными методами с использованием принципиально разных техноло-

гических процессов. Наряду со способами холодной обработки (клепка, склеивание, механическая и электроэрозионная обработка) широко используется горячая обработка — сварка, пайка, литье и штамповка. Кроме того, возможно применение сочетаний различных технологических процессов [5, 9–12, 19–24]. Следует отметить, что с середины прошлого века установилась тесная связь между созданием новых образцов авиационной техники, ракетных комплексов, разработкой специальных конструкционных материалов и сварочными технологиями.

В 1960-х годах на металлургических предприятиях по переработке цветных металлов и сплавов Министерства авиационной промышленности СССР (Куйбышевском металлургическом заводе им. В. И. Ленина (КМЗ), Верхне-Салдинском металлургическом объединении, Белокалитвинском металлургическом заводе, Ступинском металлургическом комбинате и Каменск-Уральском металлургическом заводе) запущен в эксплуатацию целый ряд вертикальных гидравлических прессов отечественного производства усилием от 6 до 75 тыс. тс, причем самый мощный в мире гидропресс усилием 75 тыс. тс был впервые запущен в эксплуатацию на КМЗ им. В. И. Ленина.

Данное оборудование позволило получать различные решетчатые и сотовые конструкции из алюминия и титановых сплавов методом горячего прессования. Высокая точность изготовления таких конструкций с минимальной окончательной механической обработкой (но с толщиной стенки более 2 мм) открыла широкие перспективы для внедрения решетчатых и сотовых конструкций в машиностроении, строительстве и судостроении. Однако в подобных конструкциях авиакосмической техники толщины планов и сот составляют менее 1 мм и получить их горячим прессованием практически невозможно. В связи с этим на первый план выходит технология пайки и склеивания элементов решетчатых и сотовых конструкций.

Для изготовления решетчатых крыльев пайкой применяют сплавы на основе алюминия, магния, железа, титана, никеля, бериллия, ванадия, вольфрама, ниобия, молибдена, тантала, хрома. К таким сплавам на основе алюминия относятся АМг6, АМг2, АМг, Д16АТ, АЦМУ; железа — 30ХСА, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 08Х25Н16Г7АР (ЭИ835), 10Х16Р4БА (ЭП 56, ЭП 258); титана — ОТ4, ВТ6; ниобия — ВН2; молибдена — ВМ1; тантала и вольфрама — ВВ1 и т.п. [5, 9, 10].

Для пайки указанных материалов применяются стандартные припои ПСр40, ПСр37,5, ПОС 61, а также сравнительно новые марки припоев, нашедшие промышленное использование: для алюминиевых сплавов — № 48 (Zn-7Al-3,9Cu-0,5Co), № 34А (Al-28Cu-6Si), 36А (Al-20-Cu-20Zn-3,5Si); для титановых — типа Ag-17Cu, Ag-20Ti-15V, Ag-20Pd-5Mn; для тугоплавких — Hf-20Ti-15V, Zr-25Nb, Zr-20Nb-3Mo, Hf-20Ti-6Mo; для пайки жаропрочных сталей и никелевых сплавов — Cu-20Mn-19Ni, Г70НХ (Mn-23Ni-5Cr-2Fe-0,8Si-0,3C), ВПр1 (Cu-30Ni-2Si-1,5Fe-0,3B), ПЖК-35 (Ni-35,5Mn-18,5Cr-9Co-1,5Fe-

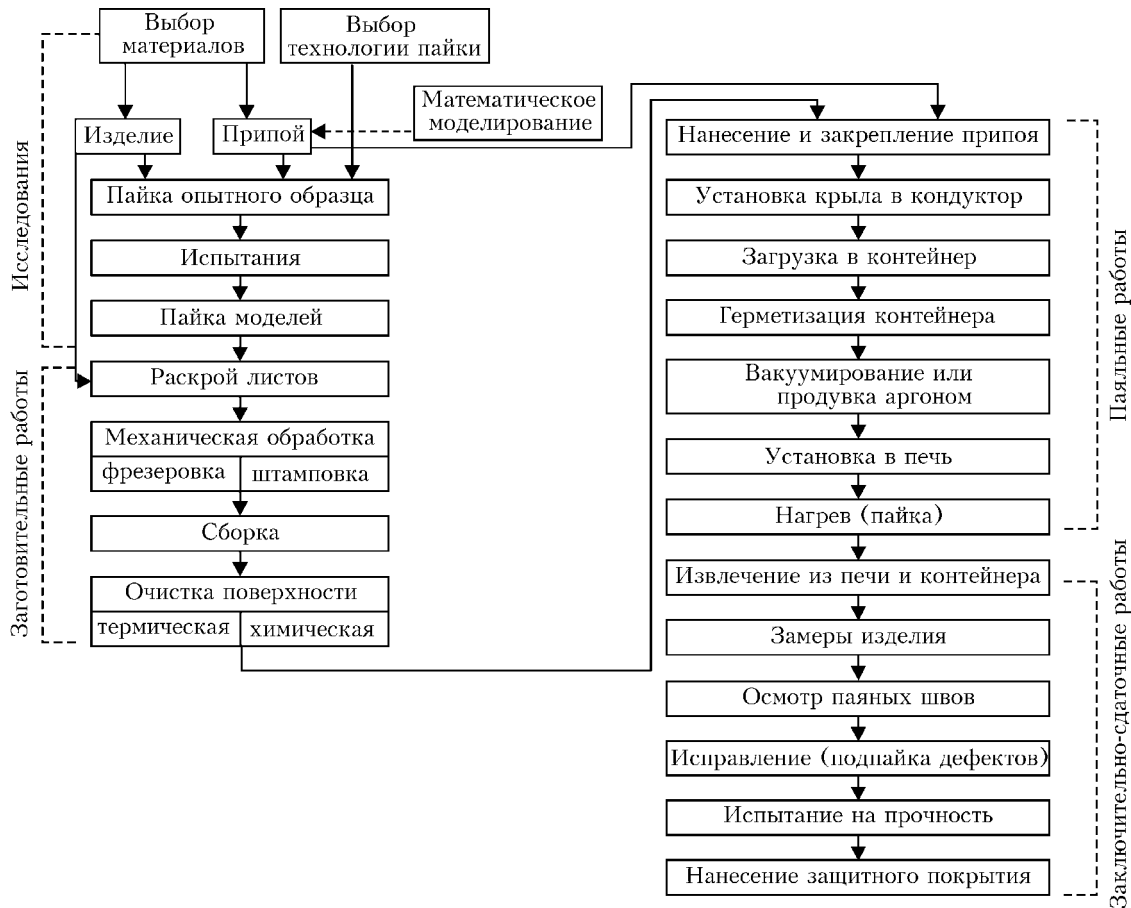


Рис. 5. Принципиальная схема типового технологического процесса изготовления цельнопаяных решетчатых крыльев

0,8Si-0,1B), 6МА (Ni-23Mo-15Cr-7Si-0,4B), №3 (28Mn-28Fe-14Ni-0,1Si-0,1B). Припой 6МА и №3 специально разработаны для пайки решетчатых крыльев [5].

Принципиальная схема типового технологического процесса изготовления цельнопаяных решетчатых крыльев приведена на рис. 5. Технологический процесс, основные режимы и параметры пайки конструкционных материалов, широко используемых в авиастроении, приведены в работах [5, 25-28].

При выполнении работ по созданию ракеты РВВ-АЕ (воздух — воздух, воздух — земля) ИЭС им. Е. О. Патона в 1984 г. было поручено создание оптимальной технологии изготовления решетчатых рулей ракеты; эту работу выполняли совместно с ПО им. Артема и НПО «Вымпел» под руководством В. Ф. Хорунова. В кратчайшие сроки была предложена новая конструкция руля, припой, технология пайки и оборудование для ее осуществления. Итогом этой работы стало создание высокопроизводительной роботизированной технологической линии [29-33]. Вместо тяжелой головной части руля, получаемой фрезерованием из массивной заготовки, была предложена легкая паяная конструкция. Сборку решеток «взамок» заменили роботизированной сборкой специальных профилей («зиг-

гов») без отбортовки на боковины с нанесением специального пастообразного припоя [30, 31]. Для пайки заготовок была создана высокопроизводительная карусельная вакуумная печь [32], в которую одновременно загружали пять изделий с периодичностью загрузки-выгрузки 30 мин. Пайку осуществляли при температуре 1100...1120 °С, что позволило сохранить механические свойства основного металла (по сравнению с пайкой при 1180...1200 °С с применением припоя ВПр10).

Для обоснования выбора режима нагрева было проанализировано развитие напряжений и деформаций в решетчатой конструкции в неравномерном

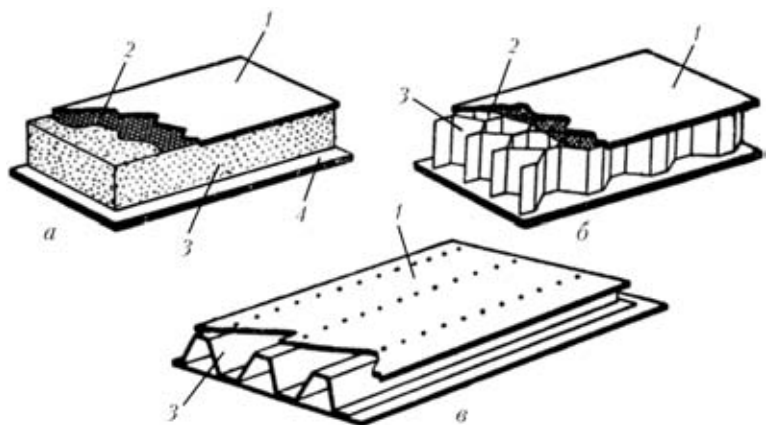


Рис. 6. Типы слоистых панелей со сплошным (а), сотовым (б), гофрированным (в) заполнителями: 1, 4 — соответственно первая и вторая обшивки; 2 — клеевая прослойка или припой; 3 — наполнитель

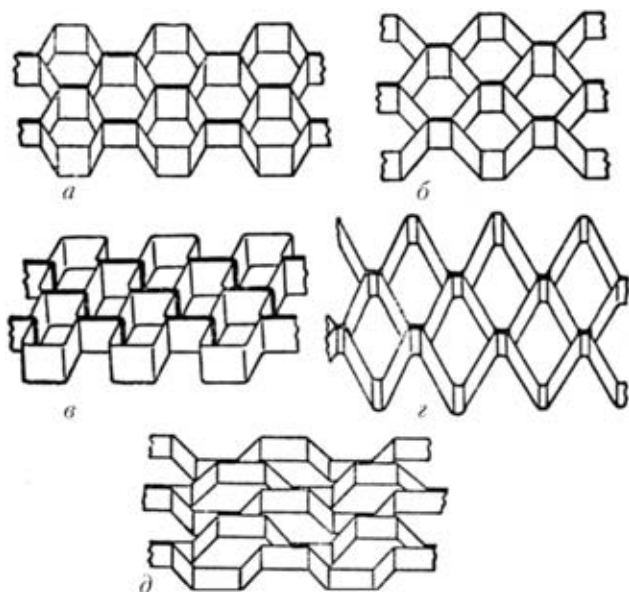


Рис. 7. Формы ячеек сотовых заполнителей: а — шестигранная; б — ромбическая; в — квадратная; г — синусоидальная; д — шестигранная смещенная

температурном поле [34], использование которых позволило получить готовую продукцию высокого качества и точности.

Стендовые и натурные испытания показали значительное преимущество рулей, изготавливаемых по технологии ИЭС им. Е. О. Патона. В результате снижения сопротивления руля на 10 % улучшились тактико-технические характеристики ракеты.

В конструкциях современных машин широко применяются детали и узлы из листового материала, соединенного для жесткости склеиванием, сваркой и пайкой с профилями различной формы. В последние годы подобные элементы все чаще заменяются слоистыми конструкциями (рис. 6). Особенно широкое распространение они получили в самолетостроении [27, 28]. Перспективность таких конструкций в первую очередь связана с их высокой относительной жесткостью и прочностью. Сотовые конструкции являются одной из разновидностей слоистых и представляют собой сочетание обшивок и сотового заполнителя, расположенного между ними [26, 27]. Общая устойчивость сотовых конструкций во много раз превышает устойчивость входящих в них листов, что позволяет конструировать такие конструкции без подкрепляющего набора стрингеров, даже при увеличенном

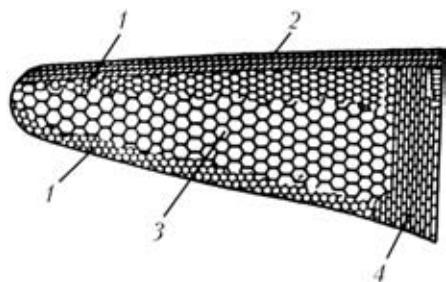


Рис. 8. Схема расположения сотовых заполнителей с различными размерами ячеек: 1, 3 — соответственно небольшие и большие размеры ячеек; 2, 4 — ячейки, перерастянутые соответственно в продольном и поперечном направлении

расстоянии между нервюрами или шпангоутами. Формы ячеек для заполнителей могут быть квадратными, ромбическими, синусоидальными, шестигранными и шестигранными со смещением (рис. 7).

В современной авиационной технике широко применяют конструкции с сотовыми заполнителями для изготовления крыльев, панелей, закрылок, рулей управления, хвостовой части центроплана, тормозных щитков, настила пола и хвостовых отсеков, лопастей вертолета, панелей фюзеляжа и других конструкций. Используя сотовые заполнители с различной объемной массой, т. е. с различными размерами и формой сотовой ячейки, а также с различными материалами и толщиной фольги удастся значительно повысить прочность конструкции (рис. 8) [27, 28].

Сотовые конструкции имеют ряд преимуществ перед конструкциями, выполненными из обшивок, подкрепленных стрингерами и нервюрами: высокую удельную прочность, жесткость и устойчивость при продольном сжатии; хорошие усталостные характеристики; снижение количества деталей, входящих в изделие, хорошее качество поверхности; снижение трудоемкости сборочных работ и массы конструкции; значительно лучшие тепло- и звукоизоляционные свойства. Так, относительная масса сверхзвукового американского бомбардировщика «Хасспер В-58», на котором применены сотовые конструкции (рис. 9), меньше на 16,5 % чем самолетов RR-66С, RB-45С, В-57Е, у которых этот показатель составляет 25,1... 25,9 % [25]. Фирма «Норт-Америкен» при изготовлении межконтинентального бомбардировщика ХВ-70 «Валькирия» применила паяные панели с сотовыми заполнителями для ряда конструкций узлов и агрегатов. На этом самолете сотовые панели составляют площадь более 1800 м² или 50 % всей поверхности самолета (рис. 10). Эти конструкции весьма нагружены и подвержены действию температур порядка 330... 350 °С. Подобная конструкция использована в НПО им. С. А. Лавочкина при создании советского межконтинентального бомбардировщика «Буря» [35].

Применение сотовых конструкций для тормозных щитков самолета В-86 позволило снизить их массу на 30 %, использование их в отсеках лопастей вертолетов Боинг, Сикорски S-61, S-5, Вертол-107 позволило повысить ресурс работы лопастей с 500... 600 до 1000... 1500 ч. Составные конструкции широко использовались и используются в самолетах серии Боинг, DC, Конвэр, Фантом, Локхид, Конкорд, Таон, Веккерс, аэробусах фирмы «Эйрбас»; отечественных самолетах серии Ан, российских самолетах серии Ту, Ил, Як, Су, Бе; вертолетах серии Ми, Боинг, Сикорски, Вертол и другой авиационной технике.

Теоретические разработки советских ученых и практика применения решетчатых и сотовых конструкций в ракето- и авиастроении во второй половине прошлого века послужили одним из факторов, обусловивших высокие тактико-технические качества вооружений, превосходящие аналогичные показатели западных стран. Советские ракеты и авиационная техника служили сдерживающим фак-

тором и обеспечили баланс между вооружением армий США и СССР [36].

Ракеты различного назначения с решетчатыми крыльями — полиплановыми панелями, разработанные в КБ бывшего Советского Союза, обладали значительным превосходством по тактико-техническим данным над аналогичными ракетами западных стран. В качестве примера удачных решений можно отметить крылатую ракету-носитель «Стрела» (ОКБ-52, ныне НПО «Машиностроение», генеральный конструктор В. Н. Челомей); комплекс тактических и оперативно-тактических ракет типа С-300 (НПО «Антей», генеральный конструктор Г. А. Ефремов); усовершенствованный в КБ «Алмаз» комплекс С-400 (генеральный конструктор А. А. Леманский) и др. [23]. В решетчатых рулях советских ракет отсутствует срыв потока при любых углах атак и уход от цели, что обеспечивает высокую точность поражения, до сих пор не достигнутую ракетными комплексами других стран. Особо следует отметить использование таких крыльев в конструкции аварийного спасения космонавтов, которой нет до сих пор в космических кораблях США. Аналогичное положение и в авиации. Так, МиГ-23 сбивает цели на высоте от 50 м до 25 км. Эти истребители успешно противостояли в 1982 г. в боях в Ливане более новым американским Ф-15 и Ф-16 [35].

Исследовательским центром Ленгли НАСА для фирмы «Локхид» (США) разработана технология изготовления несущей конструкции центроплана из титановых сплавов (Ti-6Al-4V), объединяющая сварку и пайку. К панели толщиной 1,8 мм точечной контактной сваркой приваривают Z-образные ребра толщиной 1,2 мм, в зазор между листом и ребрами (до 0,1 мм — толщина лезвия бритвы) закладывают узкие полоски припоя из алюминиевых сплавов. Бесфлюсовую пайку осуществляют в вакуумных печах в течение 10 мин при температуре 710 ± 5 °C [37]. Значительный объем в российском авиастроении занимает пайка конструкций из титановых и нержавеющей сталей. В основном ее выполняют в стационарных и монтажных камерах в инертных газах индукционным нагревом и используют самофлюсующие припои. Характерным образцом новейшей авиационной конструкции являются ребристые панели центроплана истребителя Су-30 [17]. Одной из фирм, ведущей крупномасштабные работы по совершенствованию существующих и созданию новых высокоэффективных технологий, является корпорация «ИРКУТ» (РФ). Здесь для сварки и пайки используют как высококонцентрированные источники энергии (электронные, лазерные и ионные лучи), так и токи высокой частоты, радиационное и ионизирующее излучение. Пайка ведется в вакууме, раз-

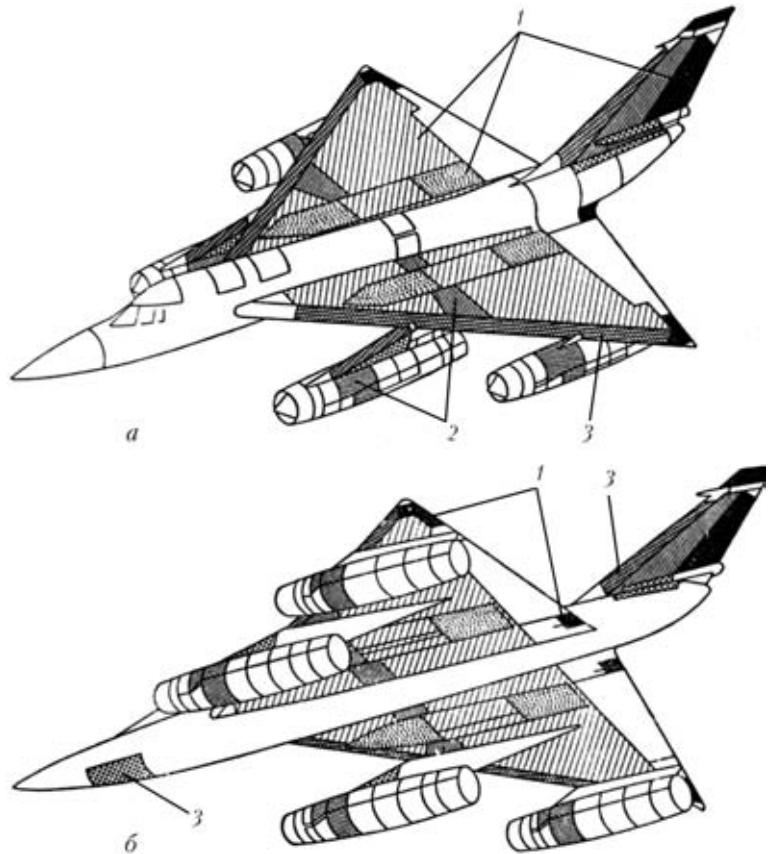


Рис. 9. Применение сотовых панелей в конструкции самолета «Хаспер В-58»: а, б — соответственно вид сверху и снизу; 1 — обшивки дюралюминиевые и соты из стеклоткани; 2 — обшивки и соты дюралюминиевые; 3 — носки крыла и руль направления с дюралюминиевыми сотами, носки киля и съемные панели с сотами из стеклоткани

личных защитных средах, с самофлюсующими припоями и др. [17, 37].

В основе создания новой конкурентоспособной техники должна лежать концепция опережающего развития технологии изготовления. В соответствии с этим принципом оптимальной может быть следующая последовательность: создание научно-технических основ, формирование конструктивно-технологического вида изделия, разработка конкретных технологий, подготовка производства и изготовление с прогнозированием качества [38].

До настоящего времени окончательно не решена проблема изготовления цельносварного (паяного) алюминиевого самолета [39, 40]. В мировом гражданском авиастроении несущие конструкции серийных самолетов представляют собой клепаные конструкции. Основные усилия специалистов раз-

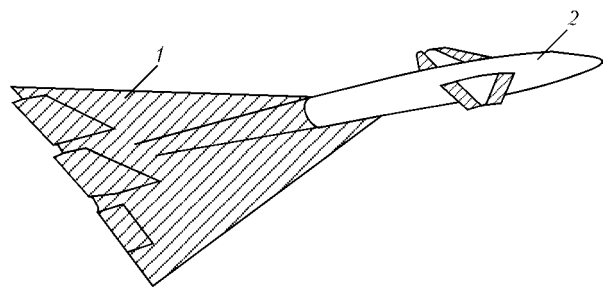


Рис. 10. Применение паяных панелей (2) с сотовым наполнителем (1) в конструкции самолета XB-70 «Валькирия»



личных направлений направлены на разработку высокопрочных и пластичных алюминиевых сплавов, сохраняющих свои свойства при сварке и пайке. Одновременно специалистами НИАТ, ИЭС им. Е. О. Патона, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МАТИ им. К. Э. Циолковского и другими ведутся работы по созданию технологий и материалов, обеспечивающих надежную эксплуатацию алюминиевых самолетов. Перспективными для цельносварных (паяных) фюзеляжей и планов являются ребристые панели и шпангоуты из новых сплавов системы Al-Mg-Sc-Zr-Ti (типа 1421) [40]. Благодаря надежной технологии соединения можно дифференцированно, точно в соответствии с расчетными выбирать размеры ребер и толщину панелей, что и позволит снизить массу летательных аппаратов. По прогнозам специалистов в ближайшее время авиация должна перейти на жидководородное топливо и в новых поколениях самолетов криогенные топливные баки представляют собой цилиндрические емкости, выполненные из вафельных или ребристых панелей, с толщиной полотна 1,5...3 мм и толщиной стыков в зоне сварки 2...10 мм [41]. В этом случае также наиболее экономичным может быть применение паяных сотовых конструкций.

Выводы

1. Решетчатые и сотовые конструкции в начале XX века были признаны в качестве рациональных и эффективных элементов авиационной техники как достаточно прочные и относительно легкие. Научные основы расчета таких конструкций были заложены рядом ученых, в том числе Н. Е. Жуковским, С. А. Чаплыгиным, С. М. Белоцерковским, А. И. Тюленевым и др. В течение первой половины XX века авиационные решетчатые и сотовые конструкции различного типа изготавливались преимущественно с применением клепки и склеивания.

2. С появлением сверхзвуковой авиации и использованием в качестве конструкционных материалов высокопрочных сталей, алюминиевых и титановых сплавов наметилось применение новых технологий их изготовления (литье, штамповка, механическое фрезерование, электрохимическое травление и т. п.). Ограниченное применение сварки объясняется плохой свариваемостью большинства авиационных материалов, трудностями борьбы с деформациями и напряжениями, сложностью конструкций.

3. Для изготовления авиационных конструкций с решетчатыми и сотовыми элементами наиболее перспективной технологией является пайка. Разработкой припоев и техники пайки занимаются в ИЭС им. Е. О. Патона, ВИАМ, НИАТ, МГТУ им. Н. Э. Баумана и др. Создана технология пайки конструкций из сплавов на основе алюминия, магния, железа, титана, никеля, бериллия, ванадия, вольфрама, ниобия, молибдена, тантала, хрома, что позволило конструкторам авиационной техники увеличить номенклатуру используемых материалов, дифференцированно, в соответствии с расчетами, назначать параметры элементов конструкций.

В качестве припоев в ряде технологий применяют как известные ранее (оловянистые, серебряные), так и на основе систем Al-Cu-Si, Zr-Nb, Mn-Cr-Fe и др.

1. *Технология* производства титановых самолетных конструкций / А. Г. Братухин, Б. А. Колачев, В. В. Садыхов и др. — М.: Машиностроение, 1995. — 448 с.
2. *Чаплыгин С. А.* Теория решетчатого крыла // Собр. соч. — М.: Изд-во техн.-экон. лит., 1948. — Т. 2. — С. 414–430.
3. *Жуковский Н. Е.* Теоретические основы воздухоплавания // Собр. соч. Лекции. — М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1938. — Вып. 1. — 194 с.
4. *Белоцерковский С. М.* Тонкая несущая поверхность в дозвуковом потоке газа. — М.: Наука, 1965. — 242 с.
5. *Белоцерковский С. М., Одновол Л. А., Сафий Ю. З.* Решетчатые крылья. — М.: Машиностроение, 1985. — 320 с.
6. *Аэродинамика* частей самолета при больших скоростях / Под ред. А. Ф. Доновена, Г. Р. Лодрена. — М.: Изд-во иностр. лит., 1959. — 701 с.
7. *Исследование* сверхзвуковой аэродинамики самолета на ЭВМ / Под ред. С. М. Белоцерковского. — М.: Наука, 1982. — 335 с.
8. *Тюленев А. И., Грищенко В. С., Сметаненко В. А.* Динамическая модель упругой несущей поверхности с регулярной конструктивной неоднородностью // Динамика систем, несущих подвижную распределительную нагрузку: Сб. тр. — Харьков: ХАИ. — 1980. — Вып. 2. — С. 126–136.
9. *Григорьев В. П.* Технология самолетостроения. — М.: Оборонгиз, 1960. — 542 с.
10. *Горбунов М. Н.* Основы технологии производства самолетов. — М.: Машиностроение, 1976. — 260 с.
11. *Технология* самолетостроения / А. Л. Абибов, Н. М. Борисов, В. В. Бойцов и др. — М.: Машиностроение, 1970. — 598 с.
12. *Белоцерковский С. М., Скрипач Б. К., Табачников В. Г.* Крыло в нестационарном потоке газа. — М.: Наука, 1971. — 767 с.
13. *Матвиенко С. В., Астафьев А. Г., Карасев И. С.* Сварка и родственные технологии в самолетостроении. Тенденции развития // Сварка в Сибири. — 2003. — № 2. — С. 36–40.
14. *Фетисов Г. П.* Сварка и пайка в авиационной промышленности: Учеб. пособие. — М.: Машиностроение, 1983. — 216 с.
15. *Справочник* по пайке / Под ред. С. М. Лоцманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. — М.: Машиностроение, 1975. — 407 с.
16. *Лоцманов С. Н., Фролов В. П.* Технологичность паяных конструкций: Справ. пособие. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 81–108.
17. *Фролов В. П., Чекунов М. И.* Уравнение состояния производства паяных конструкций // Производство паяных конструкций и стандартизация технологических процессов пайки: Тр. ин-та. — М.: ВНИИНМаш. — 1975. — Вып. 2. — С. 131–144.
18. *Фролов В. П.* Математическое моделирование процессов пайки // Пайка в машиностроении: Материалы конф. — М.: МДНТП, 1967. — Сб. 1. — С. 43–58.
19. *Корниенко А. Н.* Создание первых сварных конструкций. Ч. 1. Корабли, воздушный и наземный транспорт // Автомат. сварка. — 1996. — № 11. — С. 40–47.
20. *Корниенко А. Н., Жадкевич А. М.* Проблемы качества паяных соединений и разработка припоев // Там же. — 2005. — № 3. — С. 48–53.
21. *Жадкевич О. М.* Розвиток матеріалів для високотемпературного паяння алюмінію та його сплавів // Зб. наук. праць НТУУ КПІ. Дослідження з історії техніки. — К.: 2004. — Вып. 4. — С. 67–71.
22. *Жадкевич А. М.* Вакуумная пайка при изготовлении авиационных высокотемпературных теплообменников // Материалы III Всеукр. наук.-техн. конф. молодых ученых та спеціалістів «Зварювання та суміжні технології». — К.: ІЕС ім. Е. О. Патона, 2005. — С. 14–16.
23. *Технология* низкотемпературной вакуумной пайки узлов решетчатых конструкций из алюминиевых сплавов / В. Ф. Хорунов, В. Ф. Лапчинский, В. И. Швец, В. Ф. Шульм / Автомат. сварка. — 1992. — № 2. — С. 52–53.
24. *Жадкевич А. М.* Бесфлюсовая пайка алюминия // Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Сварка—XXI века. Славяновские чтения»: — Липецк: Гос. техн. ун-т, 2004. — Кн. 1. — С. 307–316.

25. *Бермудский В. Е., Крысин В. Н., Лесных С. И.* Производство сотовых конструкций. — М.: Машиностроение, 1966. — 282 с.
26. *Единогур А. И., Вайнберг М. В., Иерусалимский К. М.* Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование. — М.: Машиностроение, 1986. — 200 с.
27. *Бермудский В. Е., Крысин В. Н., Лесных С. И.* Технология изготовления сотовых авиационных конструкций. — М.: Машиностроение, 1975. — 297 с.
28. *Панин В. Ф.* Сотовые конструкции. — М.: Машиностроение, 1982. — 153 с.
29. *Пайка решетчатых конструкций в вакууме / В. Ф. Хорунов, Ю. Б. Малевский, М. М. Дьяченко и др. // Автомат. сварка. — 1984. — № 1. — С. 61–62.*
30. *А. с. 1244861 СССР, МКИ.* Припой для пайки нержавеющей сталей и никелевых сплавов / В. Ф. Хорунов, А. В. Кужель, М. М. Дьяченко и др. — Заявл. 27.02.85. — Оpubл. 15.07.86.
31. *А. с. 1485542 СССР, МКИ.* Припой для пайки жаропрочных и жаростойких сталей и никелевых сплавов / В. Ф. Хорунов, И. А. Владимирская, О. В. Кузнецов и др. — Заявл. 27.05.87. — Оpubл. 30.12.88.
32. *Установка П126* роторная многопозиционная для вакуумной пайки / В. Ф. Хорунов, Л. В. Чесноков, М. Ф. Зевакин, В. П. Зубченко. — Киев, 1989. — (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 8).
33. *Хорунов В. Ф., Дыхно С. Л., Зубченко В. П.* Технологический процесс изготовления решетчатых конструкций // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. «Пайка в машиностроении», Тольятти, 13–15 февр., 1991. — Тольятти: Тольят. политехн. ин-т, 1991. — С. 76.
34. *Махиенко В. И., Хорунов В. Ф.* Теоретический анализ развития напряжений и деформаций в решетчатой конструкции в неравномерном температурном поле // САПР ТП сварки, пайки, литья и нанесения газотермических покрытий. — М.: МДНТП, 1985. — С. 119–123.
35. *Калашников М.* Битва за небеса. — М.: АСТ, 2003. — 407 с.
36. *Mitchell J.* Man and machines. — London: University of Cambridge, 1977. — 364 p.
37. *Левтова К. А., Байчер Л. И., Филidor О. А.* Особенности совмещения процессов пайки и диффузионной сварки при изготовлении сотовых конструкций из титановых сплавов // Авиацион. пром-сть. — 1992. — № 2. — С. 50–52.
38. *Редьки В. В.* Производство и надежность сварных конструкций // Тез. докл. науч.-техн. конф., 26–28 янв. 1993. — М.: Калининград. — М.: МГТУ. — 1993. — 90 с.
39. *Сварка в самолетостроении / Г. А. Кривов, В. Р. Рябов, А. Я. Ищенко и др.; Под ред. Б. Е. Патона.* — Киев: МИИВЦ, 1998. — 696 с.
40. *Денисов Б. С., Болгова Г. И.* Опыт создания цельносварных конструкций летательных аппаратов из сплава 1420 // Авиацион. пром-сть. — 1991. — № 1. — С. 1–3.
41. *Рязанцев В. И., Федосеев В. А.* Изготовление сварных криогенных топливных баков из алюминиевых сплавов // Там же. — 1995. — № 7/8. — С. 9–12.

The paper presents the background of emergence, development and application of lattice and honeycomb structures of flying vehicles. An abrupt improvement of the quality of structural alloys and aircraft and missile manufacturing technologies occurred in the second half of the XXth century. In view of the increasing sophistication of the structures and difficulties of applying other technologies, brazing is becoming the most promising joining process. Brazing filler metals and technologies have been developed, which ensured high performance of aircraft and space vehicles.

Поступила в редакцию 13.09.2005

ЧЕТВЕРТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Научный Центр материаловедения колледжа Иудеи и Самарии проводит в г. Ариэле (Израиль) с 11 по 15 сентября 2006 г. Четвертую международную конференцию по математическому моделированию в материаловедении (ММТ-2006). Конференция проводится под эгидой Министерства науки и технологии Израиля.

Тематика конференции:

- оптимизация материалов и технологий их получения при производстве сталей и сплавов, сварке и др.;
- разработка новых материалов;
- разработка материалов с заданной структурой и свойствами;
- разработка баз данных по материалам и их применению;
- использование сети интернет для решения проблем оптимизации материалов и технологии;
- информационные системы реального времени;
- нанопроизводство с использованием полимерных растворов;
- полимерные пьезоэлектрические материалы;
- взаимодействие лазерного излучения с полимерными материалами

Некоторые темы из области моделирования:

- структура и свойства металлов и шлаковых расплавов: анализ и прогноз фазовых диаграмм, моделирование термодинамических и кинетических свойств;
- разработка материалов: фазовые трансформации, диффузия на границе раздела, физические и механические свойства;
- металлургические процессы и реакции: моделирование термодинамики и кинетики металлургических реакций, фазовые взаимодействия.

ММТ-2006 Organizing Committee, College of Judea and Samaria, Ariel 44837, Israel.
Phone: +972-3-9066217; Fax: +972-3-9066234; zinigrad@research.yosh.ac.il
<http://www.yosh.ac.il/research//mmt/MMT-2006/mmt-2006.htm>



ПРИМЕНЕНИЕ ДУГОВОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КУЗОВОВ ВАГОНОВ

А. Н. ТКАЧЕНКО, А. С. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, инженеры (ОАО «ХК «Лугансктепловоз»)

Рассмотрено применение дуговой точечной сварки при изготовлении боковых стенок кузовов вагонов дизельных поездов, в частности, для соединения в них ребер жесткости с обшивкой. Подобраны оптимальные режимы сварки точечных швов, осуществлена оценка качества сварных нахлесточных соединений и проведены прочностные испытания.

Ключевые слова: дуговая точечная сварка, программирующее устройство, кузовные конструкции, диаметр и глубина проплавления, разрывное усилие, дефекты, зазор, гарантированный провар, оптимальные режимы

В сварных конструкциях кузовов вагонов электро- и дизельных поездов широко используются нахлесточные соединения, выполняемые дуговой сваркой по заранее просверленным отверстиям в верхнем элементе. Для снижения трудоемкости путем отмены операций по разметке, сверлению (пробивке) отверстий, сокращению транспортных операций и в итоге уменьшения количества наплавленного металла специалистами ОАО «ХК «Лугансктепловоз» и ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология и создана специализированная установка для дуговой точечной сварки (ДТС) в защитном газе Z-образных ребер жесткости с обшивками боковых стенок электро- и дизельных поездов (рис. 1). Отличительной особенностью процесса ДТС является его программирование, в частности, выполнение цикла сварки по следующим трем этапам: «возбуждение процесса сварки», «сварка» (прожиг привариваемой детали и частичное проплавление нижней детали) и «заварка кратера в формируемом точечном шве». Каждый из этапов выполняется на режимах, отличающихся силой сварочного тока, напряжением на дуге, скоростью подачи сварочной проволоки и временем выполнения (табл. 1). Одним из основных вопросов, связанных с применением ДТС нахлесточных соединений, является соответствие прочности таких соединений предъявляемым требованиям и формирование сварных точек с требуемыми га-

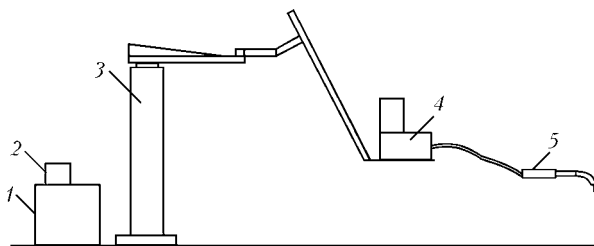


Рис. 1. Схема установки для дуговой точечной сварки с проплавлением верхнего элемента: 1 — источник питания; 2 — блок питания механизма полуавтомата; 3 — поворотная консоль; 4 — подающий механизм с электронной системой программирования и управления ДТС; 5 — шланг с держателем

рантированными размерами при возможном наличии зазора между соединяемыми деталями. Определение качества и размеров точечных швов в нахлесточных соединениях проводили на образцах, размеры которых показаны на рис. 2, 3. Верхняя деталь из стали Ст3 (ГОСТ 380-94) толщиной 2,5 мм имитировала привариваемую боковую стенку (ребро жесткости), нижняя — обшивку боковой стенки из стали 10Х13Г18Д (ТУ-14-1-4820-90) толщиной 1,5 мм. Перед сваркой образцы очищали от масла и грязи в месте соединения. Собирали их таким образом, чтобы зазор между верхней и нижней пластинами не превышал минимально допустимых размеров (0,1; 0,3 и 0,5 мм). Для этого использовали медные подкладки размером 50×5 мм с толщинами, равными величине зазора. ДТС нахлесточных соединений выполняли проволокой Св-08Х20Н9Г7Т (ГОСТ 2246-70) диаметром 1,6 мм в защитном газе (ГОСТ 8050-85).

Подбор оптимальных режимов сварки точечных швов проводили с помощью программирующего устройства путем регулировки напряжения на дуге, установки оптимальных значений скорости v и

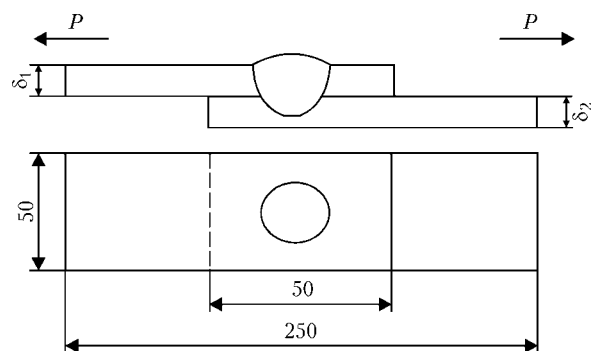


Рис. 2. Схема опытного образца

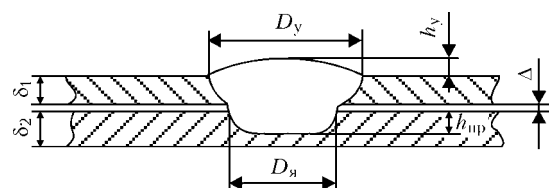


Рис. 3. Схема замеров на испытуемом образце: δ_1 , δ_2 — соответственно толщина верхнего и нижнего листа; D_n — диаметр ядра; D_y — диаметр усиления; h_{np} — глубина проплавления; h_y — высота усиления; Δ — зазор

Таблица 1. Режимы трех этапов ДТС экспериментальных образцов

№ группы образцов	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Возбуждение процесса		Сварка		Заварка кратера	
			v_1 , м/мин	t_1 , с	v_2 , м/мин	t_2 , с	v_3 , м/мин	t_3 , с
1	200...250	30...32	2,0...2,3	0,30...0,40	4,0...5,0	1,0...1,2	3,0...4,5	0,2...0,25
2	220...270		2,2...2,6	0,35...0,45	4,5...5,5	1,0...1,3	4,5...5,0	0,25...0,3
3	240...290		2,4...2,8	0,40...0,50	5,0...6,0	1,0...1,4	5,0...5,5	0,25...0,3
4	260...320		2,6...3,0	0,40...0,50	6,0...7,0	1,0...1,5	5,0...5,5	0,25...0,3
5	260...320		2,6...3,0	0,40...0,50	7,0...8,0	1,0...1,5	5,0...5,5	0,25...0,3

времени подачи сварочной проволоки t . С этой целью на лицевой стороне программирующего устройства размещены три пары кнопок управления

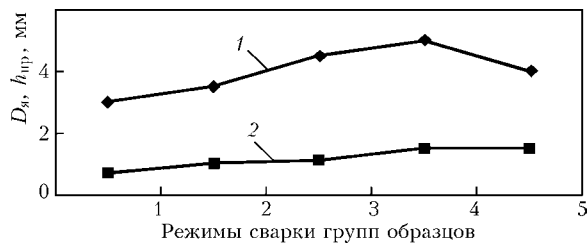


Рис. 4. Влияние режима сварки (см. табл. 1) на параметры точечного шва $D_{я}$ (1) и $h_{пр}$ (2)

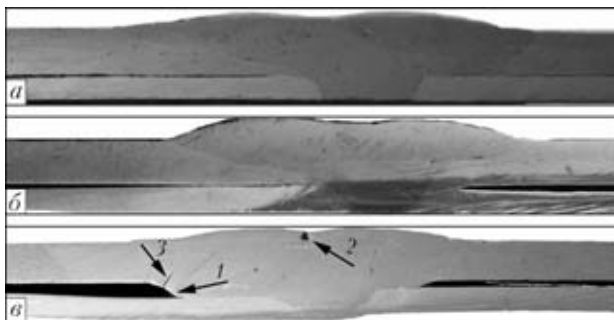


Рис. 5. Макрошлифы сварных соединений с зазором 0,1 (а), 0,3 (б) и 0,5 (в) мм: 1 — выплеск в зазор; 2 — усадочная раковина; 3 — трещина

Таблица 2. Основные дефекты в точечных соединениях образцов

№ группы образцов	Выявленный дефект
1	Нет дефектов
2	»»
3	Раковина (в 5 обр.) и трещина (в 1 обр.) в усилении шва
4	Нет дефектов
5	Раковина (в 5 обр.) в усилении шва

Таблица 3. Результаты испытаний образцов на срез

Зазор между свариваемыми элементами, мм	Сила среза, Н	Вид разрушения образца
0	$\frac{2080...2240}{2116}$	Вырыв по периметру литого ядра с нижней пластины
0,3	$\frac{1820...2250}{2070}$	
0,5	$\frac{1720...2180}{1923}$	Срез по литому ядру

режимами сварки: v_1 и t_1 — возбуждение процесса; v_2 и t_2 — сварка; v_3 и t_3 — заварка кратера. Сварку точечных швов выполняли на постоянном токе обратной полярности в нижнем положении на медной подкладке. Для подбора оптимального режима сварили пять групп образцов по пять образцов в каждой группе, расход защитного газа на всех этапах составлял 6...7 л/мин (табл. 1). После сварки определяли геометрические размеры сечения точечных швов (рис. 4). Как видно из табл. 1, наиболее благоприятным режимом сварки является режим группы образцов № 4.

Выявление дефектов (пор, трещин и др.) в точечных соединениях и характер их распределения проводили путем металлографических исследований (табл. 2). Анализ полученных результатов (рис. 5) позволяет сделать вывод об отсутствии недопустимых дефектов в сварных соеди-

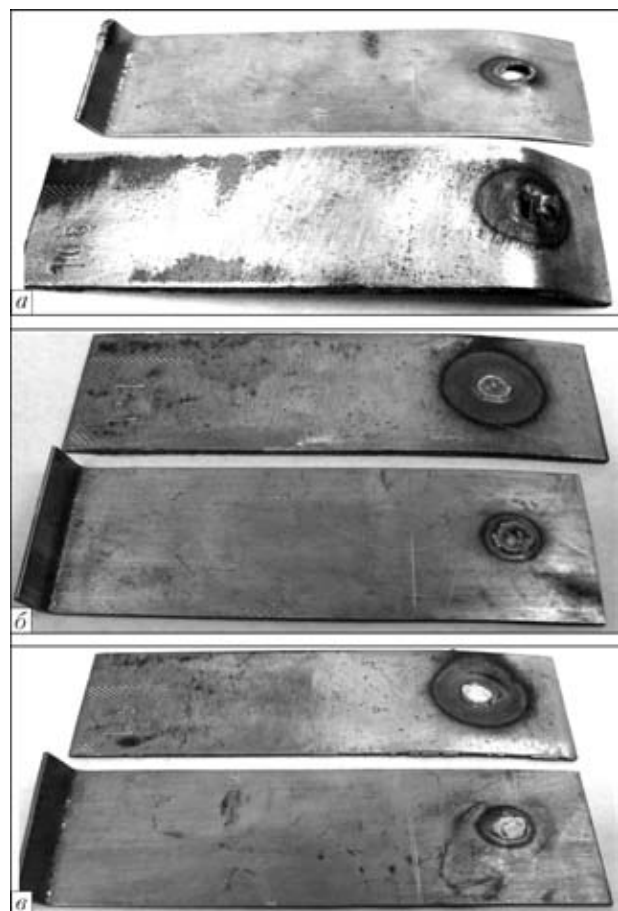


Рис. 6. Внешний вид образцов с зазором 0,1 (а), 0,3 (б) и 0,5 (в) мм, подвергшихся испытаниям



нениях, что подтверждает правильность выбранных режимов сварки точечных швов.

При изготовлении боковых стенок электро- и дизельных поездов проверку прочностных характеристик таких соединений проводили на образцах, выполненных на оптимальном режиме № 4 (см. табл. 1). Три группы образцов с зазором 0,1; 0,3 и 0,5 мм испытывали на срез на разрывной машине. В результате выявлено, что в большинстве случаев разрушение происходит с вырывом по периметру сплавления сварной точки в нижней пластине при значении силы среза более 20000 Н (рис. 6, а, б). При меньших значениях происходит разрушение сварного соединения без вырыва из основного металла (рис. 6, в). Во всех случаях для данного типа соединений допустимым можно считать значение силы среза более 20000 Н. Из табл. 3 видно, что с увеличением зазора несколько уменьшается сила среза сварного соединения. Наличие зазора между свариваемыми деталями более 0,5 мм может вызывать вытекание расплавленного металла в за-

зор. Наличие на поверхности сварной точки раковин не является дефектом и не влияет на прочность.

Выводы

1. Разработанная технология ДТС, обеспечивающая получение качественных бездефектных сварных нахлесточных соединений, может быть использована для промышленного применения при изготовлении боковых стенок кузовов электро- и дизельных поездов.

2. При зазоре между свариваемыми деталями более 0,3 мм получение качественных нахлесточных соединений затруднительно, а зазор более 0,5 мм может привести к получению дефектного сварного соединения из-за выплеска металла.

3. При ДТС нахлесточных соединений диаметр ядра сплавления равен 5...6 мм, что на 20...30 % больше, чем при контактной точечной сварке (ГОСТ 15878-79).

Application of spot arc welding for manufacture of side walls of bodies of electric and diesel trains, and joining of stiffeners to lining in particular, is considered. Optimal welding conditions for spot welds have been selected, quality of overlap welded joints has been assessed, and strength tests have been conducted.

Поступила в редакцию 21.03.2005

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

- Качественное и количественное определение содержания основных легирующих и примесных элементов, включая газы, в различных материалах — рудах, концентратах, минералах, порошках, шлаках, флюсах, чугунах, сталях, сплавах на основе никеля, титана, алюминия, меди и др.
- Изготовление микрошлифов, выявление и фотографирование микроструктуры, металлографический контроль качества и установление природы дефектов металлопродукции, фрактграфические исследования.
- Разработка методик исследования, определение и идентификация нитридных, оксидных и сульфидных включений, изучение фазового состава интерметаллидов, карбидов и других фаз в различных материалах.
- Исследование структуры и фазового состава материалов методами световой и электронной микроскопии: количественной и высокотемпературной металлографии, рентгеноструктурного и микроспектрального анализов.
- Разработка методик и исследование некоторых физических свойств металлов, шлаков, покрытий методами дилатометрии, высокотемпературного дифференциального термического анализа, калориметрии, а также исследование взаимодействия в системе газ-шлак-металл при нагреве различными источниками тепловой энергии.

Отдел оснащен просвечивающим электронным микроскопом JEM-200CX (фирма JEOL, Япония); ретровым электронным микроскопом JSM-840 с системой анализа «Link» (фирма JEOL, Япония); фотоэлектрическим вакуумным спектрометром ДФС-51У; микронзондом для микрорентгеновского спектрального анализа SX-50 (фирма «Сатеса», Франция); оптическим эмиссионным спектрометром SPECTRO-VAC-1000 DV-4 (фирма «Baird», Нидерланды).

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 22
Тел.: (38044) 289 01 30; 289 65 40. Факс: (38044) 287 23 66
E-mail: leco@carrier.kiev.ua

Редколлегия и редакция журнала считает полезным познакомиться читателей с деятельностью Ассоциации «Электрод», занимающейся проблемами развития производства сварочных электродов в странах СНГ вот уже на протяжении 15 лет.

Ниже публикуется подборка статей, подготовленных по материалам докладов, заслушанных на 2-м Научно-практическом семинаре «Дуговая сварка. Материалы и качество» в Магнитогорске 26–30 сентября 2005 г.

От редакции

УДК 621.791.658.562

15 ЛЕТ АССОЦИАЦИИ «ЭЛЕКТРОД» И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРАНАХ СНГ ЗА 2000–2004 ГОДЫ

П. В. ИГНАТЧЕНКО, инж. (Ассоциация «Электрод»), **А. И. БУГАЙ**, инж. (ОАО «ЧСПЗ»)

Освещены основные направления деятельности Ассоциации «Электрод» предприятий стран СНГ за последние 15 лет. Показаны темпы развития производства сварочных материалов и направления повышения качества и их конкурентоспособности.

Ключевые слова: дуговая сварка, производство стали, сварочные материалы, покрытые электроды, проблемы качества, конкурентоспособность

13–14 марта 1990 г. на Московском электродном заводе состоялось совещание представителей ведущих предприятий–изготовителей сварочных электродов, организаций разработчиков и изготовителей технологического оборудования, научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов СНГ по поводу обращения 12 руководителей ведущих предприятий к председателю Совета Министров СССР Н. И. Рыжкову с просьбой обязать министерства и ведомства обеспечить выполнение заданий, предусмотренных Постановлением Совета Министров в части создания и изготовления основного технологического оборудования. Имевшееся оборудование, длительно эксплуатируемое в электродных цехах и участках, физически износилось и морально устарело, что неудовлетворительно отражалось на качестве выпускаемых электродов. Несмотря на положительную реакцию Н. И. Рыжкова на указанное обращение, практических результатов, к сожалению, не последовало. В связи с этим в марте 1990 г. было проведено инициативное совещание представителей 31 предприятия и организаций, а также Госплана СССР, ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, ЦНИИ «Прометей», Гипрометиза, ПО «Днепромметиз», ВНИИЭТО, на котором было принято решение о разработке технологического оборудования на средства заинтересованных изготовителей сварочных электродов, для чего было предложено соз-

дать Ассоциацию «Электрод». Она взяла на себя обязанности по развитию производства электродов на современном уровне, обеспечению его сырьевыми компонентами, подготовке кадров и др. Участники X Всесоюзной конференции по сварочным материалам, которая состоялась в сентябре 1990 г. в Краснодаре, поддержали идею создания Ассоциации. 17–20 декабря 1990 г. в г. Москве состоялось первое Учредительное собрание, на котором был утвержден устав, избран совет, ревизионная комиссия, президент и исполнительный директор. Необходимость и своевременность создания такой организации стали особенно понятными после распада СССР.

Уже в феврале 1993 г. на расширенном совещании, на котором присутствовало 54 представителя Ассоциации и 40 приглашенных, был рассмотрен ряд конкретных предложений.

Обнадеживающим стало вступление в Ассоциацию таких разработчиков оборудования, как ООО «Велма», НПП «Свапро», ОАО «Спецэлектрод», ООО «Ротекс», ОАО «Тяжпрессмаш», ОАО «НИИмонтаж», ООО «Консит» и др., которые внесли и вносят весомый вклад в создание технологического оборудования и прогрессивных технологических процессов.

Несмотря на постоянно испытываемые финансовые трудности, объединение ведущих предприятий–производителей сварочных электродов, разработчиков оборудования позволило комплексно решить вопросы, касающиеся электродного производства стран СНГ, с целью создания оборудования на уровне ведущих зарубежных фирм.



Таблица 1. Выпуск стали (числитель) и проката (знаменатель) в странах СНГ, млн т

Страна	1999	2000	2001	2002	2003	2004
СНГ	78,3/60,0	91,1/70,5	91,011/70,977	93,2/84,28	98,3/80,5	110,57/93,37
Россия	51,5/40,89	57,6/46,7	59,0/47,1	59,7/48,7	61,4/51,4	64,3/53,9
Украина	26,8/19,11	31,4/22,4	31,4/22,4	33,5/25,58	36,9/29,1	38,738/33,38
Казахстан	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	5,4/4,0
Другие страны	»»	2,1/1,4	1,611/1,477	»»	»»	2,136/2,096

За эти годы были достигнуты следующие результаты:

НПП «Свапро» (ныне ООО «Эликос») разработало электрообмазочный пресс модели ПЭГ-5000, а ОАО «Тяжпрессмаш» изготовил и поставил его ОАО «ОСПАЗ», ОАО «МЭЗ», Бийскому олеумному заводу, ООО «Пенза электрод», «Севмаш», ОАО «Межгосметиз-Мценск» и ЗАО «ЭЛЗ» (г. С.-Петербург);

ООО «Велма» создала зачистные машины производительностью 1200 шт. электродов в минуту с маркировщиком, ряд линий мощностью 500, 1000, 2000 и 2500 т электродов в год (смесители, правильно-отрезные станки, печи, сита, мельницы). По заявкам поставляется отдельное оборудование прессы различной производительности, ведутся работы по совершенствованию технологий изготовления электродов. Указанное оборудование поставляется различным предприятиям стран СНГ;

ОАО «ОСПАЗ» разработало зачистные машины, бракозачистные установки, пылесосы (рукавные фильтры) для зачистных машин, полуавтоматические упаковочные линии и др.;

фирма «Ротекс» создала и изготавливает линии двух модификаций производительностью до 3 тыс. т электродов в год;

ОАО «ЧСПЗ» собственными силами изготовило конвейерную печь, благодаря чему стало возможным выпускать электроды с основным покрытием, а закупленные у фирмы «Велма» линии дали возможность выпускать электроды малого диаметра;

ОАО «АО «Спецэлектрод» путем расширения производственных площадей увеличило (наряду со специальными) выпуск электродов общего назначения с основным и рутиловым покрытием. Кроме того, организовано и освоено производство электросварочного оборудования, создано металлургическое (плавильное) отделение, где производится высоколегированная проволока для изготовления электродов специального назначения. Оснащение в основном проводили за счет собственных разработок и частичных закупок оборудования в России, Украине и дальнем зарубежье;

ГПОЗСМ им. Е. О. Патона НАН Украины в основном за счет собственных разработок осуществил техническое перевооружение подготовительного отделения шихтовых материалов, линий для упаковки сварочных электродов в картонные пачки и полиэтилен, произвел монтаж и наладку линии для изготовления порошковой проволоки малых диаметров с рядной намоткой на кассеты;

путем закупки отечественного и импортного оборудования ООО «Сычевский электродный завод» осуществил полную реконструкцию электродного производства;

ЗАО «Электродный завод» осуществил техническое перевооружение собственными силами, используя оборудование, созданное разработчиками Ассоциации.

Таким образом, за время существования Ассоциации совместными усилиями достигнуты определенные успехи в техническом перевооружении цехов и участков, создании и изготовлении технологического оборудования, внедрении прогрессивных технологических процессов, решении проблемы упаковки электродов. Разработчики продолжают работать над созданием и совершенствованием оборудования с целью доведения его до уровня ведущих зарубежных фирм.

Рассматривая результаты производства сварочных материалов в 2004 г. следует отметить, что увеличение объемов их производства зависит от выпуска промышленной и строительной продукции, стали и проката в России и Украине, о чем свидетельствует анализ статистических данных (табл. 1).

Так, металлурги России в 2004 г. произвели 64,3 млн т стали, 53,9 млн т проката. По сравнению с 2003 г. увеличение стали составило 4,7, проката 4,8 %. Украина выпустила 38,738 млн т стали и 33,38 млн т проката; прирост составил соответственно 4,9 и 11 %.

Общий объем производства покрытых сварочных электродов в 2004 г. в странах СНГ составил 290751 т, из них 77 % приходится на предприятия Российской Федерации, 18 на Украину и 5 на остальные страны СНГ. По сравнению с 2003 г. общий объем производства возрос на 6,3 %, в том числе в Российской Федерации на 5,4, в Украине на 9,2 %. Объем производства электродов с рутильменитовым покрытием составляет 187291, основным 87343 т, выпуск электродов специального назначения для сварки высоколегированных сталей и цветных металлов составил 16117 т (увеличился на 27,7 %).

В Российской Федерации изготовлено 223743 т электродов, в том числе с рутильменитовым покрытием 130603, фтористо-кальциевым 77538 т, специальных электродов 15602 т. В Украине изготовлено 52032 т электродов, из них с рутильменитовым покрытием 43213, фтористо-кальциевым 8309, специальных электродов 510 т.

Наметилась положительная тенденция увеличения производства электродов малого и среднего

Таблица 2. Выпуск сварочных материалов в СНГ за период 1999–2004 гг.

Материалы (тип покрытия, диаметры)	1999	2000	2001	2002	2003	2004
СВАРОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ (СНГ)						
Всего	213657	277407	252321	245978	273542	290751
В том числе:						
Рутилильменитовые	164807	199446	179231	159419	178481	187291
Фтористо-кальциевые	40339	62873	76489	82438	87438	87343
Специальные	8511	9969	10217	10070	12623	16117
По диаметрам, мм:						
3,0	60370	83384	76706	75476	79283	89080
4,0	127380	154855	142455	140161	159943	168589
5,0	23296	38790	32329	28994	32820	32810
6,0	2611	378	831	1347	1496	272
РОССИЯ						
Всего	167900	224559	211745	189403	212194	223743
В том числе:						
Рутилильменитовые	126140	156575	143916	110721	128536	130603
Фтористо-кальциевые	33560	58184	58045	69178	71599	77538
Специальные	8200	9800	9784	9504	12059	15602
По диаметрам, мм						
3,0	49983	48694	62876	56218	65730	68524
4,0	162811	141203	120799	109365	119524	128653
5,0	12600	34384	27390	23000	25519	26387
6,0	2546	278	680	820	1421	193
УКРАИНА						
Всего	34758	35833	34807	44276	47624	52032
В том числе:						
Рутилильменитовые	27668	30067	29646	36399	37636	43213
Фтористо-кальциевые	6779	5280	4728	7311	9428	8309
Специальные	311	486	433	566	560	510
По диаметрам, мм:						
3,0	10427	9968	9737	11175	14675	16207
4,0	17179	20247	20512	27874	27274	30798
5,0	6594	5400	4407	5168	5601	4948
6,0	558	168	151	59	74	79
ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ СНГ						
Всего	10999	6720	5769	12072	13724	14976
В том числе:						
Рутилильменитовые	10999	6720	5769	12072	12310	13475
Фтористо-кальциевые	—	—	—	—	1411	1496
Специальные	—	—	—	—	3	5
По диаметрам, мм						
3,0	—	1690	1656	3808	1734	4346
4,0	7200	4415	3581	7130	9609	9134
5,0	3799	615	530	1922	2383	1495
ЛЕГИРОВАННАЯ СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА (СНГ)						
Всего, диаметром до 2 мм	26503	33227	31648	36577	38723	48695
В том числе Ø 0,8...1,4 мм	12756	13647	9925	16610	17108	22980
РОССИЯ						
Всего, диаметром до 2 мм	6298,8	23161	22290	23615	25123	32635
В том числе Ø 0,8...1,4 мм	3940	9118	6076	9328	9708	13980



УКРАИНА						
Всего, диаметром до 2 мм	20204,2	10066	9358	12962	13600	16060
В том числе Ø 0,8...1,4 мм	8816	4529	3849	7282	7400	9020
Порошковая проволока (СНГ)						
Всего	2274	2836	3073	2865	3585	4426
В том числе:						
Сварочная	1395	1590	1610	1763	1948	2549
Наплавочная	878,7	1246	1463	1102	1637	1877
РОССИЯ						
Всего	1756	2253	2336	2076	2535	3458
В том числе:						
Сварочная	1180	1414	1398	1485	1579	2212
Наплавочная	890	839	938	591	956	1246
УКРАИНА						
Всего	518,5	583	737	789	1050	968
В том числе:						
Сварочная	215,8	176	212	278	271	337
Наплавочная	302,7	407	525	511	779	631
СВАРОЧНЫЕ ФЛЮСЫ (СНГ)						
Всего	21955	30215	28746	28066	31106	36886
В том числе:						
Россия	6650	7650	8715	8732	6051	10585
Украина	15305	22565	20031	19334	25055	26301

диаметра (от 2,0 до 4,0 мм). Их выпуск суммарно составил 257668 т (88 % общего количества). Увеличение производства по сравнению с 2003 г. составило 8 %. Электродов диаметром 5,0 и 6,0 мм изготовлено соответственно 32810 и 272 т.

Общий объем выпуска легированной сварочной проволоки диаметром до 2,0 мм для механизированной сварки в защитных газах составил 48695 т, из нее диаметром 0,8...1,4 мм 22980 т. В Российской Федерации изготовлено 32635 т, из нее диаметром 0,8...1,4 мм 17108 т, в Украине — 16060, из нее диаметром 0,8...1,4 мм 9020 т. По сравнению с 2003 г. общий объем выпуска проволоки увеличился на 26 %, в Российской Федерации на 30, в Украине на 18 %. Освоен промышленный выпуск омедненной сварочной проволоки, которая по заказам потребителей поставляется на шпулях и катушках с рядной намоткой массой от 5 до 15 кг. Поставщиками такой проволоки являются в основном предприятия — члены Ассоциации: ОАО «Межгосметиз-Мценск», ОАО «МММЗ» (ныне ОАО «ММК-Метиз»), ОАО «ЧСПЗ» и ОАО «ОСПЗ» в объединении ОАО «Северсталь-Метиз». В 2004 г. изготовлено 5780 т омедненной проволоки, что на 48 % больше по сравнению с 2003 г.

Сварочной и наплавочной порошковых проволок в 2004 г. изготовлено 4426 т (больше по сравнению с 2003 г. на 23 %), из нее сварочной 2549, наплавочной 1877 т. Объем производства порошковой проволоки в Российской Федерации составил 3458 т, из нее сварочной 2212, наплавочной 1246 т. В Украине произведено 968 т порошковой проволоки, сварочной 337 и наплавочной 631 т.

Сварочных флюсов произведено в 2004 г. 36886 т, в том числе в Российской Федерации 10585, в Украине — 26301 т. Объем производства сварочного флюса по сравнению с 2003 г. в России увеличился на 75, в Украине на 5 %.

В 2004 г. общий объем производства сварочных материалов составил 380758 т, в том числе для механизированной сварки 80751 т. На долю выпуска сварочных материалов для механизированной сварки приходится 21 % общего выпуска.

Из приведенных данных видно, что основную долю сварочных работ в странах СНГ по-прежнему выполняют покрытыми электродами. Несмотря на существующий низкий уровень механизированной сварки положение в последнее время начинает уже меняться в лучшую сторону. Так, если производство сварочных электродов в 1990 и 1999 гг. составило соответственно 690,0 и 213,6 тыс. т (снижение в 3,2 раза); легированной сварочной проволоки 23,0 и 2,3 тыс. т (в 10 раз) и сварочного флюса 146,5 и 21,9 тыс. т (в 6,7 раза), то в 2000–2004 гг. положение с выпуском сварочных материалов, особенно для механизированной сварки, значительно улучшилось (табл. 2).

На сегодня в странах СНГ имеется достаточно производственных мощностей по производству сварочных материалов как для ручной, так и для механизированной сварки. Однако в связи с медленным увеличением выпуска промышленной продукции существующие мощности не загружены. В результате прекратили свою работу ОАО «Балашейский производственный комбинат», крупный цех (на 40 тыс. т) на ОАО «Сулинский металлургический завод», цех на «Атоммаше» (г.

Волгодонск), ОАО «ДЭИЗСМ» (г. Днепропетровск). Почти не работает электродный цех мощностью 35 тыс. т на ОАО «Сталеканатный» (бывший ОАО «Одесский сталепрокатный завод») и др.

Несмотря на финансовые трудности и нестабильную реализацию продукции предприятия члены Ассоциации уделяют большое внимание реконструкции и техническому перевооружению электродных цехов, замене устаревшего и морально изношенного оборудования на новое. Это такие предприятия, как ЗАО «ЭЛЗ» (г. С.-Петербург), ООО «Сычевский электродный завод», ГПОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, ОАО «ММЗ»; ОАО «Мехгосметиз-Мценск», ОАО «ШЭЗ», ОАО «АО «Спецэлектрод», ЗАО «Артемаш «Вистек», ЗАО «СЭЗ «СИБЭС», ОАО «ОСП «Велком» и др., разработчики оборудова-

ния ООО «Велма», ЗАО «Арктос», ОАО «Тяжпрессмаш», ООО «Эликос» и др.

Одним из важнейших направлений деятельности Ассоциации является решение вопросов, связанных с поиском новых месторождений сырья, содействие в поставках качественных сырьевых компонентов предприятиям-производителям электродов и др.

Учитывая ценовую политику, Ассоциация видит в качестве важнейшего направления ее деятельности налаживание заинтересованных взаимоотношений между производителями сварочных материалов, их потребителями и поставщиками сырьевых компонентов. Это касается прежде всего поставок ферротитана нужного качества и поташа для производства натриево-калиевой и калиево-натриевой силикатных глыб.

Main areas of activity of the Association «Electrode» in the CIS countries during the last 15 years are described. The rates of development of production of welding consumables and trends in improvement of quality and competitiveness are shown.

Поступила в редакцию 17.10.2005

УДК 621.791.75.042

ТЕХНОЛОГИЯ КАК ОБЪЕКТ И ИНСТРУМЕНТ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А. Е. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Качество и цена — главные составляющие рыночной конкурентоспособности электродной продукции. Технология производства сварочных электродов — сложный многооперационный процесс, включающий множество потенциальных источников возмущений, которые необходимо подавить для достижения нужного качества продукции при доступной ее цене. Проанализированы традиционные инженерно-технические подходы, которые необходимо применять в сочетании с приемами управления, используемыми нашими изготовителями электродов в своей практике в соответствии с рекомендациями международных стандартов ИСО серии 9000:2000.

Ключевые слова: сварочные электроды, технология изготовления, конкурентоспособность продукции, менеджмент качества

В последние годы наметились негативные тенденции в производстве сварочных электродов в странах СНГ. Так, в 3,5...4,0 раза сократились объемы выпуска электродов, из-за чего уменьшилась производственная нагрузка на действующие технологические линии традиционных производителей электродов. Многие линии выведены из эксплуатации, а оставшиеся эксплуатируются в нерегулярном режиме. Появилось множество малотоннажных производителей электродов, территориально приближенных к потребителям, что сопровождается уменьшением концентрации производства и ухудшением связанных с этим его технико-экономических показателей. Почти полностью свернуты исследовательские работы в области технологии изготовления электродов, а результаты исследований, которые еще продолжа-

ются, недоступны широкому кругу производителей.

Увеличилось количество источников исходного сырья, поскольку многие предприятия-изготовители электродов перешли на сырье из ближайших регионов, которое чаще всего мало изучено. Вследствие этого ухудшились технологические характеристики используемого сырья, а объемы поставляемых его партий существенно уменьшились, поскольку нет смысла замораживать средства на закупку крупных партий материалов, которые долгое время не будут востребованы.

Нарушилась также ритмичность производства, что стало еще одной причиной ухудшения качества продукции. У действующих предприятий существенно возросла нагрузка на аналитические службы, в то время как их техническая оснащенность все больше отстает от требований времени, а во многих, вновь созданных, вообще не имеется аналитических служб. Остро ощущается нехватка компетентного персонала.

Единственным положительным моментом является уменьшение средневзвешенного диаметра из-



готовляемых электродов, что, с одной стороны, решило ряд технологических вопросов, которые возникали при конвейерном производстве электродов большого диаметра, а с другой, существенно обострило проблемы, связанные с точностью изготовления электродов.

Можно утверждать, что сложившаяся ситуация добавила к прежним технологическим проблемам множество новых, которые мало изучены, мало проанализированы и сложно решаются.

Технология как способ изготовления электродов. В буквальном смысле технологию (от греч. *technē* — искусство, мастерство, умение и *logos* — понятие, учение) можно отнести к любой деятельности человека, в ходе которой он создает материальные, общественно-идеологические или духовные ценности. Будучи продуктом научных исследований, она дает в руки человека методы создания этих ценностей.

Задача технологии как науки — выявление физических, химических, механических и других закономерностей с целью создания и практического использования наиболее эффективных и экономичных производственных процессов, т. е. способов воздействия на сырье, материалы или полуфабрикаты соответствующими орудиями производства [1].

В материальной сфере технология является областью знаний, включающей научные концепции, методологию, способы и необходимые средства их реализации для достижения практического результата.

В социологии технология — это эксплуатируемая в производственных условиях совокупность процессов или способов воздействия с помощью труда на предметы труда при изготовлении промышленной продукции.

Технология как способ реализации производственного процесса представляет собой совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств и формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе изготовления продукции [1].

По выражению И. А. Хинта [2], технология — это наука об использовании достижений ес-

тественных наук для развития методов производства сырьевых материалов и их дальнейшей переработки в средства производства и потребительские товары. Электроды являются одним из видов промышленного сырья, используемого в производстве сварных конструкций, и это определение к ним относится в полной мере.

Технология производства электродов как область знаний формировалась и развивалась в XX в. с использованием научных результатов физической (в том числе коллоидной) и органической химии, реологии, а также практических достижений технологии таких параллельно развивающихся многотонажных производств, как химическое, металлургическое, силикатное, метизное, производство полимеров, строительных материалов и пр. Теоретики менеджмента прогнозируют, что в XXI в. взаимное проникновение технологий во все сферы человеческой деятельности станет еще более кардинальным [3]. Следует ожидать, что на развитие электродной технологии в более значительной степени, чем прежде, будут влиять заимствованные извне знания, добытые с помощью фундаментальных и смежных наук, о которых специалисты-электродчики пока не имеют представления. Основная задача будет состоять в настойчивом овладении этими знаниями, их расширении и углублении прежде всего с целью совершенствования электродной технологии как науки (области знаний) и использования ее для результативного и эффективного решения технологических проблем производства сварочных электродов для того, чтобы технология, с одной стороны, была в постоянной готовности адекватно откликаться на требования производства электродной продукции, а с другой, заняла бы достойное место в производстве сварочных материалов, такое, например, как технология металлов в машиностроении, технология формы в литейном производстве, технология сварки в производстве сварных конструкций.

В условиях перехода к рыночной экономике меняются акценты в задачах, которые должны решаться технологическими средствами. Если раньше главным для производства было достижение высокой производительности труда с целью

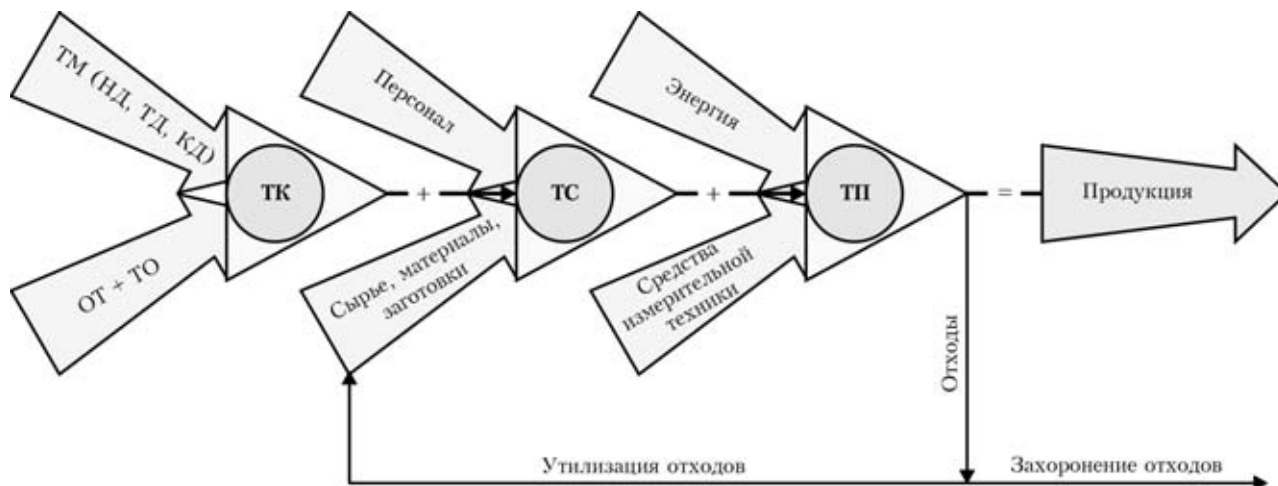


Рис. 1. Ключевые составляющие технологического процесса изготовления электродов (см. обозначения в тексте)

выпуска максимального объема продукции, то теперь — более важно обеспечить изготовление именно такой продукции, которая будет полностью соответствовать требованиям покупателя по своим характеристикам и качеству и будет реализована на рынке.

Технологии как инструмент обеспечения конкурентоспособности продукции. Цель хозяйственной деятельности любого предприятия, изготавливающего сварочные электроды, — добиться эффективности производства за счет выпуска и реализации продукции.

В условиях рыночной экономики можно реализовать только конкурентоспособную продукцию.

Конкурентоспособность — это характеристика продукции (или совокупность ее свойств), определяющая степень потребительского предпочтения к ней по сравнению с другими аналогичными изделиями [4].

В мировой практике конкурентоспособность продукции определяется следующими требованиями:

соответствием качества изготавливаемой продукции требованиям рынка и конкретного потребителя;

величиной совокупных затрат потребителя на закупку, доставку и эксплуатацию продукции;

способностью предприятия поставлять продукцию в сроки, необходимые потребителю;

репутацией предприятия на рынке, наличием объективных доказательств, которые удостоверили бы надежность предприятия-поставщика как партнера, и способностью представить такие доказательства по первому желанию заказчика [5].

Создавая программу повышения конкурентоспособности продукции, ведущие предприятия учитывают все выше перечисленные целевые установки.

Однако на практике многие из них уделяют внимание в первую очередь установкам, с помощью которых можно оптимизировать соотношение качества продукции и ее цены.

Качество по ДСТУ ISO 9000:2001 — это степень соответствия совокупности собственных характеристик (отличительных особенностей) продукции требованиям, т. е. ее сформулированным потребностям или ожиданиям, общепринятым или обязательным.

Цена формируется на основании затрат предприятия на производство качественной продукции. Причем цена должна быть доступной для покупателей, и в то же время приемлемой для производителей, т. е. она должна быть настолько выше себестоимости, чтобы получаемая прибыль стала достаточной для финансирования всего того, что необходимо для поддержания и улучшения качества продукции и ее производства [6].

Ценовая конкуренция, которая до последнего времени преобладала в отношениях между нашими производителями электродов, является самым разорительным и весьма нежелательным видом борьбы за потребителя. Без ущерба для себя ценовую конкуренцию могут применять лишь мощные

фирмы и то лишь некоторое время, пока не добьются вытеснения с рынка мелких конкурентов. Кроме того, продажа продукции по заниженной цене является растратой природных ресурсов, которые не безграничны. Само по себе это аморально, поскольку осуществляется теми, кто эти ресурсы не создавал и кому они в сущности не принадлежат [7].

Повышение цены на продукцию даже в пределах рыночной разницы цен приносит предприятию мало пользы. Чем выше цена, тем меньше прибыль, поскольку объем продаж при этом уменьшается. К тому же, повышая качество товара для обеспечения его рыночной конкурентоспособности, не соизмеряя это со своими финансовыми возможностями, предприятие может обанкротиться, потеряв собственную конкурентоспособность.

Итак, из изложенного выше можно сделать следующий вывод: качество и конкурентоспособность — категории, несомненно, связанные, но далеко не совпадающие. Конкурентоспособность продукции с повышением качества может понижаться, и наоборот. «Поэтому повышение качества и конкурентоспособности продукции, как полагают некоторые, — это есть абсурд ... и главной задачей отечественной экономики в XXI веке является рост конкурентоспособности за счет роста качества» [7]. Это высказывание полностью относится и к сварочным электродам.

Рассматривая конкурентоспособность отечественных производителей электродов, следует особо отметить, что они функционируют в условиях глобализации мировой экономики при остром дефиците инвестиций. Следовательно, им нужно быть готовыми рано или поздно конкурировать на собственном рынке с ведущими мировыми производителями электродов независимо от того, желают ли они этой конкуренции или нет, при существенно ограниченной возможности вложения денег в совершенствование своей технологии и продукции. Конкуренция ожидается жесткой. Конкурировать придется с фирмами не просто ведущими, а ставшими лидерами в условиях настоящей жесткой конкуренции, выстоявшими в ней, уже поделившими мировые сферы влияния и готовящимися активно вторгаться в наш рынок. Со вступлением во Всемирную торговую организацию мировой рынок придет к нам, даже если бы мы и не собирались выходить на него, и отсидеться в нише вряд ли удастся какому-нибудь производителю электродов.

Следует отметить, что в аналогичной ситуации в свое время были товаропроизводители стран, которых, когда они достигли выдающихся успехов в бизнесе, стали называть тиграми. Отечественным производителям электродов их опыт следует изучать и по возможности использовать в своей практической деятельности.

Итак, обеспечение конкурентоспособности продукции в ближайшем будущем становится приоритетной задачей отечественных производителей электродов. Ее, несомненно, придется решать путем обеспечения конкурентоспособного качества



продукции, развивая предприятия преимущественно на основе самофинансирования. При этом следует ориентироваться главным образом на существующую технологию, поскольку средств на радикальные изменения в обозримом будущем у большинства отечественных предприятий не предвидится. В таком случае, чтобы добиться положительного результата, правильно будет выбрать стратегию действий путем постоянного совершенствования элементов существующей технологии при минимальных денежных затратах. И важно также выбрать, куда эффективнее всего в данный момент направлять усилия и средства.

Технология как инструмент улучшения процесса изготовления электродов. Как видно из рис. 1, технология состоит из нескольких блоков. Технологический метод (ТМ) является основой технологического комплекса, составляющего ядро технологической системы, которая входит в состав технологического процесса, а вместе они образуют производственный процесс со своей структурой, управлением, информационными и финансовыми потоками.

ТМ — это совокупность правил, определяющих содержание и последовательность действий по переработке, перемещению обрабатываемых материалов, техническому контролю, испытаниям в ходе изготовления или ремонта продукции, установленных безотносительно данного вида продукции, ее наименования, типоразмера или исполнения. ТМ — это отдельная область в фундаментальных исследованиях.

Технологический комплекс (ТК) включает нормативную (НД), технологическую (ТД) и конструкторскую (КД) документацию, а также средства технологического оснащения (СТО), состоящие из технологического оборудования (ОТ) и технологической оснастки (ТО). ТК создается на стадии разработки конкретного вида продукции, реализуется путем проектирования, строительства и комплектации технологическим оборудованием производственной базы, предназначенной для изготовления этой продукции. В результате появляется возможность материализовать ТМ выбранными проектировщиком средствами производства в ходе практического осуществления конкретного производственного процесса.

Технологическая система (ТС) позволяет реализовать потенциальные возможности ТК путем включения в него исполнителей (компетентного персонала), а также привязки к качественной, доступной, длительно и надежно функционирующей сырьевой базе и отлаженному материально-техническому снабжению (логистике).

Запускают ТС в действие и обеспечивают ее надежную работу в виде технологического процесса (ТП) с помощью предусмотренных проектом видов энергии, способов контроля и испытаний продукции и мониторинга процессов нужными средствами измерительной техники (СИТ).

Для того, чтобы производство электродов было результативным и эффективным, т. е. постоянно выдавало конкурентоспособную продукцию, все перечисленные элементарные состав-

ляющие его блоки, должны функционировать безупречно.

Учитывая высокую ответственность и особые требования к надежности конструкций, которые свариваются покрытыми электродами, новые виды и марки электродов, а также документацию на них традиционно разрабатывают компетентные, хорошо оснащенные научно-исследовательские организации. Они же разрабатывают и первичную техническую документацию на изготовление электродов. Первая является информационной моделью электродной продукции (рецептура, технические условия), вторая — технологической моделью ее производства (технологический регламент, принципиальный технологический процесс, технологические инструкции).

Основная задача разработчиков электродов состоит в том, чтобы на основе изучения прогнозов развития отраслей, в которых сварка используется как ТП, анализа данных каталогов, рекламных проспектов, национальных и международных стандартов, патентов и публикаций, относящихся к электродам, задать новой разработке нужный технический уровень (говоря рыночным языком, обеспечить техническую конкурентоспособность продукции). Его включают в техническую документацию в виде так называемых нормативных показателей электродов.

Самостоятельно разрабатывают НД немногие производители электродов. Большинство приобретает ее у разработчиков на лицензионной основе. Задача покупателя лицензии — выбрать предмет и продавца лицензии, реализация которой обеспечит ему ожидаемые преимущества на рынке. Для разработчика и потенциального производителя электродов будет лучше, если нормативные показатели выбираются по результатам совместно проведенного исследования и анализа рынка, а также с учетом реальных технических способностей производителя или возможностей их совершенствования.

На основе технологической модели электродной продукции проектируется и сооружается производство электродов как первый этап технологической реализации разработки (ТРР).

Целью второго этапа ТРР является обеспечение условий для воспроизведения нормативных характеристик в виде так называемых объектовых показателей электродов. Иными словами, создаются гарантии безусловного достижения показателей электродов, регламентированных НД, благодаря тому, что их изготовят из нужного сырья, на предписанных технологических режимах, с требуемой точностью и при участии персонала, необходимого уровня компетентности и ответственности.

Заключительный элементарный блок ТРР должен обеспечить стабильность и воспроизводимость процессов и показателей качества изготовления электродов, которое обычно характеризуется уровнем дефектности продукции. Чем выше качество изготовления, тем ниже уровень дефектности электродов.

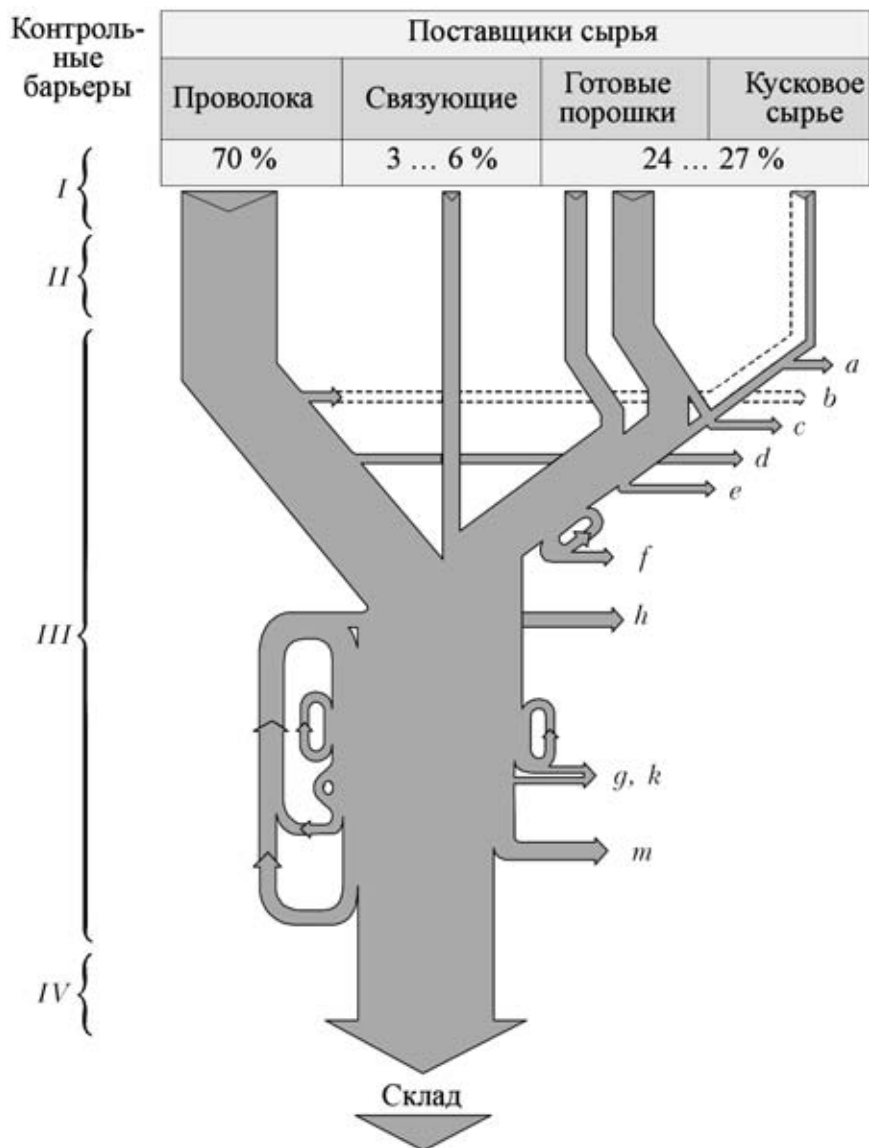


Рис 2. Схема движения и баланс материалов в технологическом процессе изготовления электродов: *a, c, e* — соответственно потери материалов при измельчении, просеве и сухом смешивании; *b, d* — при подготовке стержней; *f* — сухой смеси; *h* — потери проволоки и покрытия при очистке и отмывке стержней; *g* и *k* — потери покрытия при опрессовке и зачистке концов электродов; *m* — потери влаги при термообработке электродов

Технология производства электродов является многооперационным процессом (рис. 2). Расположенные в нужной последовательности технологические операции выполняют предписанную для каждой из них степень преобразования материала и обеспечивают нужное качество промежуточных заготовок. Пооперационный контроль должен показать безупречность каждой из них, иначе ошибки, возникшие и не выявленные на этапе предшествующих операций, будут мультиплицироваться на последующих стадиях производства. Например, несоответствие продукции может быть вызвано следующими факторами: поставка плохого материала; несовершенная организация поставок; нарушение технологических режимов; ненормальная организация рабочих мест; перебои в электропитании; необученность персонала; нетренированность исполнителей и др. В результате заложенный в продукцию уровень технической конкурентоспособности продукции и качество изготовления достигнут не будет.

В ходе ведения ТП его исполнителям приходится постоянно решать двуединую задачу. С одной стороны, надо применять методы своевременного обнаружения отклонений, а также предотвращать их появление с целью поддержания заданных показателей продукции и процессов (адаптивное управление путем изменения технологических параметров в зависимости от изменения внешних условий); с другой, необходимо непрерывно улучшать показатели продукции и процессов для того, чтобы они соответствовали растущим требованиям рынка. Принимая во внимание назначение и особенности производства электродной продукции, адаптивное управление производством и улучшение продукции и процессов следует осуществлять с применением методов статистического регулирования.

Одновременно решается задача повторного использования и утилизации отходов с целью защиты окружающей среды.

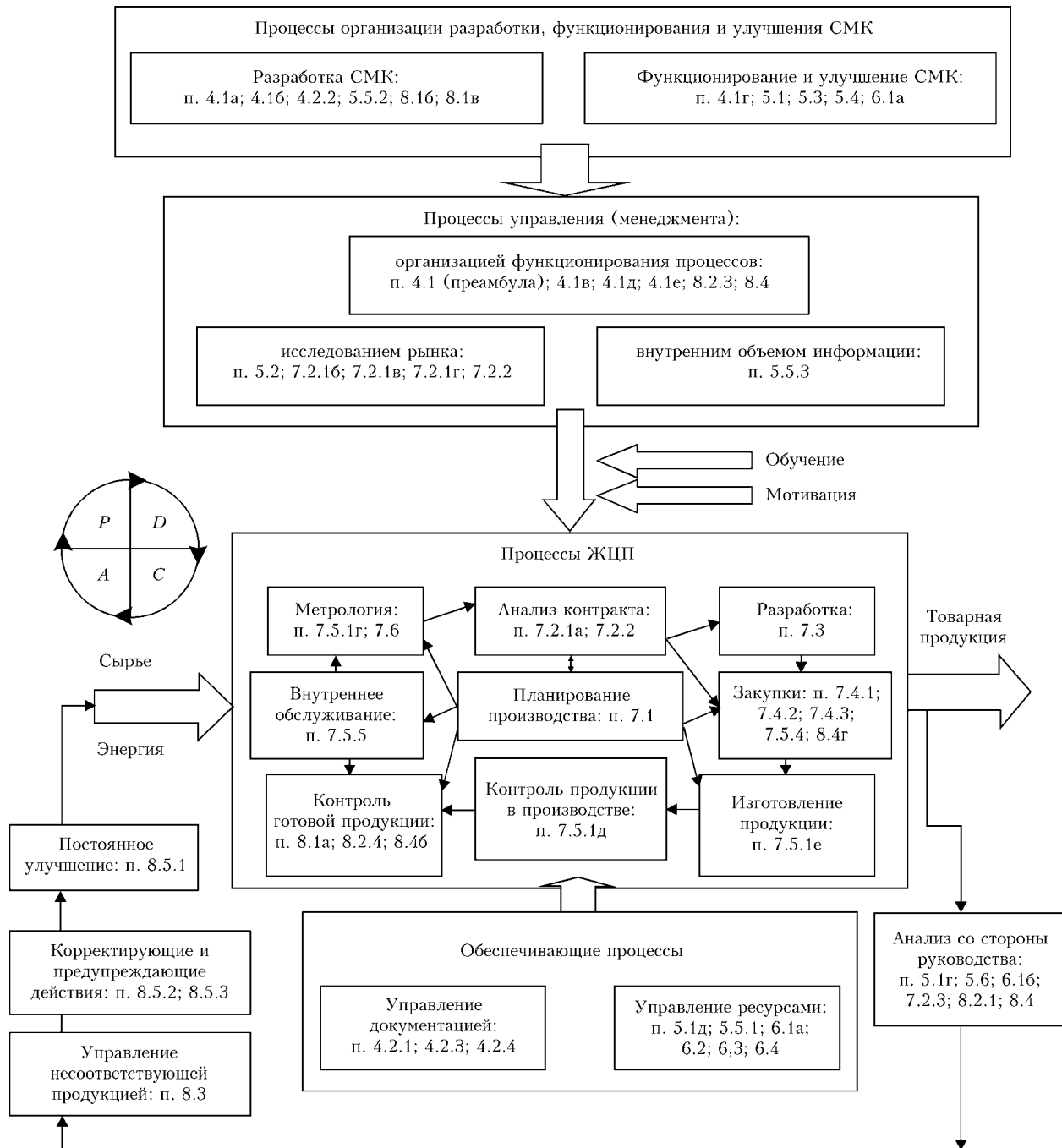


Рис. 3. Схема процессов менеджмента качества по ДСТУ ISO 9001:2001

Технология как объект менеджмента качества.

С точки зрения постоянного повышения конкурентоспособности продукции, технология производства электродов непременно должна опираться не только на технологические предписания, но и на принципы управления. Следует четко регламентировать распределение полномочий и ответственности между руководящим, исполняющим и контролирующим персоналом. Это положение должно распространяться на все элементы, обеспечивающие функционирование технологии (технический метод, средства технического оснащения и измерительной техники, предметы труда, персонал, энергообеспечение, информацию). Таким образом, технологию нужно рассматривать не только

как инструмент, но и как объект менеджмента качества.

Современный менеджмент качества опирается на положения международных стандартов МС ИСО серии 9000:2000 (в странах СНГ они представлены соответствующими национальными версиями: в Украине — это ДСТУ ISO серии 9000:2001, в России — ГОСТ Р ИСО серии 9000:2001).

Положения МС ИСО серии 9000:2000 распространяются практически на все сферы деятельности организации. Независимо от объекта приложения эта деятельность осуществляется по процессной модели, даже если в самом стандарте она не предписана в процессной форме (сравнить, например, ресурсы, инфраструктура с такими

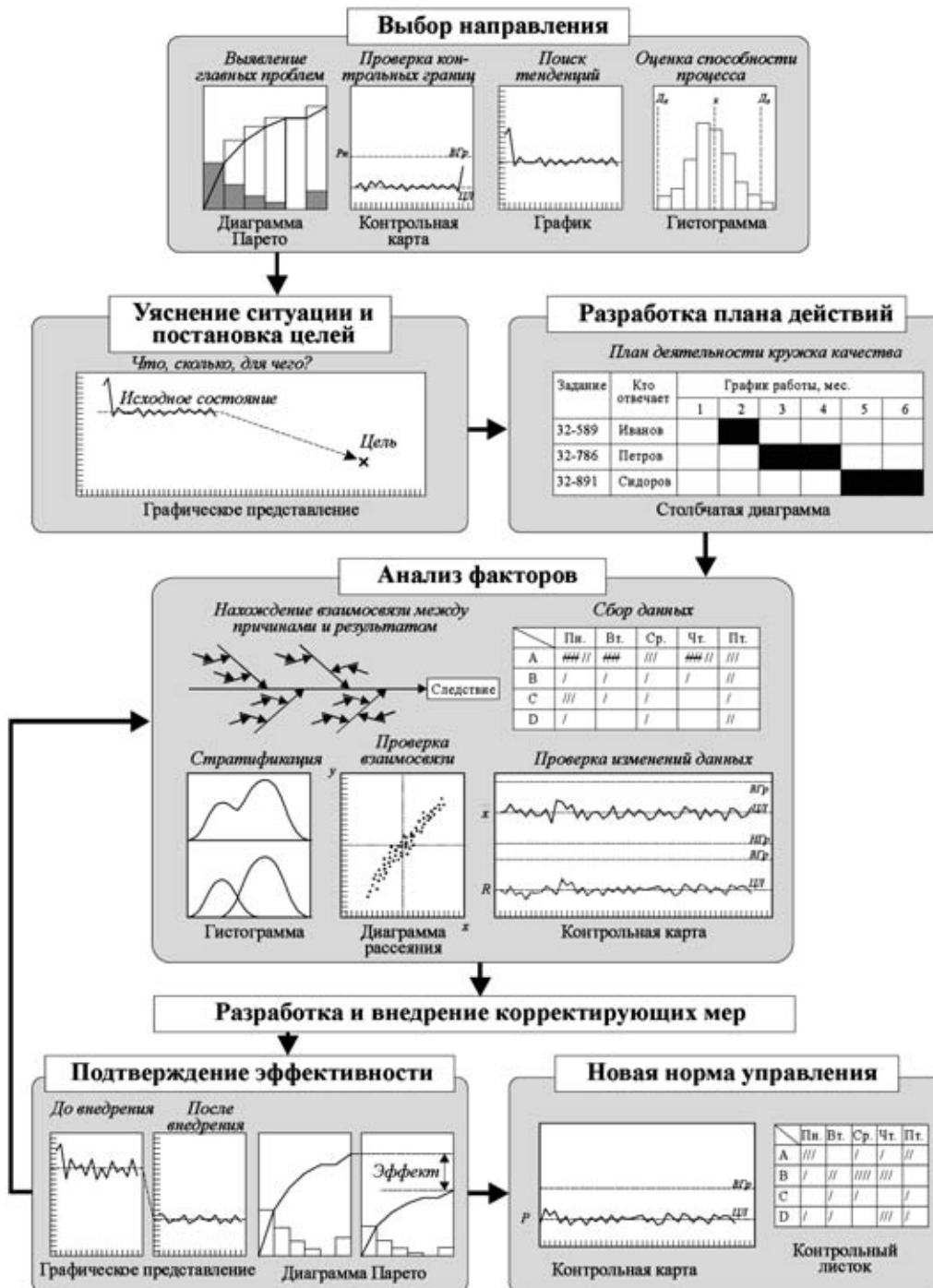


Рис 4. Циклограмма применения статистических методов с целью непрерывного улучшения процессов

разделами, как закупки, планирование, выпуск продукции). Схему процессов, предусмотренных в МС ИСО 9000, можно представить в виде, приведенном на рис. 3. В нее входят процессы управления (менеджмента), включая организацию функционирования процессов и обмен информацией, обеспечивающие процессы (документирование, поставка ресурсов), выпуск продукции (процессы ее жизненного цикла (ЖЦП)), процессы измерения и основанные на их результатах управленческие действия. Как видим, блоки процессов выстроены по циклу PDCA (планируй–делай–проверяй–действуй). Объединяет их система менеджмента качества (СМК), разработка и наладка

которой представляет собой самостоятельный процесс, ответственность за осуществление которого возлагается на высшее руководство организации, поскольку позволяет наилучшим образом реализовать остальные процессы.

Видно, что структура процессов СМК по МС ИСО 9000:2000 действительно охватывает все виды деятельности, необходимой для нормального функционирования и постоянного совершенствования технологии изготовления электродов. А ориентация технологической модели на указанную структуру превращает ее в динамическую систему, нацеленную не столько на примитивное «переваривание» ресурсов, сколько на накопление

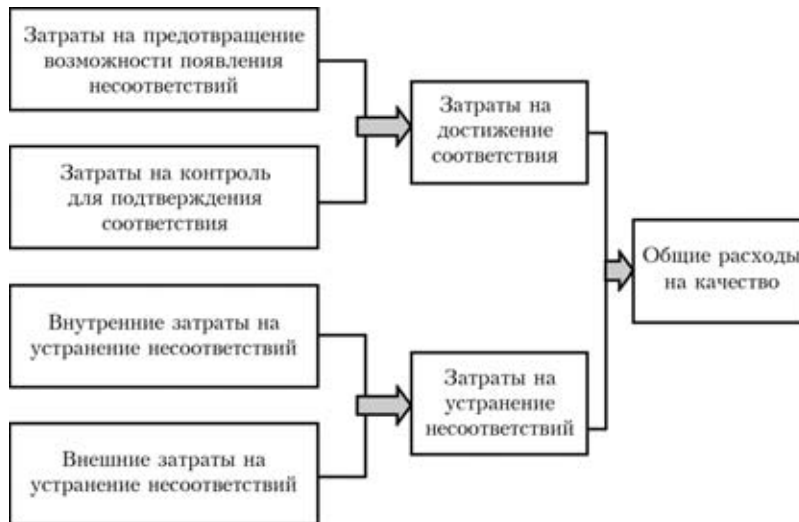


Рис. 5. Составляющие расходов (затрат) на качество

потенциала организации и достижение превосходных технических, экономических результатов, а следовательно, конкурентных преимуществ [8].

Технология может быть объектом специальной оценки независимой стороной. Для большинства производств сертификация технологии осуществляется в рамках аттестации производства [9]. В Украине аттестацию проводят по ДСТУ 3414–96 [10]. Технология сварочного производства, осуществляемого преимущественно в виде специальных процессов, качество продукции которых нельзя подтвердить прямыми измерениями, является в Украине предметом самостоятельной аттестации (ДСТУ 3951–2000). Технологию электродного производства лучше всего оценивать в рамках сертификации СМК организации, поскольку в ней имеется не очень большое количество специальных процессов, а расходы на разработку и внедрение СМК не слишком отличаются от затрат на разработку документов, необходимых для аттестации производства. В то же время технический и экономический эффекты от функционирования СМК, как правило, намного ощутимее, чем от аттестации производства. Нам известны сертифицированные СМК электродных предприятий на основе технологической документации (инструкций).

Методология совершенствования технологии производства электродов в рамках СМК базируется на результатах статистической оценки продукции и процессов, которая является неотъемлемой составляющей менеджмента качества по МС ИСО серии 9000:2000. При этом используются простые приемы статистической оценки, ориентированные на применение имеющихся СИТ, доступные и понятные производственному персоналу, прошедшему небольшой курс обучения [11, 12]. Они включают график, контрольную карту, диаграмму Парето, гистограмму, диаграмму рассеяния, диаграмму причинно-следственных связей («рыбий скелет»), карту расщепления (стратификации) данных. Каждый раз, когда возникает необходимость в новом витке улучшения, применяется цикл PDCA. Последовательность действий иллюстрируется схемой, представленной на рис. 4

[13]. Их повторяют до тех пор, пока не будет достигнут желаемый результат.

Статистические данные используют для оценки точности и воспроизводимости технологических процессов, показателей качества подготовки персонала, оценки поставщиков и др.

Параллельно с заданной периодичностью оцениваются экономические показатели производства, и среди них обязательно — расходы на качество. Для этого можно использовать несколько трансформированные результаты бухгалтерского и управленческого учета. Их распределяют в соответствии с требованиями МС ИСО 9004:2000 (и соответственно ДСТУ ISO 9004:2001 или ГОСТ Р ИСО 9004:2001) по четырем категориям (рис. 5): расходы на контроль; на предупредительные мероприятия; затраты на внутренние потери от брака; на внешние потери от брака. При этом важно выдержать следующие требования:

категории затрат должны быть постоянными и не должны дублировать друг друга;

для обеспечения сопоставимости общие затраты следует приводить к определенным базам (например, к объему реализованной продукции, добавленной стоимости, трудоемкости или себестоимости, при этом каждый раз база должна быть одной и той же);

нужно следить за тем, чтобы при нормировании числитель и знаменатель соответствовали одному и тому же периоду времени [14, 15].

Анализ затрат на качество позволяет найти источники потерь, исключение которых повысит конкурентоспособность продукции и предприятия.

Большие перспективы в управлении конкурентоспособностью продукции на основе качества открылись с появлением концепции Г. Тагути [15]. В соответствии с этим подходом повышение качества следует обеспечивать одновременно с понижением его стоимости. Качество со стоимостью связано характеристикой, которая названа функцией потерь качества. Известно, что Ф. Тейлор в начале XX в. ввел понятия о номинале и допусках и доказал, что попадание в границы допуска при нужном номинале уже вполне достаточно для обеспечения качества. Со временем для повышения гарантии качества, например в автомобилестроении, потребовалось рассеяние контролируемого параметра так сузить в пределах допуска, что между номиналом и каждой границей допуска могло уложиться шесть среднеквадратичных отклонений, характеризующих статистическое рассеяние показателя. При этом в принятой продукции может оказаться немногим больше трех дефектных изделий на 1 млн [12]. Согласно концепции Г. Тагути, потери, вызванные отклонением от качества, равны нулю только в том случае, если значе-

ние параметра совпадает с номиналом. Они возрастают для потребителя и общества в квадратичной зависимости по мере удаления показателя качества от номинала. Главное на стадии разработки продукции (оборудования, процессов) заложить такие решения, при которых характеристики продукции будут в наименьшей степени подвержены разбросу под влиянием несовершенства технологии. Безусловно, с этой задачей может справиться только опытный и технически хорошо оснащенный разработчик.

В качестве критерия робастности, т. е. нечувствительности к воздействиям технологии, предложен показатель, обратный известному в статистике коэффициенту вариации.

Исходя из этого, наивысшей робастностью при переработке должны характеризоваться, например, обмазочные массы, изготовленные на жидких стеклах, попадающих по составу на начальный участок кривой концентрация–вязкость. И чем протяженнее этот участок, тем лучше. По нашим наблюдениям, статистический выход бракованных электродов по разнотолщинности покрытия, действительно оказывается минимальным при определенной средней вязкости жидкого стекла. И он возрастает почти в квадратичной зависимости по мере отклонения вязкости в меньшую или большую сторону от указанного оптимального значения.

Аналогичные рекомендации можно предложить для регулирования зерновых составов порошков материалов электродных покрытий для обеспечения пластичности обмазочных масс. Экспериментально установлено, что оптимальными, с этой точки зрения, являются такие зерновые составы порошков, при которых достигается наиболее плотная упаковка зерен шихты. В отдельных случаях, когда зерновой состав шихты регулируют путем изменения зерновых характеристик каждого отдельно взятого материала покрытия при неизменных зерновых составах остальных составляющих, можно добиться уникального технологического эффекта, который выражается в очень высокой пластичности обмазки. Огорчает, однако, слишком большое количество оптимальных зерновых составов шихты, если его регулировать названным способом, с одной стороны, и очень резкие ухудшения пластичности, вызванные даже незначительным отклонением зернового состава шихты от оптимального варианта, с другой стороны. С производственной точки зрения, управлять таким процессом очень сложно, особенно если изменения зернового состава порошков происходят по независимым от оператора причинам. В то же время одинаковое для всех составляющих электродного покрытия изменение зерновых

характеристик, хотя и не приводит к уникальному технологическому эффекту, но тем не менее больше подходит для производственных условий вследствие более приемлемых характеристик робастности процесса.

Управление технологией методами менеджмента качества по МС ИСО серии 9000:2000 не может осуществляться по каким-то рецептам, которые являются единственными для всех предприятий и видов электродной продукции. Указанные стандарты предлагают, что необходимо делать, а какие приемы при этом следует применять должен выбрать конкретный пользователь стандартов в приложении к задачам, которые ему нужно решать. Общие подходы, основанные в том числе и на собственном опыте, автор изложил в рекомендациях [16].

1. *Советский* энциклопедический словарь. — М.: Сов. энцикл., 1981. — 1600 с.
2. *Хитт И. А.* Силикацит и его проблемы: Науч.-информ. сб. — Таллин: Валгус, 1979. — С. 3–35.
3. *Друкер П. Ф.* Задачи менеджмента в XXI веке / Пер. с англ. — М.; СПб; Киев: Вильямс, 2001. — 272 с.
4. *Рыбаков И. Н.* Качество и конкурентоспособность продукции при рыночных отношениях // Стандарты и качество. — 1995. — № 12. — С. 43–47.
5. *Чайка И. И.* Конкурентная борьба предприятий — это соревнование систем управления качеством // Там же. — 1996. — № 12. — С. 55–59.
6. *Через качество к эффективности* // Там же. — 1998. — № 3. — С. 75–77.
7. *Шадрин А. Д.* Качество, конкурентоспособность, менталитет, сертификация // Там же. — 2002. — № 6. — С. 68–73.
8. *Швец В. Е.* Рефлексивный менеджмент качества (РМК) — принципы, стратегия, методы и эффективность // Международный проект «Созвездие качества 2004»: Тез. докл. 5-й Междунар. конф. профессионалов качества. — Киев, 2004. — С. 9–7.
9. *ДСТУ 3410–96.* Система сертификації УкрСЕПРО. Основні положення. — Чинний з 31.12.96.
10. *ДСТУ 3414–96.* Атестація виробництва. Порядок здійснення. — Чинний з 31.12.96.
11. *Семь инструментов качества в японской экономике* / Сост. Э. К. Николаева. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 88 с.
12. *The Six Sigma Memory Jogger TM II.* Карманный справочник по инструментам и методам для командного совершенствования / Пер. с англ. М. Брасарда, Л. Финна, Д. Джинна, Д. Риттера. — Киев: Украинская ассоциация качества, 2003. — 264 с.
13. *Латидус В. А., Рекшинский А. Н.* Диалог консультанта с руководителем компании. — Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2000. — 84 с.
14. *Экономика качества* / Предоставлено компанией Ланит. — <http://www.devbusiness.ru/development>.
15. *Свиткин М. З., Мацута В. Д., Рахлин К. М.* Менеджмент качества и обеспечение качества продукции на основе международных стандартов ИСО. — СПб: Изд-во СПб картофабрики ВСЕГЕИ, 1999. — 403 с.
16. *Марченко А. Е.* Опыт разработки и внедрения систем управления качеством по ДСТУ ISO 9001:2001 // III ежегодный науч.-практ. семинар «Сварка и родственные процессы в современном машиностроении и судоремонте» (г. Одесса, 7–8 июля 2005 г.). — Одесса, 2005. — С. 3–12.

Quality and price are the main components of market competitiveness of electrode products. Technology of welding electrode manufacturing is a complex multioperation process, having a multitude of potential disturbance sources that should be suppressed to achieve the required quality of products at an affordable price. In this connection the paper analyzes the traditional engineering-technical approaches which our electrode manufacturers started applying in practice in keeping with recommendations of ISO international standards of 9000:2000.

Поступила в редакцию 06.10.2005



РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДОВ С ВЫСОКИМИ СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ НАПЛАВКИ

М. И. КУЧЕРОВА, инж., **Ю. М. БЕЛОВ**, канд. техн. наук, **А. А. РАНЦЕВ**, **Д. В. АРСЮКОВ**, инженеры
(ЗАО «Электродный завод», г. С.-Петербург, РФ)

Приведены сведения о разработке серии электродов нового поколения, предназначенных для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, рабочих поверхностей подшипников, режущих кромок, деталей, работающих в средах высокой агрессивности.

Ключевые слова: дуговая наплавка, покрытие электроды, износостойкость, сварочно-технологические свойства, испытания

Наряду с расширением номенклатуры ЗАО «Электродный завод» постоянно занимается проблемой совершенствования сварочно-технологических свойств электродов для сварки и наплавки. В последние годы разработаны четыре марки наплавочных электродов нового поколения: ЭЛЗ-Н2, ЭЛЗ-Н3 (для наплавки углеродистых), ЭЛЗ-НВ-1, ЭЛЗ-НВ-4 (для наплавки углеродистых и высоколегированных сталей).

Электроды марок ЭЛЗ-НВ-1 и ЭЛЗ-НВ-4 с рутилово-основным видом покрытия предназначены для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, рабочих поверхностей подшипников трения и скольжения оборудования энергомашиностроения, режущих кромок тяжело нагруженных штампов горячей штамповки, кромок ножей оборудования для измельчения щепы в целлюлозно-бумажной и гидроизоляционной промышленности, а также других деталей, эксплуатирующихся в средах высокой агрессивности при температурах до 600 °С. Наплавка осуществляется в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Существенными технологическими преимуществами этих электродов являются следующие:

возможность выполнения наплавки деталей без предварительного и сопутствующего подогрева с гарантированным отсутствием холодных и горячих трещин и других дефектов в наплавленном металле;

стабильное горение дуги в широком диапазоне сварочного тока;

обеспечение отличного формирования наплавленных валиков;

легкое отделение шлаковой корки от поверхности наплавленных валиков;

легкое повторное зажигание дуги после ее обрыва без удаления оплавленного покрытия с торца электрода;

возможность наплавки последующих валиков без удаления шлака с предыдущих.

Одновременно эти электроды удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к металлу для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, работающей в различных агрессивных средах — концентрированных кислотах, растворах кислот и щелочей, теплоносителях АЭС и др. Кроме того, у них полностью отсутствуют недостатки, присущие электродам марки ЦН-2, ЦН-12М, а также стеллитам различных составов.

Электроды гарантируют получение следующих физико-механических свойств наплавленного металла: твердость наплавленного металла в исходном состоянии $HRC\ 20...38$, а после соответствующей термической обработки (отпуск при заданной температуре, выдержка, охлаждение на воздухе) $HRC\ 40...55$ для электродов ЭЛЗ-НВ-1 и более $HRC\ 56$ для ЭЛЗ-НВ-4. Наплавочные электроды марки ЭЛЗ-Н2 с основным видом покрытия были созданы с целью замены известных, широко применяемых в различных отраслях промышленности электродов марки Т-590.

Необходимость разработки новых электродов обусловлена тем, что электроды марки Т-590 имеют целый ряд недостатков: низкую износостойкость наплавленного металла при работе в условиях интенсивного ударно-абразивного воздействия; невозможность выполнения многослойной наплавки большой толщины; высокую склонность наплавленного металла к хрупкому разрушению и отколу от основного металла в процессе эксплуатации; плохое формирование наплаваемых валиков и др. Кроме того, при производстве электродов марки Т-590 систематически возникают трудности с получением качественных покрытий на электродных стержнях.

Проведенный комплекс НИР и всесторонних промышленных испытаний электродов марки ЭЛЗ-Н2 показал следующее:

при работе в жестких ударно-абразивных условиях эксплуатации (дробление и разлом феррохрома, феррованадия, ферровольфрама и др.) абсолютная износостойкость металла, наплавленного новыми электродами ЭЛЗ-Н2, в 3-4 раза больше, чем металла, наплавленного электродами марки Т-590;

твердость наплавленного металла в состоянии после наплавки HRC 58...60;

возможность выполнять наплавку в несколько слоев суммарной толщиной до 15...20 мм;

высокую сопротивляемость наплавленного металла образованию горячих и холодных трещин;

хорошее формирование наплавляемых валиков при легком удалении шлаковой корки с их поверхности;

высокую технологичность покрытия при изготовлении электродов в серийном производстве на электрообмазочных прессах.

В 2003–2004 гг. на предприятии были разработаны новые электроды марки ЭЛЗ-НЗ для наплавки изношенных рабочих поверхностей штампов горячей штамповки. Металл (типа 4ХЗВ2М2Ф), наплавленный этими электродами, в исходном состоянии имеет твердость HRC 45...48. Из-за на-

личия в наплавленном металле 10...15 % остаточного аустенита он обладает повышенной сопротивляемостью образованию горячих трещин, что дает возможность осуществлять наплавку достаточно больших поверхностей в 3...5 слоев суммарной толщиной 8...12 мм. После отпуска в результате распада остаточного аустенита твердость повышается до HRC 51...52.

Металл, наплавленный электродами ЭЛЗ-НЗ, обладает горячей твердостью, высокой износостойкостью при температуре до 650 °С. Горячая твердость при температуре 600...650 °С находится в диапазоне HRC 32...35, что обеспечивает износостойкость наплавленной поверхности штампов в процессе горячей штамповки.

Опытно-промышленные испытания электродов марки ЭЛЗ-НЗ на автозаводе «КАМАЗ» подтвердили приведенные выше данные.

Data is given on development of a series of new generation electrodes, designed for surfacing the sealing surface of R-bars, working surface of bearings, cutting edges, exposed to highly aggressive media in operation.

Поступила в редакцию 10.10.2005

УДК 621.791.75.042

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А. В. БАРАНОВ, инж., **Ю. Д. БРУСНИЦЫН**, канд. техн. наук, **Д. А. КАЩЕНКО**, **А. А. СОКОЛОВ**, инженеры
(ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г. С.-Петербург, РФ)

Описан опыт использования минеральных сплавов в электродных покрытиях, содержащих алюминий в форме глинозема, каолина или нефелина. Определено, что добавки минеральных сплавов снижают активность порошковых компонентов электродных покрытий.

Ключевые слова: дуговая сварка, покрытые электроды, производство, обмазочная масса, жидкое стекло, минеральные сплавы

Предприятия-производители сварочных электродов заинтересованы в создании условий, обеспечивающих нужный уровень технологичности опрессовки, основных показателей качества покрытия, сварочно-технологических свойств электродов и механических свойств наплавленного металла сварных швов.

При опрессовке электродов с фтористо-кальциевым покрытием нередко происходят затвердевание обмазочной массы (вплоть до ее затвердевания в цилиндре пресса), а также изменение толщины покрытия. Затвердевание обмазочной массы имело место при введении в покрытие порошков алюминия и магния, пигментных сортов диоксида титана, в том числе марки «ТСМ», известняка Угловского месторождения, мрамора вскрышных пород, кремнефтористого натрия, а в отдельных случаях — кальцинированной соды.

В связи с ухудшением качества ферротитана возникает проблема предотвращения пористости в

наплавленном металле сварных швов. Пористость в нем появляется при введении в покрытие таких компонентов, как глинозем, каолин, нефелин, полевой шпат, т. е. содержащих оксид алюминия.

На основании упомянутого выше можно сделать вывод о развитии в обмазочной массе и покрытии электродов процессов формирования кристаллических гидратированных соединений и коллоидных новообразований, возникающих при затвердевании цемента.

Выявлено, что вода из покрытий сварочных электродов так же, как и из сварочных агломерированных флюсов, в процессе их прокаливания при температуре 360...400 °С полностью не удаляется; значительная ее доля сохраняется вплоть до 650...800 °С. При этом наличие сухого остатка жидкого стекла не является тому причиной. Как показал дифференциальный термический анализ трех проб жидкого натриевого и натриево-калиевого стекла, выполненный д-ром техн. наук С. И. Печенюк (ИХТРЭМС КНЦ РАН), вода из сухого остатка полностью удаляется при нагреве до 400 °С.



Результаты испытаний опытных партий электродов типа УОНИ-13/55 (с миналом) диаметром 4 мм

Пред- приятие	Маркировка партии электродов (дата испытаний)	Химический состав наплавленного металла, %					Механические характеристики наплавленного металла					
		C	Si	Mn	S	P	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	Работа удара KV, Дж/м ² , при T, °C	
											-40	-60
ПО «Севмаш»	Св-08АА (02.12.2004)	0,07	0,45	1,43	0,013	0,014	559...569	461...466	33	75	80...124	68...102
ЭФП «Инстрэл»	Св-08А (10.06.2004)	0,07	0,44	1,23	0,019	0,012	570...580	450...485	27...31	76...78	64...124	42...71

Исходя из литературных источников, например [1, 2], в которых освещается проблема получения адсорбентов на основе использования щелочных растворов, можно констатировать следующее:

водорастворимые силикаты являются веществом, из которого получают кремнеземные коллоиды и гели;

жидкие стекла — водные растворы щелочных силикатов (золы) при высушивании образуют гидрогель кремнезема. Образование геля начинается при комнатной температуре, с повышением которой процесс ускоряется;

чем дольше жидкое стекло находится при комнатной температуре, тем больше образуется зародышей геля кремнезема и тем меньше их размер, вследствие чего химическая активность геля возрастает;

в товарных сортах жидкого стекла с модулем менее 4 формируются частицы геля размером от 30 до 100 нм;

частицы образующегося при высушивании геля состоят из кремнезема $\text{Si}(\text{OH})_4$ и ионов HSiO_3^- , находящихся с ним в состоянии равновесия;

при получении алюмосиликатов в виде цеолитов (адсорбентов) для реакции с мономером кремнезема нужен гидроксид алюминия.

Если в смеси присутствует порошок алюминия или его оксид, то они в течение короткого промежутка времени полностью гидролизуются.

Реакция взаимодействия мономерного кремнезема с ионами Al^{3+} протекает с образованием галлуазита $\text{Al}_{12}\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_8$, выделяющего воду при 650 °C (реже при 800 °C).

Наиболее интенсивно образование цеолитов происходит при температуре 90 °C в случае выдерживания (старения) гидрогеля при комнатной температуре [3].

Приведенный выше небольшой экскурс в специальную литературу по зольгельной технологии, безусловно, не затрагивает многих практических

аспектов. Однако на основании его можно судить о наличии аналогичных процессов в обмазочных массах и электродных покрытиях, если в их составе присутствует алюминий или оксид алюминия в форме глинозема и других соединений (каолина, нефелина, кианита). Следствием этих процессов является удерживание воды в виде гидроксильных групп, окружающих катионы металлов (кремния и алюминия) слоями, имеющими различную прочность связей и отцепляющихся от катионов при нагреве до температуры от 400 до 800 °C. Подобные явления могут иметь место в обмазочных массах, содержащих оксиды титана, марганца, кальция, магния и других металлов.

Следовательно, для того чтобы избежать возникновения упомянутых реакций гидрогеля кремнезема, необходимо порошки компонентов электродных покрытий сделать малоактивными. Одним из практических решений этой проблемы является использование минеральных сплавов, подобных сварочным плавным флюсам. Их состав должен отвечать несколько иным требованиям, учитывающим композицию электродных покрытий.

Поставленные задачи частично решены в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей».

В 2003 г. закончена разработка электродного покрытия на основе кальций-магний-титановой композиции и соответствующего минерального сплава (его условное название минал).

Завершается разработка сварочных электродов серии УОНИ-13 на основе этой композиции. В таблице приведены результаты испытаний опытных партий электродов.

1. Айлер Р. Химия кремнезема: В 2 т. — М.: Мир, 1982. — 1127 с.
2. Корнеев В. И., Данилов В. В. Производство и применение растворимого стекла. — Л.: Стройиздат, 1991. — 177 с.
3. Жданов С. П. Общие закономерности и особенности кинетики кристаллизации цеолитов // Адсорбция и адсорбенты: Тр. VI Всесоюз. конф. по теоретическим вопросам адсорбции. — М.: Наука, 1987. — 270 с.

Experience of using mineral alloys in electrode coverings containing aluminium in the form of alumina, kaolin or nepheline is described. It is shown that additions of mineral alloys decrease reactivity of powder components of electrode coverings.

Поступила в редакцию 12.10.2005

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ НАПЛАВКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. Н. ОРЛОВ, канд. техн. наук, **А. А. ГОЛЯКЕВИЧ**, инж. (ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», г. Киев),
В. И. ТИТАРЕНКО, инж. (ЧНПКФ «РЕММАШ», г. Днепропетровск),
В. Н. ПЕЛЕСКО, инж. (КЗТО, г. Кривой Рог)

Приведены сведения о выпускаемых ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» порошковых проволоках и опыте их использования при восстановлении деталей и механизмов в металлургической и горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковые проволоки, реновация деталей и машин, прокатные валки, крановые колеса, металлургическое оборудование, дефекты литья

Электродуговая наплавка порошковой проволокой занимает прочные позиции в реновации деталей машин и механизмов в различных отраслях промышленности. Выбор порошковой проволоки осуществляют с учетом условий эксплуатации восстанавливаемой детали, ее конструктивных особенностей, типа защиты, имеющегося оборудования.

Ролики машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В развитых странах около 80 % всей выплавляемой стали обрабатывается с применением энергосберегающей технологии непрерывной разливки стали как обладающей комплексом других эксплуатационных преимуществ. Эффективность применения МНЛЗ в значительной мере определяется стойкостью ее роликов, которые эксплуатируются в условиях длительных циклических и термомеханических нагрузок в агрессивной среде. Ролики поддерживающих и разгибающих узлов работают в экстремальном температурном режиме: максимальная температура на поверхности роликов может достигать 670...750 °С, они также воспринимают усилия от ферростатического раздутия и разгиба слитка. На прямолинейных участках ролики подвергаются преимущественно абразивному износу. Разрушение их рабочей поверхности проявляется в виде износа поверхностного слоя и образования трещин разгара. Наиболее эффективна изготовительная и восстановительная наплавка роликов с применением порошковых проволок в качестве наплавочного материала. Эффективность наплавки определяется стоимостью порошковой проволоки, производительностью процесса, толщиной наплавляемого слоя, энергоемкостью всех технологических этапов, стоимостью монтажных работ и простоем оборудования. В отечественной металлургии для восстановительной наплавки роликов МНЛЗ традиционно применяются сплошные и порошковые проволоки 12Х13, 20Х17 в сочетании с флюсами АН-20С и АН-26П. Это обеспечивает получение хромистого наплавленного металла с мартенситно-ферритной структурой (рис. 1), для

которой характерно формирование больших (более 15 %) участков δ -феррита, являющихся причиной образования трещин разгара и повышенного износа.

Наряду с этим процесс наплавки сопровождается затруднительным отделением шлаковой корки, что является причиной появления дефектов в виде протяженных шлаковых включений. Ресурс восстановления роликов по этой технологии составляет 300...400 тыс. т слитков, что не отвечает современным требованиям.

На предприятии ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» с этой целью применяют порошковые проволоки ВЕЛТЕК-Н470 и ВЕЛТЕК-Н470С (ТУУ 19369185.018-97) в сочетании с флюсами АН-20 и АН-26. Для улучшения структурного состояния наплавленного металла используют комплексное легирование хромистого металла никелем, молибденом, ванадием, ниобием и редкоземельными металлами. Определены и реализованы оптимальные содержание и соотношение легирующих элементов, параметры технологии и техники наплавки, позволяющие стабильно получать наплавленный металл с мартенситной структурой (рис. 2) и незначительной (3,5...5,0 %) объемной долей δ -феррита, имеющий твердость HRC_{α} 40...44, что обеспечивает ему высокую стойкость против износа и разгара.

Применение предложенной технологии обеспечивает самопроизвольное отделение шлаковой кор-

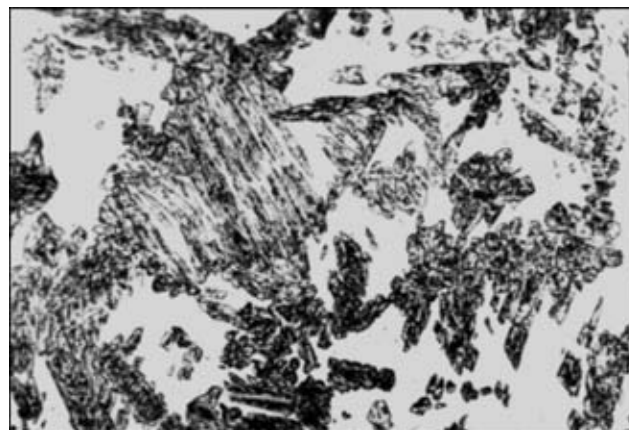


Рис. 1. Микроструктура (X500) металла, наплавленного проволокой Нп-20Х17

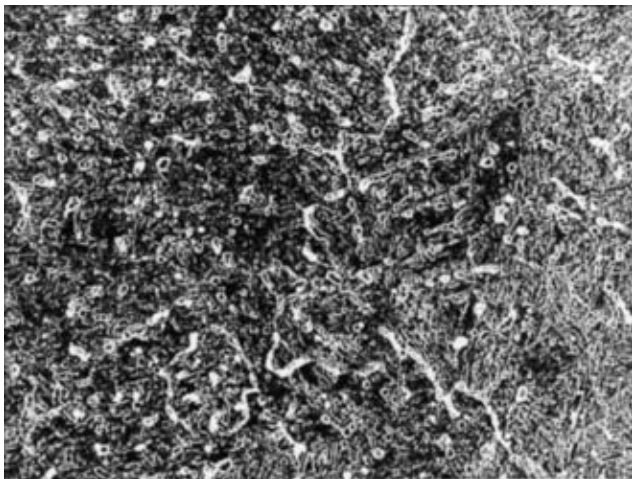


Рис. 2. Микроструктура (X1000) металла, наплавленного порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н470

ки, а также отсутствие пор и трещин в наплавленном металле. Сравнительные испытания порошковых проволок ВЕЛТЕК-Н470 и ВЕЛТЕК-Н470С показали, что они находятся на уровне проволок ведущих зарубежных компаний — ОК15.73 (ESAB), 4142MM-SLC, 414MM-S («Weldclad»). Проволоку ВЕЛТЕК-Н470 успешно применяли на НКМЗ (г. Краматорск) при выполнении экспортных заказов. В течение последних восьми лет на ММК им. Ильича (г. Мариуполь) также использовали проволоку этой марки для восстановления роликов МНЛЗ. Наплавленные ролики имеют ресурс не менее 1,5 млн т слитков. В настоя-

щее время на предприятии ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» выпускают проволоки новой модификации, увеличивающие ресурс роликов до 2,5... 3,0 млн т.

Прокатные валки являются основным технологическим инструментом в прокатном переделе. От надежности, износостойкости рабочей поверхности валков, их межремонтного срока службы зависят в основном производительность прокатных станков, технико-экономические показатели работы прокатных цехов, качество готового проката и затраты на его производство. В процессе эксплуатации рабочая поверхность валка подвергается циклическому, механическому и тепловому воздействию, на их рабочей поверхности имеет место налипание металла, неравномерный износ и образование трещин разгара. Для поддержания необходимого парка валков используют восстановительную наплавку сплошными и порошковыми проволоками. При наплавке валков горячей прокатки традиционно применяют наплавочные материалы Нп-30ХГСА, Нп-35В9ХЗСФ, Нп-25Х5ФМС, Нп-30Х4В2М2ФС в сочетании с флюсами АН-348, АН-60, АН-20, АН-26.

ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» и ЧНПКФ «РЕММАШ» совместно с металлургическими заводами КГМК «Криворожсталь», ДМК им. Дзержинского и МК «Запорожсталь» выполнил комплекс работ, направленных на совершенствование наплавочных материалов, технологии и оборудования для наплавки прокатных валков. Исходя из профиля прокатного передела металлургических комбинатов, участвовавших в работе, основное внимание уде-

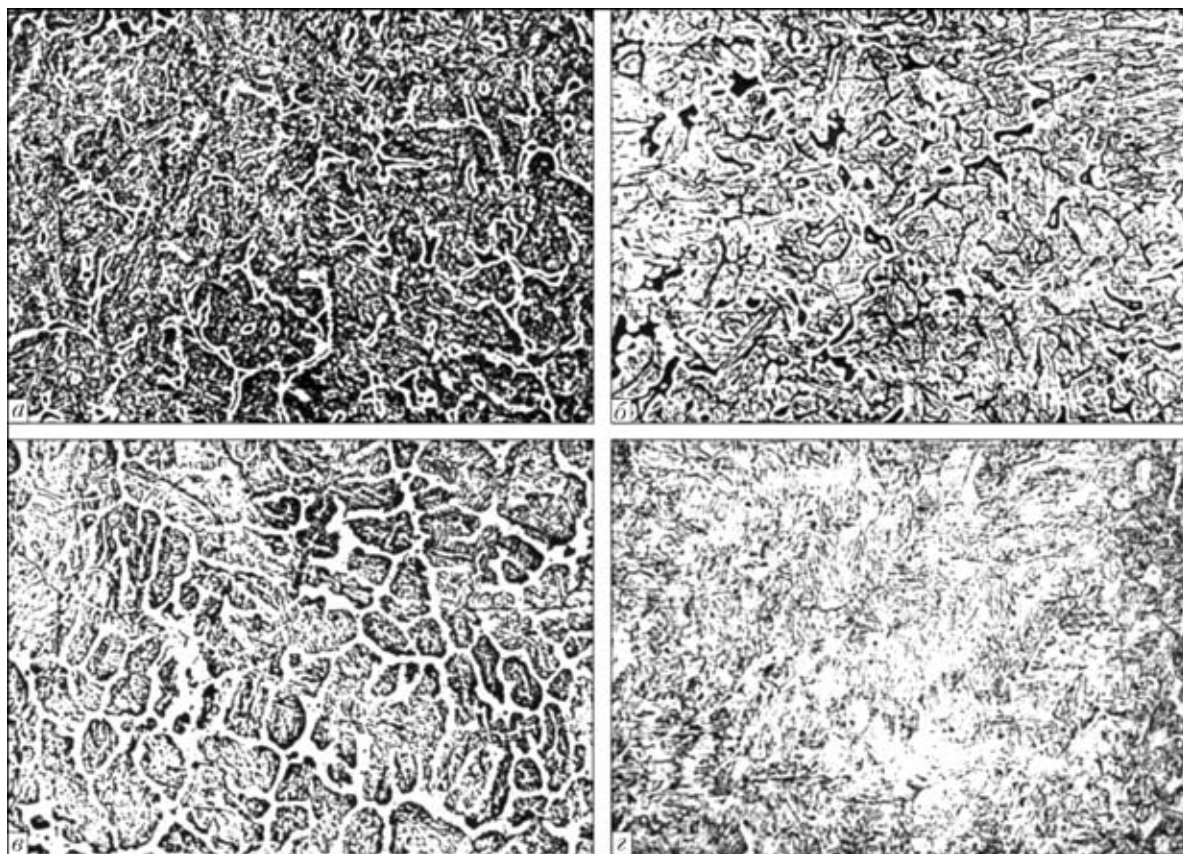


Рис. 3. Микроструктуры (X500) наплавленного металла, полученного с использованием порошковых проволок ВЕЛТЕК-Н505 (а), Нп-35В9ХЗСФ (б), ВЕЛТЕК-Н550 (в) и ВЕЛТЕК-Н500 (г)

лено наплавочным материалам и технологии наплавки валков горячей прокатки заготовительных, сортовых и отчасти листопрокатного станом. Анализ литературных данных, свидетельствующих о работоспособности наплавленных прокатных валков, показал, что возможности систем легирования $C-Si-Mn-Cr-Mo-V$ и $C-Si-Mn-Cr-W-V$ в полной мере не реализованы. На базе стандартных порошковых проволок марок ПП-Нп-35В9Х3СФ и ПП-Нп-25Х5ФМС усовершенствованы системы легирования порошковых проволок новых марок с учетом условий эксплуатации прокатных валков.

Повышение работоспособности валков достигнуто благодаря изменению структуры наплавленного металла. Структура металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ, имеет следующий вид: по границам первичного зерна аустенита расположены незамкнутые участки δ -феррита, в которых присутствуют протяженные эвтектические выделения в виде смеси аустенита и карбидов. В ячейках кристаллизации формируется мартенсит и единичные мелкие карбиды, а на границах ячеек образуется δ -феррит. Размер первичного зерна аустенита составляет 6 баллов. В зонах перекрытия валков наблюдаются изменения структуры и микротвердости от HV 6500 до 4500 МПа (рис. 3). Металл, наплавленный проволокой ВЕЛТЕК-Н500, имеет следующую структуру: границы первичного зерна аустенита четко выражены, в них наблюдаются прерывистые выделения δ -феррита и мелких карбидов. Внутри ячеек кристаллизации формируются дисперсные мартенсит и карбиды. В структуре металла, наплавленного проволокой ВЕЛТЕК-Н505, по границам первичного зерна аустенита имеют размер 17...20 мкм, образуются также очень мелкие выделения δ -феррита и карбиды, подобные эвтектическим. В ячейках кристаллизации формируются мелкоигольчатый мартенсит и дисперсные карбиды. В структуре металла, наплавленного проволокой ВЕЛТЕК-Н550, по границам первичного зерна аустенита имеются выделения δ -феррита и дисперсные карбиды, в ячейках образуются карбиды, подобные эвтектическим, и мелкоигольчатый мартенсит. В местах перекрытия валков изменение структуры не происходит.

В процессе работы валка под воздействием высоких температур наблюдается коагуляция и укрупнение карбидов по границам зерен с последующим их выкрашиванием и развитием трещин разгара. Торможение этих процессов достигнуто изменением структурного состояния границ зерен путем оптимизации соотношения углерода и карбидообразующих элементов. Полученные результаты реализованы в системах легирования новых порошковых проволок. Структура металла, наплавленного порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н500РМ, представляет собой игольчатый троостит с незначительной объемной долей мартенсита, наблюдается формирование по границам зерен отдельных включений δ -феррита. На границах зерен формируются в незначительном количестве включения карбидной эвтектики.

Указанные порошковые проволоки продемонстрировали свою эффективность при наплавке прокатных валков. Усредненные показатели относительной износостойкости определяли по износу и относительной стойкости против образования трещин, а также по количеству, раскрытию и глубине проникновения последних на прокатных валках. Ниже приведены примеры применения новых порошковых проволок.

Наплавка валков эджерной клетки на ОАО «Запорожсталь». С помощью вертикальных валков эджерной клетки на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки ОАО «Запорожсталь» (стан 1680) осуществляют боковое обжатие и выравнивание боковых кромок прокатываемого листа. В процессе эксплуатации цилиндрическая поверхность валков в месте контакта с торцом горячего листа подвергается интенсивному абразивному износу и значительному удельному давлению сжимающих усилий. В результате на поверхности валков у реборды образуется кольцевая выработка шириной до 100 мм, глубиной до 5 мм по образующей. Это вызывает необходимость замены валков, поскольку дальнейшая эксплуатация может привести к неравномерности обжатия и скорости прокатки, что отрицательно влияет на качество прокатываемого металла. Изучение характера и динамики износа показали, что он происходит в результате окисления и отрывания частичек окисленного металла с поверхности валков торцами горячего листа, который имеет температуру поверхности 1100...900 °С и частично покрыт тонким слоем окалины. При этом поверхность валков в месте контакта с прокатываемым листом разогревается до 400...500 °С. Срок службы валков, упрочненных наплавкой порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3СФ или ПП-Нп-25Х5ФМС, составляет не более 3-4 мес, что не отвечает требованиям производства. Применение наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н500РМ позволило повысить износостойкость и срок службы валков в 3 раза.

Наплавка валков станом горячей прокатки. На Днепровском металлургическом комбинате один комплект прокатных валков восстанавливается от 5 до 10 раз. Продолжительное время восстановления прокатных валков станом 900 и 500 железопрокатного цеха осуществляли с применением наплавки сплошной проволокой Нп-30ХГСА в сочетании с проточкой или переточкой калибров до меньшего диаметра. Использование этой технологии не обеспечивало требуемую «горячую твердость» и износостойкость наплавленного рабочего слоя калибров. Как показал технико-экономический анализ, применение стандартных наплавочных материалов ПП-Нп-35В9Х3СФ, ПП-Нп-25Х5ФМС, ПП-Нп-30Х4В2М2ФС в данном производстве оказалось нецелесообразным ввиду трудоемкости восстановления валков и существенных капитальных затрат. Для упрочняющего восстановления валков клетки стана 500 железопрокатного цеха применяли порошковую проволоку ВЕЛТЕК-Н500РМ. Испытания восстановленных прокатных валков стана 500 железопрокатного



цеха показали, что их ресурс после упрочнения возрос более чем в 2 раза.

Для упрочняющей наплавки вертикальных стенок калибров прокатных валков клетки 900 применили проволоку марки ВЕЛТЕК-Н370РМ. Технология наплавки этих валков аналогична используемой для наплавки валков клетки 500 железорukatного цеха (за исключением отсутствия предварительного подогрева). Достигнуто увеличение прокатываемого металла на одной паре валков от ремонта до ремонта с 18...20 до 45...50 тыс. т.

Валки горячей прокатки стана НЗС-730 цеха «Блюминг-1» КГМК «Криворожсталь» из стали 50 традиционно ремонтировали с использованием стандартной порошковой проволоки марки ПП-Нп-35В9ХЗСФ. При эксплуатации восстановленных валков выявили ряд недостатков. Так, в процессе прокатки на поверхности валка наблюдается образование «шипов» высотой до 2 мм вследствие налипания прокатываемого металла. Наличие «шипов» приводит к необходимости остановки процесса прокатки и применения трудоемкой зачистки калибров, в противном случае валки с «шипами» наносят дефектный рисунок на поверхность прокатываемого металла. После прокатки 50...60 тыс. т металла на поверхности калибров образовалась выработка глубиной 2...3 мм, что вызывало необходимость замены валков. Глубина проникновения отдельных трещин после прокатки 50...60 тыс. т прокатанного металла достигала 30...40 мм. Это приводило к увеличению затрат на ремонт, а зачастую к необходимости преждевременной выбраковки валков. Для устранения рассмотренных недостатков применена технология наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н505РМ. Эта технология аналогична применяемой для наплавки проволокой ПП-Нп35В9ХЗСФ. Благодаря указанной технологии снижено образование «шипов» и трещин в 2...3 раза. Это позволило выполнить ремонт 80...90 % валков по укороченной технологии и существенно уменьшило все виды затрат и на 20 % увеличило межремонтные сроки работы станов.

Детали металлургического оборудования. Самозащитная порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н250РМ диаметром 1,6...3,0 мм успешно применяется при восстановлении подушек прокатных клетей и ножиц, шпинделей и муфт приводов прокатных валков, звездочек, втулок, валов, ступиц и др. По своим характеристикам эта проволока не уступает известной порошковой проволоке DÜR 250-FD («Böhler»).

Реализована наплавка кернов клещевых кранов и губок стрипперного крана, которые в процессе эксплуатации испытывают ударные и сжимающие нагрузки в условиях высоких температур. Керны контактируют с металлом, разогретым до 800...1250 °С, и работают в условиях термоциклирования из-за периодического охлаждения кернов в баках с водой. Для этой цели применена самозащитная порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н480С диаметром 2 мм с системой легирования С-Сr-W-Mo-V-Ti, которая обеспечивает после наплавки HRC_3 50...54, горячую твердость HRC_3 40...44 при

600 °С и высокую стойкость против образования трещин (100 термоциклов — до появления первой трещины). Применение механизированной наплавки проволокой ВЕЛТЕК-Н480С взамен электродов Т-590 и Т-620 позволило повысить срок службы кернов в 4...5 раз и снизить затраты на ремонт. Задача восстановления кернов решена в комплексе оборудование-материал-технология.

При наплавке деталей, подвергающихся ударно-абразивному износу, порошковой проволокой ПП-АН170 наблюдается повышенная склонность к трещинообразованию с отколами, а толщина наплавки составляет один-два слоя, что в ряде случаев ограничивает использование указанной проволоки. Для решения данной задачи применили самозащитные порошковые проволоки ВЕЛТЕК-Н600 (С-Сr-Mo-V-Nb-Ti-B), ВЕЛТЕК-Н620 (С-Сr-Mo-V-Ti-B), обеспечивающие твердость наплавленного металла HRC_3 55...63. По сравнению с ПП-АН170 износостойкость наплавленного металла повышается на 30...50 %, существует возможность выполнения четырех-пяти слоев. Указанные проволоки выпускаются диаметром от 2 до 5 мм. С применением механизированной и автоматизированной наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н600 диаметром 3 мм восстановлена поверхность большого конуса доменной печи, в результате достигнуто значительное повышение износостойкости наплавленного металла (по сравнению с электродами Т590) и в 2 раза сокращено время ремонта. При автоматической наплавке малого конуса порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н620 диаметром 4 мм получена более высокая износостойкость наплавленного металла по сравнению с наплавкой лентой ПЛ-АН-101. Эти проволоки успешно применялись при упрочняющей наплавке зубьев ковшей экскаваторов, ножей бульдозеров, челюстей грейфера.

Наплавку колосников и звездочек одновалковой дробилки агломерата выполняли самозащитными порошковыми проволоками. В один комплект дробилки входит 16 колосников массой 270 кг каждый и 15 звездочек массой 85 кг каждая, изготовленных из стали марок 35Л или 45Л. Колосники до внедрения новой технологии не упрочняли, а заменяли на новые. Порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н600 с системой легирования С-Сr-Mo-W-V-Ti обеспечивает получение многослойной наплавки колосников со стойкостью против ударно-абразивному нагружению при повышенных температурах. Многослойную наплавку выполняли проволокой диаметром 2,6 мм на постоянном токе обратной полярности на следующем режиме: $I_d = 280...300$ А, $U_d = 26...28$ В. Твердость наплавленного металла составляла HRC_3 59...62. По сравнению с металлом, наплавленным порошковой проволокой ПП-АН-170, значительно уменьшилась склонность к растрескиванию и сколам. С учетом неравномерности износа наплавку по количеству слоев и толщине осуществляли в соответствии со степенью износа каждого колосника и звездочки общим слоем толщиной от 3 до 12 мм.

Периодический осмотр экспериментального комплекта показал следующую динамику износа

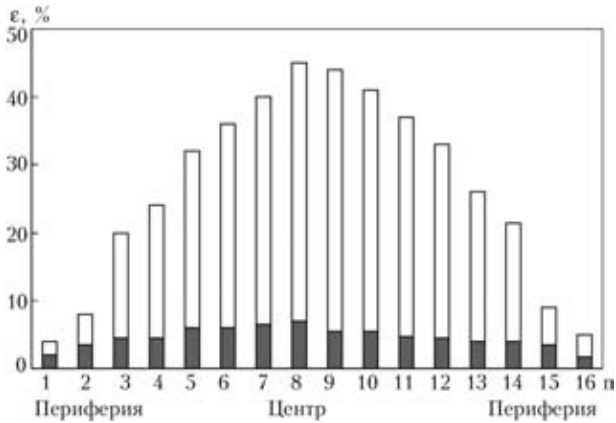


Рис. 4. Износ ϵ упрочненных и неупрочненных (заштрихованная область) колосников дробилки агломерата после 2 мес эксплуатации дробилки: n — порядок установки колосников в дробилки агломерата

колосников и звездочек в различных зонах дробилки (рис. 4): через 2 мес от 3 % на периферии до 6 % в центре; через 4 мес — от 5 % на периферии до 12 % в центре; через 6 мес — от 8 % на периферии до 25 % в центре. При этом в 3 раза увеличился межремонтный период дробилки, повысилось качество агломерата, снизились затраты на ремонт.

Крановые колеса. Износ крановых колес из сталей марок 45Л, 40Л, 60Л, 55Л происходит от трения металла о металл при больших знакопеременных динамических нагрузках как по поверхности катания, так и по реборде. При этом износ по поверхности катания колеса составлял в среднем 6...10 мм на диаметр, а реборды соответственно 15...25 мм на сторону, что приводит к необходимости его замены через 1...3 мес.

Для наплавки крановых колес использовали порошковые проволоки марок ВЕЛТЕК-Н300, ВЕЛТЕК-Н350 диаметром 1,6...4,0 мм в сочетании с флюсами АН-348, АН-60 и в среде углекислого газа. В последние годы успешно применяется проволока ВЕЛТЕК-Н300РМ взамен сплошной проволоки Нп-30ХГСА. Для наплавки колес тяжело нагруженных кранов разработан вариант технологии, при котором наиболее интенсивно изнашиваемые реборды наплавляли под флюсом АН-348 порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н285РМ диаметром 3 мм. Хромомарганцовистый наплавленный металл со структурой метастабильного аустенита обеспечивает высокую износостойкость вследствие развития самоупрочнения под воздействием наклепа, что проявляется в повышенной твердости от HRC_3 28...32 до 42...45. Менее изнашиваемые поверхности катания наплавляли под флюсом АН-348 порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н300РМ, твердость наплавленного металла составляла HRC_3 300...350 (рис. 5).

Такая технология позволила повысить срок службы крановых колес в 2 раза при увеличении затрат на материалы лишь на 70 %, а трудоемкости механической обработки на 35 %.

Детали машин горнодобывающего и дробильно-размольного оборудования. В настоящее время ЗАО «Криворожский завод горного оборудования» является передовым машиностроительным

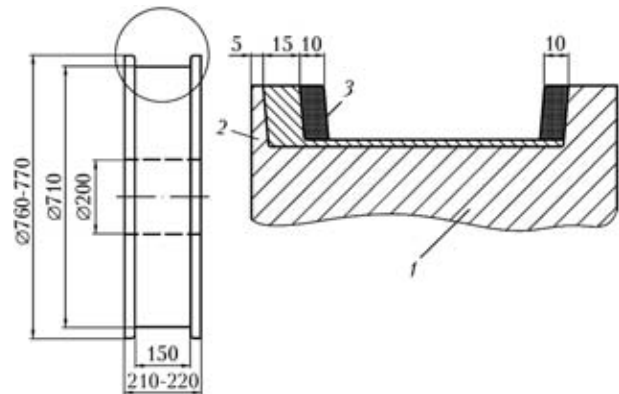


Рис. 5. Схема наплавки крановых колес: 1 — основной металл; 2, 3 — наплавленный металл, полученный с использованием проволок соответственно ВЕЛТЕК-Н300РМ и ВЕЛТЕК-Н280РМ

предприятием в Украине по производству и ремонту горного оборудования. На этом предприятии большой объем сварочных и восстановительных работ выполняется с применением дуговой сварки и наплавки. Номенклатура сварочных и наплавочных материалов широкая, что связано с необходимостью сварки низкоуглеродистых низколегированных, низколегированных высокопрочных, высокомарганцовистых и теплостойких сталей, выполнением сварных соединений разнородных сталей, сваркой литых сталей и исправлением дефектов литья. В большинстве случаев это крупногабаритные изделия, поэтому предъявляются особые требования к сварочным материалам, технологии и техники сварки и наплавки. В связи с этим актуальна задача повышения качества выполняемых работ, снижения материальных, энергетических и трудовых затрат. Этим требованиям в полной мере отвечают порошковые проволоки. В течение последних пяти лет «Криворожский завод горного оборудования» совместно с ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» проводит работы по увеличению объемов дуговой сварки и наплавки порошковой проволокой. В результате разработана и внедрена гамма порошковых проволок различного назначения. В общем объеме применяемых материалов для сварки и наплавки доля порошковых проволок возросла с 15 до 85 %. Увеличилась по сравнению с покрытыми электродами эффективность сварки и наплавки за счет повышения производительности и качества труда, снизился объем работ по повторному контролю качества. В значительной степени уменьшилось традиционное недоверие к порошковым проволокам в плане их использования для получения качественных сварных соединений и упрочняющих покрытий. Приведем некоторые примеры применения порошковых проволок на предприятии ООО «ТМ. ВЕЛТЕК».

Выполнена сварка чаши конусной дробилки ККД-1500. Чашу массой 50 т из стали 35Л собирали из двух частей — верхней и нижней, которые сварили между собой. Горизонтальный монтажный стык диаметром 2980 мм выполнен с двухсторонней чашеобразной разделкой кромок при



Рис. 6. Сварка чаши мельницы

толщине металла 180 мм. Сварку осуществляли порошковой проволокой марки ППС-ТМВ29 диаметром 1,6 мм на постоянном токе (обратная полярность) в углекислом газе (рис. 6).

Сварку деталей и узлов агломерационного и обогатительного оборудования, горнодобывающей техники (в том числе узлов экскаваторов из сталей СтЗпс, 09Г2С), а также заварка деталей литья из сталей 20Л, 35Л на указанном предприятии выполняют газозащитными порошковыми проволоками марок ППС-ТМВ5, ПП-АН8, ППС-ТМВ8, ППС-ТМВ29, а узел из низколегированных высокопрочных сталей 12Х2НМСА, 12Х2НВСА — проволокой ПП-АН-57. Для заварки дефектов литья сталей 20Л, 35Л наиболее эффективно применение металлопорошковой проволоки марки ППС-ТМВ5. Благодаря малому содержанию шлака (4...5 %) не требуется затрат на его удаление в процессе заварки глубоких разделок. Высокий коэффициент использования проволоки $K = 1,08$ и стойкость против образования пор и трещин определяют преимущество данной проволоки перед другими сварочными материалами.

Для сварки деталей и заварка дефектов литья из теплостойких хромомолибденовых сталей 15ХМ, 12ХМ, 20ХМЛ, 35ХМЛ применяется газозащитная порошковая проволока с сердечником карбонатно-флюоритного типа марки ППС-ТМВ14 диаметром 1,6...2,0 мм.

Заварку дефектов литья высокомарганцовистых сталей 110Г13Л выполняют самозащитной порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н220 диаметром 2 мм.

Наплавку упрочняющих слоев на засовах днищ, режущих кромок и корпусов ковшей экскаваторов, ковшей-черпалок, краев входных устройств шаровых мельниц, корпусов пульпонасосов, насосов земснарядов, ножей грейдеров и бульдозеров выполняют самозащитными порошковыми проволоками марок ВЕЛТЕК-Н580, ВЕЛТЕК-Н600, ВЕЛТЕК-Н605, ВЕЛТЕК-Н620 диаметром 2...3 мм (взамен электродов Т-590, Т-620) и порошковых проволок ПП-АН-125, ПП-АН-170, Linocore 60-О,

Linocore 60-S, Linocore 65-О, DÜR 600-FD, DÜR 650, DÜR 650MP, ОК Tubrodur 14.70, ОК Tubrodur 15.52.

Для восстановительной наплавки плунжеров гидропрессов, защитных втулок грунтовых насосов по перекачке пульпы применяют порошковую проволоку ВЕЛТЕК-Н410 диаметром 2,4...3,6 мм в сочетании с флюсами АН-20 и АН-26, а для наплавки открытой дугой — проволоку ВЕЛТЕК-Н420 диаметром 1,4...3,0. Для наплавки элементов шахтной гидравлики используют порошковую проволоку ВЕЛТЕК-Н425 диаметром 2 мм в сочетании с флюсами АН-20 и АН-26. При этом процесс наплавки характеризуется высокой стабильностью, хорошим формированием металла, самопроизвольным отделением шлаковой корки, а наплавленный металл отличается высокой коррозионной стойкостью при эксплуатации в забоях.

The paper gives information on flux-cored wires produced by OJSC «TM.WELTEK» and experience of their application in reconditioning of the parts and mechanisms for metallurgical and mining industries.

Поступила в редакцию 10.10.2005

НОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. В. ГЕЖА, Р. В. БИШОКОВ, С. И. ШЕКИН, П. В. МЕЛЬНИКОВ, инженеры
(ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г. С.-Петербург, РФ)

Приведены характеристики новых электродов, керамического флюса и порошковой проволоки для сварки хладостойких сталей различного уровня прочности.

Ключевые слова: дуговая сварка, покрытые электроды, агломерированные флюсы, порошковые проволоки, сварочно-технологические свойства, раскислители

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» разработана серия сварочных материалов для сварки конструкций из хладостойких сталей различных уровней прочности, хорошо зарекомендовавших себя на отечественных и зарубежных предприятиях при строительстве ответственных конструкций. Однако изменения сырьевой базы, требований к сварочным материалам и номенклатуры изготавливаемых конструкций требуют постоянного совершенствования сварочных материалов.

В связи с отсутствием в России предприятий, выпускающих качественный ферротитан, а также постоянным повышением его стоимости, актуальным стал вопрос разработки и внедрения сварочных материалов, не содержащих в своем составе ферротитана. Требованием к разрабатываемым сварочным материалам являлось получение их сварочно-технологических и служебных характеристик швов на уровне не хуже, чем у существующих материалов аналогичного содержания, содержащих ферротитан.

При разработке электродов исследовали шлаковые системы: $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ и $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$, а также три системы раскисления металла шва: $\text{Si}-\text{Mn}$, $\text{Si}-\text{Mn}-\text{Al}$ и $\text{Si}-\text{Mn}-\text{Mg}$.

Разработаны сварочные электроды, обеспечивающие комплекс высоких сварочно-технологических и служебных характеристик. Механические характеристики и химический состав металла шва, полученные при испытании лучших вариантов электродов, представлены в табл. 1. Самые высокие служебные и сварочно-технологические характеристики имеют электроды со шлаковой системой $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ и системой раскисления металла шва $\text{Si}-\text{Mn}$. Данные электроды в настоящее время внедряются в производство.

С началом производства толстостенных труб большого диаметра для нужд газовой и нефтяной отраслей, а также в связи с переводом трубного производства с плавных на агломерированные флюсы стал актуальным вопрос разработки и внедрения последних для многодуговой скоростной сварки. При их разработке за основу был взят ранее разработанный ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» агломерированный флюс марки 48АФ-51. Так как многодуговая скоростная сварка имеет ряд отличий от автоматической сварки одной дугой, для повышения технологичности процесса многодуговой сварки проводили корректировку состава флюса в сторону уменьшения его основности. Системы раскисления и легирования были скорректированы с целью обеспечения нужной хладостойкости металла шва. Разработанный ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» флюс марки 48АФ-

Таблица 1. Механические характеристики и химический состав металла шва, выполненного опытными электродами

Шлаковая система и система раскисления металла шва	Марка проволоки	Средние значения механических характеристик металла шва						Химический состав металла шва, мас. %					
		$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,4}$, МПа	δ , %	ψ , %	KV, Дж/м ² , при температуре °С		C	Si	Mn	Ni	S	P
						-40	-60						
$\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$, $\text{Si}-\text{Mn}$	Св-08А	524	427	31	74	95	80	0,05	0,25	0,88	—	0,019	0,029
$\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$, $\text{Si}-\text{Mn}$	Св-10ГА	545	460	30	75	110	70	0,06	0,17	0,82	0,98	0,005	0,01
$\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$, $\text{Si}-\text{Mn}-\text{Al}$	Св-10ГНА	575	500	23	71	60	40	0,05	0,33	1,17	1,1	0,003	0,014
$\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$, $\text{Si}-\text{Mn}-\text{Mg}$	Св-10ГНА	565	480	23	72	90	65	0,05	0,16	0,79	1,1	0,003	0,015



Таблица 2. Механические характеристики сварных соединений стали Х65, выполненных многодуговой автоматической сваркой под флюсом

№ образца	Сварочные материалы	Средние значения механических свойств металла шва				Относительная влажность флюса, %		Ударная вязкость металла по центру шва на образцах Шарпи KV, Дж/м ² , при разной температуре, °С			
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	после прокатки	по истечении 72 ч после прокатки	-30	-40	-50	-60
1	Св-10ГНА Ø 4 + 48АФ-55	664	585	25,3	0,88	0,002	0,024	166	136	—	120
2	Св-10ГНА Ø 4 + 48АФ-55	644	561	29,0	0,87			160	153	149	131
3	Св-10ГНМ Ø 4 + 48АФ-55	691	608	22,5	0,88			99	92	85	58
4	Св-10ГНМ Ø 4 + ОК Flux 10.74	725	649	22,0	0,90	0,003	0,040	115	95	—	49
Требования к металлу шва			> 450		< 0,9						> 45

55, испытанный в производственных условиях на стане Выксунского металлургического завода, показал высокий уровень сварочно-технологических и служебных характеристик металла шва. Механические характеристики металла шва, выполненного флюсом марки 48АФ-55, приведены в табл. 2. Отличительной чертой разработанного флюса является его низкая гигроскопичность по сравнению с зарубежными аналогами, что намного упрощает технологический процесс его использования. В настоящее время флюс находится на стадии внедрения на Выксунском трубном заводе.

Наряду с этим ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» разработал порошковую проволоку, предназначенную для выполнения корневых (сборочных) швов,

а также для сварки на монтаже (химический состав металла шва, мас. %: 0,05 углерода; 0,26 кремния; 1,1 марганца; 1,25 никеля; 0,02 серы; 0,007 фосфора). Проволоке присвоена марка 48ПП-10Т. Изготовление и испытания проволоки производили на Череповецком сталепрокатном заводе. Она отличается высокими сварочно-технологическими свойствами при сварке во всех пространственных положениях. Механические характеристики металла шва, выполненного этой проволокой при 20 °С, следующие: $\sigma_B = 585$ МПа; $\sigma_T = 498$ МПа; $\delta = 27$ %; $\psi = 70$ %; $KV = 90$ Дж/м² (при -40 °С) и 64 Дж/м² (при -60 °С).

The paper gives the characteristics of new electrodes, ceramic flux and flux-cored wire for welding cold-resistant steels of different strength levels.

Поступила в редакцию 12.10.2005

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

В настоящее время на основании исследований и опыта изготовления сварных конструкций мостов, их монтажа и эксплуатации в строительные нормы и правила введен прокат из сталей марок 15Г2АФДпс, 09Г2СД и 09Г2Д, который производится металлургической промышленностью Украины в необходимых объемах.

Из перспективных марок стали следует рассмотреть возможность применения в мостостроении экономнолегированного проката стали марок 09ХСНФД и 12ХСНФД (ТУ 14-1-5311-95), 06ГБ и 06Г2Б (ТУ У 14-16-150-99) с временным сопротивлением разрыву до 700 МПа, производство которого предусмотрено техническими условиями на прокат для мостостроения. Разработчиками являются АНПА, ОАО «Азовсталь», УкрНИИКМ «Прометей» и ИЭС им. Е. О. Патона.

Назначение и области применения. Рассматриваемые стали предназначены для пролетных строений мостов, они могут быть использованы и для других объектов строительства и промышленности (телевизионные башни, подкрановые балки под тяжелые краны, мостовые и козловые краны, краны-перегрузатели, тяжелые и шагающие экскаваторы, подвижные составы и т.п.).

Состояние и уровень разработки. Прокат стали марок 15Г2АФДпс, 09Г2Д, 09Г2СД предусмотрен строительными нормами и правилами, его, а также стали марок 09ХСНФД, 12ХСНФД, 06ГБ и 06Г2Б необходимо включить в стандарт на прокат для мостостроения.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 48

Тел./факс: (38044) 287 62 13, 529 06 07

E-mail: paton48@paton.kiev.ua



У ДК 621.791.75(204.1)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЛСП «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

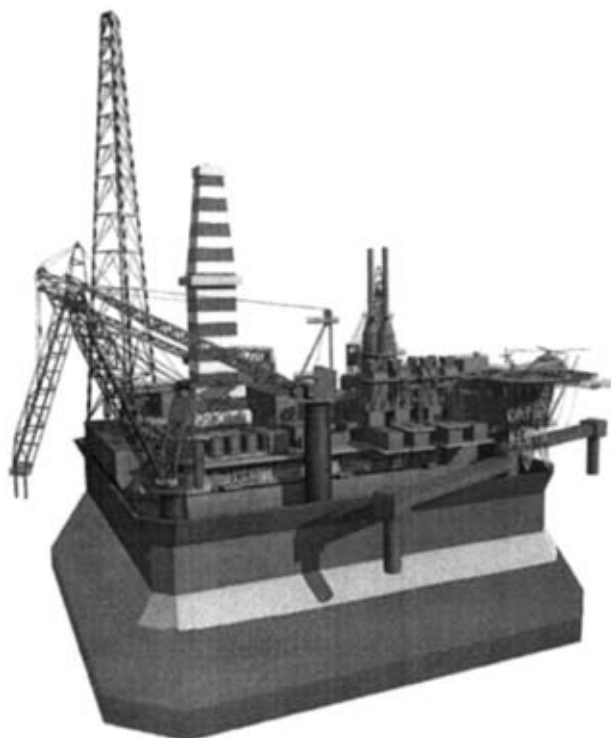
В. Я. КОНОНЕНКО, канд. техн. наук (ДП «Экотехнология», г. Киев)

Описаны особенности применения механизированной подводной сварки устройства герметизации стыка порошковой проволокой ППС-ЭК1 морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная».

Ключевые слова: механизированная подводная сварка, порошковая проволока, морская платформа

7 сентября 2005 г. завершены сварочные работы под водой, которые выполнены водолазами фирмы ООО СВП «ИнтерАква», зарегистрированной в России, и проводились с ноября 2004 г. на Северодвинском ФГУП «ПО Севмашпредприятие». Они позволили соединить последнее (третье) устройство герметизации стыка (УГС) нижней части морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная». Масса металлоконструкции составляет примерно 70 тыс. т, габариты 126×126×24,5 м (рисунок). По масштабам и сложности подобные сварочные работы под водой на территории стран СНГ ранее не проводились. В мировой практике соединение таких металлоконструкций производится с применением специальных большегрузных понтонов, заказ которых проводится за 3–4 года до момента выполнения работ. При меньших объемах работ возможно применение гибких кессонов.

Работа выполнялась под надзором Морского Регистра России. За 55 рабочих дней, включая подготовительно-заключительное время, на глубине до 8 м в потолочном и вертикальном положении было сварено 1800 м однопроходных швов. Подготовительно-заключительные работы включают монтаж струбцин, обжатие стыка, зачистку поверхностей перед сваркой, выполнение прихваточных швов, демонтаж струбцин, зачистку прихваточных швов перед сваркой, зачистку каждого слоя и послойный визуальный контроль на предмет наличия недопустимых видимых дефектов с применением подводной телевизионной установки. Соединительный шов УГС формировался за три прохода. Средняя скорость сварки в потолочном положении однопроходного шва составляла 6,0...6,5 м/ч. Для выполнения сварочных работ применялась технология механизированной подводной сварки с защитными порошковыми проволоками. Использовался полуавтомат для подводной сварки ПСП-3, выпущенный в России, а также



Морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная»

порошковая проволока 003-97 марки ППС-ЭК1 (ТУ-14288312103-97) диаметром 1,6 мм, разработанная и поставленная фирмой «Экотехнология» (Украина). После осушения трех УГС поступление воды через швы, выполненные под водой, не обнаружено. После этого приступили к сварке секций суперблоков с использованием стандартных технологий, принятых на предприятии. Толщина соединяемого металла на днище и бортах до 36 мм.

Следующий этап выполнения работ — порезка УГС на сегменты с помощью технологий подводной кислородно-дуговой и экзотермической резки и удаление сегментов из под днища кессона, окончание которых намечено на декабрь 2005 г.

Specifics of application of mechanized welding of sea ice-resistant stationary platform using the flux-cored wire PPS-EK1 is described.

Поступила в редакцию 03.11.2005



ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ МАТЕРИАЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН

Е. Н. ЕРЕМИН, д-р техн. наук (Омский гос. техн. ун-т, РФ)

Предложено соединения малой протяженности и небольшой толщины выполнять электрошлаковой сваркой с использованием комбинации плавящегося и неплавящегося электрода. Описаны технологические особенности указанного способа сварки. Приведены результаты исследований металла шва, полученного при сварке сплава ХН38ВТ. Показаны преимущества новой технологии сварки.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, комбинированный электрод, жаропрочный сплав, механические свойства

В ряде отраслей общего и специального машиностроения широкое применение находят кольцевые заготовки из жаропрочных сплавов толщиной $\delta = 10 \dots 30$ мм. Для изготовления таких изделий рекомендуется применять однопроходную электрошлаковую сварку (ЭШС). Обычно электрошлаковая сварка швов малой протяженности при сравнительно небольшой толщине свариваемых изделий осуществляется с использованием проволочного электрода. При этом в сварных соединениях часто имеют место непровары и подрезы свариваемых кромок.

С целью устранения отмеченных недостатков использовали ЭШС «расщепленным» комбинированным электродом (рис. 1), которая осуществляется путем одновременного ввода в шлаковую ванну неплавящегося и плавящегося электродов. В колодец, образованный свариваемыми кромками 15 и формирующими шов накладками 12 медного водоохлаждаемого приспособления, вводится мундштук специальной конструкции, являющийся одновременно электрододержателем 4 с неплавя-

щимся электродом 3 и направляющим каналом 2 для электродной проволоки 1.

Поскольку при работе с неохлаждаемым мундштуком устойчивость шлакового процесса нарушается вследствие возрастания контактного сопротивления поверхности скольжения проволоки в направляющем канале, в устройстве использовали водоохлаждаемый электрододержатель. Благодаря охлаждению через токоподвод можно пропускать ток до 1500 А и увеличить «сухой» вылет электрода до 20...30 м. С целью предотвращения короткого замыкания при малых зазорах мундштук изолируют слоем оксида алюминия, напыленным на его поверхность. Для наведения шлаковой ванны неплавящийся электрод закорачивается с дном приспособления через подложку-затравку 16 из свариваемого металла $\delta = 1,5 \dots 2,0$ мм, после чего засыпается флюс. Шлаковая ванна 13 наводится путем расплавления флюса теплом, выделенным при прохождении электрического тока по цепи неплавящийся электрод–дно приспособления. После оплавления свариваемых кромок включается подача проволочного электрода. С этого момента сварочный ток проходит как по неплавящемуся, так и по плавящемуся электродам через общий токоподвод. Тепло, выделяемое в шлаковой ванне, расплавляет свариваемые кромки и присадочный материал, и создается металлическая ванна 14. В конце сварки прекращается подача электродной проволоки, а благодаря подогреву металлической ванны неплавящимся электродом с постепенным его выводом из шлаковой ванны устраняется возможность появления усадочной раковины.

Однако стабильность такого процесса сварки невысокая. Причиной тому является нарушение процесса саморегулирования вследствие введения в шлаковую ванну неплавящегося электрода, что приводит к значительным колебаниям сварочного тока и, как следствие, к зашлакованности. Это подтверждается экспериментальными зависимостями тока от межэлектродного расстояния $l_{м.э.}$, полученными при сварке вольфрамовым неплавящимся электродом диаметром $d_{н.э.} = 8$ мм с применением электродной проволоки ЭП-533 диаметром 3 мм и флюса АНФ-21 (рис. 2).

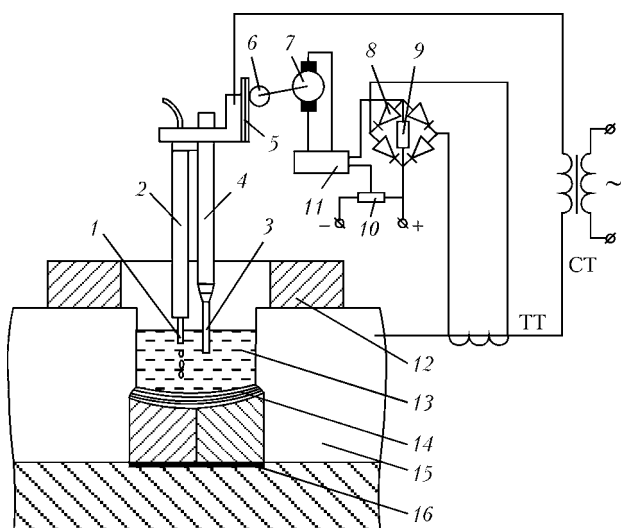


Рис. 1. Схема сварки комбинированным электродом (см. объяснения в тексте)

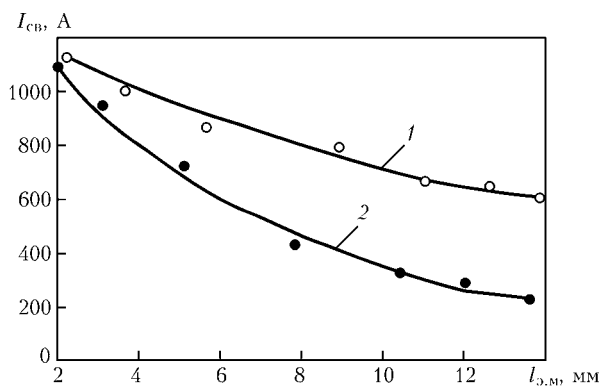


Рис. 2. Зависимость сварочного тока $I_{св}$ от межэлектродного расстояния $l_{m,z}$ при сварке неплавящимся электродом с проволокой (1) при скорости подачи $v_{п.п} = 190$ м/ч и неплавящимся электродом (2)

Как видно из рисунка, в диапазоне максимальных рабочих токов (800... 1100 А) доминирующее значение имеет ток неплавящегося электрода. Поэтому для получения качественных швов необходима его стабилизация. Разработан автомат для стабилизации тока в процессе сварки за счет изменения расстояния между металлической ванной и неплавящимся электродом путем перемещения его в шлаковой ванне (см. рис. 1). При включении сварочного трансформатора (СТ) ТШС-3000 ток протекает по цепи СТ–электроды 1 (плавящийся) и 3 (неплавящийся)–шлаковая ванна 13–металлическая ванна 14–свариваемое изделие 15–второй полюс СТ. В то же время в обмотке трансформатора тока (ТТ) наводится переменное напряжение, пропорциональное сварочному току. Это напряжение выпрямляется с помощью моста 8 и передается на сопротивление 9. Требуемое значение тока сварки задается потенциометром 10 в виде напряжения постоянного тока. Задающее напряжение и напряжение, пропорциональное действительному току в сварочной цепи, выравниваются на входе усилителя 11 и создают входной сигнал. На выходе усилителя появляется усиленное напряжение соответствующего значения и полярности, которое приводит во вращение исполнительный двигатель 7, благодаря чему движутся зубчатое колесо 6 и рейка 5, на которой жестко закреплен неплавящийся электрод. В случае снижения значения тока в сварочной цепи по сравнению с требуемым (заданным) двигатель будет перемещать рейку вниз, уменьшая расстояние между неплавящимся электродом и металлической ванной. Это приведет к повышению сварочного тока, поскольку происходит увеличение проводимости участка неплавящийся электрод–металлическая ванна. С повышением тока в сварочной цепи сверх требуемого значения двигатель вращается в обратную сторону. В результате рейка, а следовательно, и неплавящийся электрод поднимаются вверх, что приводит к снижению тока. Таким образом, требуемое значение тока сварки поддерживается автоматически с определенной точностью. Испытания разработанного устройства показали, что минималь-

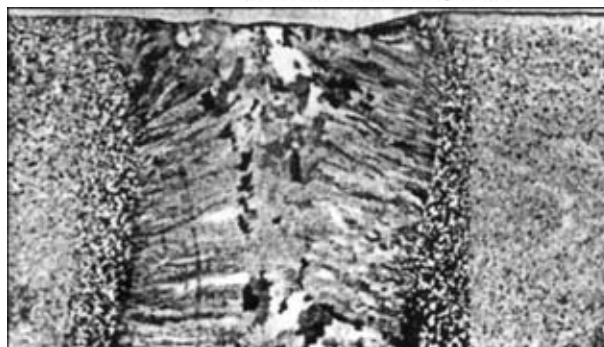


Рис. 3. Макроструктура шва, полученного при сварке сплава ЭИ-703 комбинированным электродом (×2,5)

ная амплитуда сварочного тока $I_{св} = \pm 10$ А, а максимальная его частота $f = 2$ Гц.

Отработку технологии ЭШС комбинированным электродом проводили на образцах из сплава ЭИ-703 (ХН38ВТ) толщиной $\delta = 10... 30$ мм с использованием указанных сварочных материалов.

В результате проведенных экспериментов установлены оптимальные режимы ЭШС комбинированным электродом (табл. 1). На таких режимах швы формируются без несплавлений, подрезов и зашлаковок (рис. 3).

Результаты механических испытаний показали, что свойства металла шва, полученного при использовании комбинированного электрода, выше, чем в случае проволочного электрода (табл. 2).

Оценка химического состава металла шва по основным легирующим элементам, проведенная на оптическом анализаторе ARG-MET-930SP, показала, что потери титана при сварке комбинированным электродом составляют 12... 15 %, в то время как при сварке проволокой они достигают 20... 26 %. Это можно объяснить меньшим разогревом плавящегося электрода на вылете при его подаче в шлаковую ванну одновременно с неплавящимся электродом при питании их через один токоподвод. Кроме того, концентрация вольфрама в первом случае даже возросла, в то время как во втором потеря его достигает 5... 7 %. По-видимому, это происходит вследствие электролитического легирования металла шва из-за частичного растворе-

Таблица 1. Оптимальные параметры режимов ЭШС комбинированным электродом сплава ЭИ-703

δ , мм	$d_{н.э}$	$I_{св}$, А	U_d , В	$v_{св}$, м/ч	$v_{п.п}$, м/ч
16	8	800...1000	18...19	5,4...6,0	160...180
18	8	900...1100	19...20	4,9...5,6	180...200
20	10	1000...1200	20...21	4,5...5,5	190...220

Таблица 2. Механические свойства металла шва, полученного при ЭШС сплава ЭИ-703

Тип электрода	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCU^{20} , МДж/м ²
Комбинированный	526...561	271...306	29,3...32,5	43,2...48,7	1,35...1,59
	541	285	30,4	45,8	1,47
Проволочный	483...516	242...261	24,1...28,6	31,7...42,6	1,10...1,26
	498	251	26,1	36,9	1,16



ния неплавящегося электрода. Как показали эксперименты, расход вольфрамового электрода при сварке на симметричном переменном токе в зависимости от параметров режима составляет от 0,2 до 0,8 г/мин. Очевидно, что повышенная концентрация основных легирующих элементов при сварке комбинированным электродом обуславливает более высокие механические свойства металла шва, чем в случае проволочного электрода.

Полученные результаты показали целесообразность применения ЭШС комбинированным электродом при производстве изделий небольших толщин из жаропрочных сплавов.

It is suggested that joints of small length and thickness should be made by electroslag welding combined with the use of non-consumable electrode. Technological peculiarities of welding are described. Results of investigation of weld metal in welding of alloy KhN38VT are given. Advantages of the new welding technology are shown.

Поступила в редакцию 25.03.2005

Выводы

1. Применение комбинации плавящегося и неплавящегося электродов при ЭШС жаропрочных сплавов малых толщин позволяет исключить образование несплавлений, подрезов и зашлаковок.

2. Повышение механических свойств металла шва при сварке жаропрочных сплавов комбинированным электродом обусловлено его электрохимическим легированием вследствие частичного растворения неплавящегося электрода.

НОВОСТИ



Сварочная проволока оцинкованная ПСГ-0301 и ПСГ-0302 (аналог Св-08Г2С)

ОАО «Электромашиностроительный завод фирма «СЭЛМА» осуществляет поставку сварочных проволок для механизированной сварки конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей в среде защитных газов (CO₂, Ar + CO₂, Ar + CO₂ + O₂).

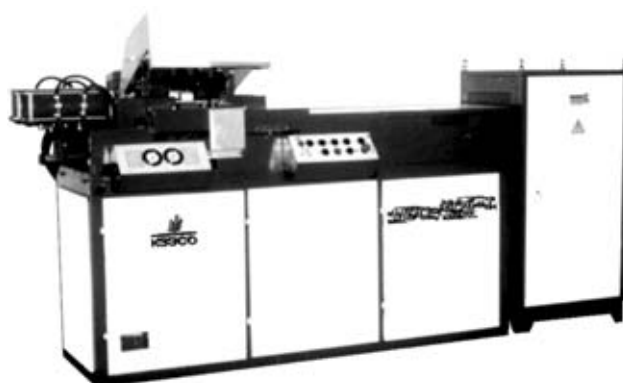
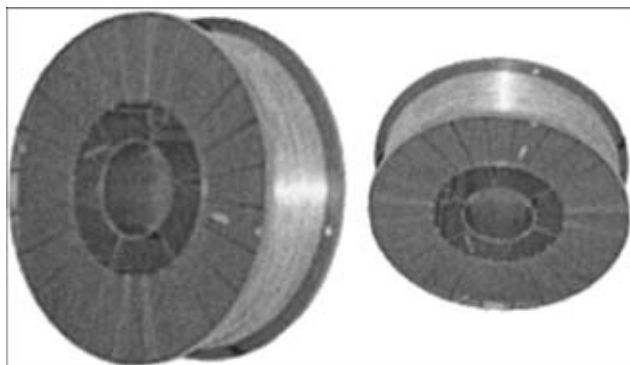
Марка	Диаметр, мм	Масса катушки, кг	Цена за 1 кг с НДС, грн.
ПСГ-0301	0,8	5	9,88
		15	8,64
	1,0	5	10,15
		15	8,37
ПСГ-0302	1,2	15	8,53

Сварочная проволока		ПСГ-0301	ПСГ-0302
Химический состав, %	Углерод, не более	0,10	0,05...0,11
	Марганец	1,4...1,7	1,80...2,10
	Кремний	0,60...0,85	0,70...0,95
	Хром, не более	0,20	0,20
	Никель, не более	0,25	0,25
	Сера, не более	0,025	0,025
	Фосфор, не более	0,03	0,03



Машина для контактной стыковой сварки МСО 606-1

Машина МСО-606-1 предназначена для контактной стыковой сварки изделий круглого сечения из низкоуглеродистых и низколегированных сталей сечением до 2000 мм², а также арматурной стали IV, V классов сечением до 500 мм².





Машина обеспечивает два вида сварки: автоматическую сварку методом непрерывного оплавления изделий сечением от 100 до 1000 мм²; автоматическую сварку с предварительным подогревом свариваемых изделий сечением до 2000 мм².

Управление механизмами машины и собственно сварочным процессом осуществляется автоматически по программе.

Для управления сварочным процессом в машине применен контроллер фирмы «SIEMENS», что значительно повысило надежность работы всей системы управления.

Все параметры сварки задаются через панель оператора. После сварки на панели оператора выданы контролируемые величины: время сварки, время осадки под током.

Применение инверторного привода в сочетании с управлением от контроллера дает возможность оперативно и плавно регулировать скорость оплавления и осадки посредством установки конкретной величины частоты вращения. Инверторный привод также обеспечивает надежную защиту двигателя привода оплавления и осадки от перегрузок и его

стабилизацию при колебаниях питающей сети (напряжения, частоты).

Изменение скорости вращения двигателя с помощью инвертора позволило отказаться от вариаторного регулятора скорости вращения кулака, что также улучшает надежность машины, так как в машине отсутствуют клиноременная и зубчатая откритые передачи.

Центрирующий механизм, установленный на машине, позволяет оперативно регулировать положение неподвижной контактной губки по высоте и выставлять ее в одной плоскости с подвижной контактной губкой при их неравномерном износе или замене.

Пневматическое устройство машины построено на базе элементов фирмы «Сamozzi», что значительно повышает надежность работы машины.

По заказу потребителя в машине может быть дополнительно установлен пневматический гратосниматель, управление которым производится автоматически по программе. Гратосниматель позволяет снимать грат непосредственно после сварки (в зависимости от требований к сварному стыку) и обеспечивает необходимое усиление или исключить его для снижения трудоемкости на зачистку шва.

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

М. Ю. Харламов (ВУНУ им. В. Даля) 12 октября 2005 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности технологических процессов детонационного напыления покрытий на основе комплексной математической модели». Диссертация посвящена разработке математических моделей процессов детонационного напыления покрытий (ДНП),

исследованию на их основе закономерностей поведения порошковых частиц при напылении и созданию методов выбора рациональных технологических режимов и сокращению затрат при разработке технологических процессов (ТП) ДНП.

Обобщены результаты теоретических исследований физических процессов, протекающих при ДНП, и разработана структурная схема их комплексного математического моделирования. При этом выделены входные и выходные параметры моделей основных этапов ДНП и установлена их взаимосвязь.

Предложена модель генерации импульсной струи продуктов газовой детонации. Разработана математическая модель, позволяющая определять пространственно-временные характеристики потока напыляемых частиц как внутри ствола детонационной установки, так и во внешней среде, в том числе и при использовании стволов переменного сечения. Создано соответствующее программное обеспечение.

Проведены численные исследования поведения частиц порошка при детонационном напылении. Установлено, что разгон и нагрев частиц при детонационном напылении осуществляется в два этапа: за детонационной волной и в волне разрежения. Показано, что в процессе истечения двухфазного потока из ствола детонационной установки порошковое облако растягивается в радиальном и осевом направлениях, при этом частицы отклоняются от прямолинейной траектории движения. С умень-

шением плотности материала частиц и их диаметра увеличивается степень их радиального отклонения. Степень радиального смещения частиц в процессе их движения зависит также от первоначального положения относительно оси ствола. Радиальное смещение частиц порошка, расположенных вблизи оси ствола, незначительно и существенно возрастает для частиц, расположенных вблизи стенок ствола. Обоснована возможность управления скоростью и температурой напыляемых частиц комплексом технологических параметров детонационного напыления: формой и размерами ствола; составом горючей смеси и степенью заполнения ствола; величиной дозы порошка и ее пространственным распределением; формой и размерами частиц порошка; дистанцией напыления.

Разработаны принципы создания системы поддержки принятия решений (СППР) для проектирования ТП ДНП, состоящей из блока самостоятельных модулей. В качестве структурных элементов данной системы созданы информационно-поисковая система, содержащая сведения о разработанных газотермических покрытиях и облегчающая работу инженеров-технологов по их выбору, а также автоматизированная система для поиска рациональных режимов напыления, обеспечивающих необходимые для получения покрытия с заданными свойствами значения скорости и температуры частиц порошка. Для рационального выбора технологических режимов разработан и программно реализован метод, основанный на использовании генетического алгоритма. Применение данного метода существенно уменьшает затраты времени на разработку технологий детонационного напыления.

Предложены алгоритм управления и рекомендации для построения комплексной системы автоматизированного управления процессом ДНП. Основу системы управления составляет СППР, результаты работы которой используются для непосредственного управления оборудованием технологического комплекса для ДНП.



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
С. В. Алексеев (Черниговский ГТУ)

12 октября 2005 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Сварка в твердой фазе монокристаллического кремния с боросиликатным стеклом». Диссертационная работа посвящена разработке методики определения оптимального времени сварки в твердой фазе в электростатическом поле монокристаллического кремния с боросиликатным стеклом и усовершенствованию технологии сварки многослойных узлов типа кремний–стекло–кремний.

Установлено, что степень формирования сварного соединения определяется значением плотности тока сварки в начальный момент приложения электрического сварочного напряжения — пиковым значением плотности тока сварки. Показано, что пиковое значение тока сварки определяется величиной площади фактического контакта соединяемых поверхностей и величиной отношения номинальной площади контакта деталей к суммарному периметру боковых поверхностей трубчатой стеклянной детали. При неизменном напряжении сварки пиковое значение плотности тока сварки и скорость формирования сварного соединения уменьшаются с увеличением указанного отношения.

Путем измерения сближения поверхностей во время сварки установлено, что формирование физического контакта осуществляется в начальный момент приложения электрического сварочного напряжения. Установлено, что величина электростатических сил сжатия определяется напряженностью электрического поля в воздушном зазоре между контактируемыми поверхностями, которая, в свою очередь, определяется отношением падения сварочного напряжения на контактом сопротивлении к величине воздушного зазора.

Выявлено, что время сварки кремния со стеклом зависит от объема микропустот, который устанавливается в контактной зоне материалов под воздействием электростатических сил сжатия, и от начального значения плотности тока сварки в момент приложения электрического сварочного напряжения. В общем случае при увеличении шероховатости поверхностей в пределах от 14 ($R_z = 0,025$ мкм) до 13 класса ($R_z = 0,1$ мкм) чистоты поверхностей достижение заданной прочности сварных соединений осуществляется путем выдержки свариваемого узла под электрическим напряжением на протяжении большего времени.

Разработана новая методика определения времени сварки непосредственно в процессе сварки, которая позволяет обособленно выдерживать свариваемый узел под электрическим напряжением.

Снижение прочностных показателей стекла в узлах после сварки происходит вследствие образования в приповерхностной области, контактирующей с кремнием, слоя со структурными изменениями из-за миграции ионов натрия к катоду в процессе сварки. Прочностные показатели этого слоя снижаются с увеличением его толщины, которая при установленном времени сварки, необходимом для формирования сварного соединения по всей плоскости контакта деталей, возрастает с увеличением отношения номинальной площади контакта деталей к суммарному периметру боковых поверхностей трубчатой стеклянной детали или же с увеличением шероховатости контактируемых поверхностей. Уменьшение толщины приповерхностного слоя стекла со структурными изменениями происходит при использовании в процессе сварки максимально возможного уровня электрического сварочного напряжения, ограниченного напряжением перекрытия стекла.

Установлено, что отсутствие непроваров и прожогов в контактной зоне вследствие развития электроразрядных процессов в воздушном зазоре и обеспечение прочности стекла в соединении при испытании на одноосное растяжение не ниже 12 МПа обеспечивается при удельных плотностях тока сварки от 10 до 50 мкА/мм².

Анализ напряженного состояния в соединениях и механические испытания стекло-кремниевых узлов полупроводниковых датчиков давления показали, что кремниевая мембрана более устойчива к внешнему механическому воздействию с уменьшением отношения номинальной площади контакта поверхностей к суммарному периметру боковых поверхностей трубчатой стеклянной детали. Таким образом, установлено, что конструировать стекло-кремниевые узлы нужно так, чтобы указанное отношение имело минимальное значение.

На основании проведенных исследований разработана технология сварки в твердой фазе в электростатическом поле многослойных узлов полупроводниковых датчиков типа кремний–стекло–кремний в едином цикле сварки.

УДК 621.79(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ дуговой сварки, отличающийся тем, что напряжение источника электрической энергии преобразуют на высокочастотном преобразователе в напряжение прямоугольной формы, представляющее собой разнополярные прямоугольные импульсы, следующие с частотой ультразвукового частотного диапазона, преобразуют полученное напряжение на высокочастотном импульсном трансформаторе с падающей вольт-амперной характеристикой и высокочастотном выпрямителе в сварочный ток, представляющий собой однополярные прямоугольные импульсы, следующие с частотой ультразвукового частотного диапазона, нарастание и спад которых сопровождается высокочастотной затухающей модуляцией, а модуляцию осуществляют за счет воздействия разнополярных прямоугольных импульсов на высокочастотный импульсный трансформатор, на резонансных частотах которого возбуждают высокочастотные затухающие колебания большой амплитуды. Патент РФ 2253551. А. Б. Леонтьев, В. Ф. Горячев [16].

Способ управления сварочным током при контактной точечной сварке переменным током, отличающийся тем, что пред-

варительно определяют контрольные точки сварочных токов в каждой фазе процесса точечной сварки, по которым рассчитывают регрессионные модели кривых амплитуды сварочных токов, затем, используя регрессионные модели кривых амплитуды сварочных токов, вычисляют значения углов проводимости тиристоров после чего записывают в модули управления сварочным током предварительно введенные в регулятор цикла сварки значения угла проводимости тиристоров, которые впоследствии используют при управлении сварочным током. Патент РФ 2253552. В. И. Панин, И. А. Андросов, С. А. Малолетков (ОАО «АВТОВАЗ») [16].

Устройство для диффузионной сварки слоистых конструкций, отличающееся тем, что рабочий контейнер состоит из корпуса с фланцами и крышек в виде гибких мембран, а сверху контейнера расположен верхний базовый элемент, установленный на компенсаторах, размещенных в рабочем контейнере по его периметру, высота которых рассчитывается исходя из следующего неравенства: $P + S < H < P + kd$, где H — высота компенсаторов, мм; P — наибольшая высота свариваемого пакета в сборе, мм; k — коэффициент, зависящий от материала мембраны и ее габаритных размеров; d — толщина мембраны рабочего контейнера, мм; S — максимальный прогиб верхнего базового элемента, мм. Патент РФ 2253553. М. Н. Шушпанов,

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



А. Б. Коломенский (ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество») [16].

Способ диффузионной сварки деталей из металлов и сплавов, отличающийся тем, что промежуточный слой наносят толщиной, соответствующей количеству металла, способного в процессе сварки полностью продиффундировать в материал подложки с образованием монолита, а сварку проводят при температуре 0,9...0,95 температуры плавления наименее тугоплавкого из диффундирующих металлов. Патент РФ 2253554. В. Н. Семенов, С. С. Головченко, В. В. Дмитриев и др. [16].

Способ контроля качества сварных и паяных соединений разнородных материалов, отличающийся тем, что выступ выполняющий на одном из материалов, а примыкающую к нему зону припуска с частью соединения выполняют в виде кольца, ось которого совпадает с осью заготовки. Патент РФ 2253555. В. Н. Елкин, В. П. Гордо, Е. Ю. Ривкин (ФГУП «НИКИ энерготехники им. Н. А. Доллежалея») [16].

Сварочная проволока, отличающаяся тем, что сталь дополнительно содержит кальций при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,03...0,10 углерода; 0,05...0,60 кремния; 0,01...0,30 хрома; 0,50...1,40 марганца; 0,30...1,80 никеля; 0,001...0,35 молибдена; 0,01...0,10 ванадия; 0,01...0,05 алюминия; 0,001...0,005 кальция; 0,001...0,05 титана; 0,01...0,50 меди; 0,001...0,012 азота; 0,0005...0,008 мышьяка; 0,0005...0,015 серы; 0,001...0,015 фосфора; остальное железо. При этом содержание фосфора связано с суммарным содержанием марганца и никеля следующим соотношением: $P(2Ni + Mn) < 0,04$, где P, Ni и Mn — содержание соответствующих компонентов в мас. %. Патент РФ 2253556. В. С. Дуб, С. И. Марков, А. С. Лобода и др. (ЗАО НПО «Полиметалл») [16].

Покрывные для защиты поверхности свариваемого изделия от брызг расплавленного металла, отличающиеся тем, что в него введена слюда молотая при следующем содержании компонентов, мас. %: 28...30 мела; 5...6 слюды; остальное стекло жидкое. Патент РФ 2253537. А. К. Олейник [16].

Способ дуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом, отличающийся тем, что на дуговой промежуток периодически подают импульсы напряжения обратной полярности, причем напряжение импульсов составляет не менее 200 В, а их длительность τ_n выбирают из соотношения $\tau_n \geq [(60 - 0,05f)/f] \cdot 10^{-3}$, где f — частота импульсов. Патент РФ 2254214. В. И. Атаманюк, И. Е. Ляпин, А. В. Савинов и др. (Волгоградский ГТУ) [17].

Способ контактной точечной сварки сопротивлением металла, отличающийся тем, что предварительно задают свойства свариваемого металла — теплопроводность λ , объемную теплоемкость cV , удельное сопротивление ρ , предел прочности σ и параметры режима сварки рассчитывают с допуском $\pm 5\%$ решением системы уравнений

$$I_{св} = \sqrt{\frac{\lambda F}{cV\rho}}, \quad t = e^{m(s\sqrt{\sigma/F})^n} \frac{cV S^2}{\lambda}, \quad F = A + BS.$$

Патент РФ 2254215. А. С. Бабкин (Липецкий ГТУ) [17].

Способ контроля качества сварного соединения при электронно-лучевой сварке циркониевых сплавов, отличающийся тем, что в качестве материала деталей образцов используют различные сплавы, один из которых идентичен материалу изделий, а другой имеет близкие к первому теплофизические и химические свойства, любой из них содержит легкоплавкую легирующую добавку, скорость испарения которой выше, чем скорость испарения металла, составляющего основу сплава, и которая изменяет окраску поверхности сварного шва при взаимодействии с реактивом во время травления. Патент РФ 2254216. А. А. Градович, В. И. Васильков, Н. В. Онучин, А. А. Кислицкий (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [17].

Теплоноситель для низкотемпературной пайки погружением, отличающийся тем, что в качестве активатора и одновременно

стабилизатора использован гидроксид щелочного или щелочноземельного металла или их смесь при следующем соотношении компонентов, мас. %: 10...25 гидроксида щелочного или щелочноземельного металла или их смеси; остальное — глицерин. Патент РФ 2254217. Н. П. Литвиненко, В. Ф. Шиханов (ФГУП «НПП «Исток») [17].

Порошковая проволока для износостойкой наплавки, отличающаяся тем, что шихта дополнительно содержит полевой шпат и гематит при следующем соотношении компонентов порошковой проволоки, мас. %: 1...3 ферротитана; 6...7 хрома металлического; 0,3...0,5 ферросилиция; 1,5...2,5 ферромарганца; 0,3...0,5 графита; 0,8...1,5 молибдена; 2,0...4,5 плавикового шпата; 0,3...1,5 полевого шпата; 0,3...1,0 гематита; остальное — стальная оболочка. Патент РФ 2254218. С. А. Шамин (ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод») [17].

Порошковая проволока для наплавки, отличающаяся тем, что никелевая оболочка и алюминий в шихте взяты в количестве 70...75 и 10...12 мас. % соответственно от массы порошковой проволоки, а шихта дополнительно содержит бор и циркон при следующем соотношении компонентов, мас. %: 1,5...2,5 циркония; 2,5...7,0 циркония; 12,5...16,0 вольфрама; 0,19...0,25 кремния; 1,5...2,5 фтористого кальция; 12,5...16,0 хрома; 4,0...10,0 молибдена; 3,5...4,5 ниобия; 0,2...0,3 титана; 2,5...7,0 тантала; 1,0...2,0 графита; 0,1...0,2 бора; 31,75...58,01 алюминия. Патент РФ 2254219. Г. Н. Стеклов, С. Н. Цурихин, В. И. Лысак, И. В. Зорин (Волгоградский ГТУ) [17].

Способ восстановления полукамер резиносмесителей, отличающийся тем, что для упрочнения при восстановлении полукамер резиносмесителей осуществляют проплавление металлической накладки на всю ее толщину кольцевыми или продольными швами с заданным шагом плазменной дугой и дополнительной дугой, горящей между расплавленным металлом и легирующей порошковой проволокой, которую подают позади плазменной дуги, при этом расстояние между дугами выбирают в пределах 0,4...0,6 от длины ванны расплавленного металла. Патент РФ 2254968. В. В. Драгаль, В. Я. Воронников, Ю. А. Артеменко, Н. М. Гайдаш [18].

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки, отличающийся тем, что устройство возвратно-поступательного перемещения штока выполнено в виде пружины сжатия, установленной на одном конце штока, а на другом расположены ролики, взаимодействующие с дисковыми кулачком, имеющим привод вращения. Патент РФ 2254969. О. Г. Брунов, В. Т. Федько, А. В. Крюков и др. (Томский политехнический университет) [18].

Способ сборки стыкового соединения труб под сварку, отличающийся тем, что анализируют измеренные геометрические параметры, причем анализ выполняют в два этапа, на первом для множества возможных взаимных пространственных положений двух торцов труб на всем протяжении периметра предполагаемого стыка определяют величины параметров сборки торцов труб под сварку, а на втором этапе анализа из всех возможных взаимных пространственных положений двух торцов выбирают вариант их пространственного расположения относительно друг друга при последующей сборке, причем из всех возможных взаимных положений торцов выбирают такое положение, для которого величина целевой функции, в состав которой входят значения параметров сборки, определенные на первом этапе анализа, принимало бы экстремальное значение. Патент РФ 2254970. В. П. Сидоров, И. В. Смирнов (Головной Аттестационный центр по сварочному производству Средне-Волжского региона) [19].

Бессвинцовый припой, состоящий из 76...96 мас. % Sn, 0,2...0,5 мас. % Cu, 2,5...4,5 мас. % Ag, >0...12 мас. % In, 0,5...5,0 мас. % Bi и 0,01...2 мас. % Sb. Патент РФ 2254971. Э. Л. Меддл, Д. С. Уон, Ш. Гуо (Сингапур Асахи Кемикал энд Соулдер Индастриз ПТЭ, Лтд., Сингапур) [18].

Припой на основе никеля, отличающийся тем, что он дополнительно содержит алюминий, молибден, ниобий, кобальт, медь и титан при следующем соотношении компонентов, мас. %:



5,0...8,0 хрома; 0,06...0,18 железа; 0,2...0,35 бор; 2,0...3,0 кремния; 8,0...10,0 вольфрама; 0,05...0,2 углерода; 3,0...5,0 алюминия; 1,2...3,0 молибдена; 9,0...12,5 ниобия; 8,0...10,0 кобальта; 0,05...0,15 меди; 0,05...0,25 титана; остальное никель. Патент РФ 2254972. Е. Н. Каблов, В. И. Лукин, В. С. Рыльников и др. (ФГУП «ВИАМ») [18].

Покрытие электрода для сварки, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит волластонит, ферросиликомарганец и магнетит при следующем соотношении компонентов, мас. %: 37...39 ильменитового концентрата; 1,5...2,0 целлюлозы; 37...39 волластонита; 15,0...16,5 ферросиликомарганца; 5...9 магнетита. Патент РФ 2254973. Д. П. Чепрасов, С. В. Кравченко, В. П. Петров, А. А. Ананьин (Алтайский ГТУ им. И. И. Ползунова) [18].

Способ сборки сварных крупногабаритных толстолистовых ортотропных плит из углеродистых, низколегированных сталей под автоматическую сварку, отличающийся тем, что прихватку сорнированных элементов осуществляют неплавящимся вольфрамовым электродом в смеси защитных газов 95...97 % + 3...5 % CO₂. Патент РФ 2254974. И. И. Муравьев, С. В. Гурьев [18].

Генератор постоянного тока, содержащий обмотку независимого возбуждения, питаемую от самостоятельного регулируемого источника, и серию обмотку, включенную последовательно с дугой, дополнительную обратную связь по току возбуждения генератора и установленный на выходе регулятора источника логический элемент «или», в него дополнительно введены конденсаторная батарея и коммутационный блок, имеющий три входа и два выхода, один из входов которого подключен к регулируемому источнику питания, другой — к конденсаторной батарее, а третий — к датчику обратной связи по напряжению на нагрузку, при этом обе обратные связи подключены к логическому элементу «или», а один из выходов коммутационного блока подключен к конденсаторной батарее, а другой выход снабжен выводами для подключения к независимой обмотке возбуждения. Патент РФ 2255844. А. А. Бабинцев, О. В. Петров, В. А. Кунцман и др. (Общевойсковая академия вооруженных сил РФ) [19].

Способ изготовления детали, включающий получение, по меньшей мере, на ее части покрытия путем электродуговой наплавки плавящимся электродом с образованием, по меньшей мере, одного слоя, механическую обработку и отпуск, отличающийся тем, что, по меньшей мере, один слой образуют из предварительно заданных чередующихся, по меньшей мере, в одном направлении зон с различными коэффициентами линейного расширения входящих в него металлов, при этом, по меньшей мере, одна из зон слоя содержит металл, коэффициент линейного расширения которого меньше коэффициента линейного расширения основного металла детали. Патент РФ 2255845. А. А. Бабаев, Д. В. Езупов [19].

Устройство автоматической коррекции движения сварочной горелки, отличающееся тем, что в устройство дополнительно введены первый, второй, третий и четвертый датчики ультразвуковых колебаний, второй, третий и четвертый усилители амплитуды, первый, второй, третий и четвертый детекторы, второй, третий и четвертый фильтры низкой частоты, первый, второй, третий и четвертый триггеры, первый, второй, третий и четвертый интеграторы, первый, второй, третий дифференциальные усилители, второй, третий и четвертый блоки аналоговой памяти. Приведены и другие отличительные признаки. Патент 2255846. В. М. Панарин, Н. И. Воронцов, Э. В. Рощупкин и др. (Тульский госуниверситет) [19].

Сварочные клещи, отличающиеся тем, что они снабжены кронштейнами с закрепленными на них упорами, при этом кронштейны жестко установлены на электрододержателях с возможностью взаимодействия упомянутых упоров с рычагами сварочных клещей. Патент РФ 2255847. П. М. Ромашкин (ОАО «АВТОВАЗ») [19].

Способ изготовления двухслойных горячекатаных листов с плакирующим слоем из коррозионностойкой стали, отличающийся тем, что электрошлаковую наплавку ведут расходными электродами из коррозионностойкой стали, содержащей, мас. %: 0,02...0,12 углерода; 0,2...0,8 кремния; 1,3...2,5 марганца; не более 0,040 фосфора; не более 0,015 серы; 20...23 хрома; 10...14 никеля; не более 1,5 ниобия; не более 0,04 азота; остальное железо и неизбежные примеси. При этом минимально допустимое содержание ниобия определяют в зависимости от содержания углерода в соответствии с выражением (Nb) = 10(C), нагрев двухслойных заготовок под прокатку проводят ступенчато, в процессе прокатки проводят подстуживание раскатов, не деформируя металл, а прокатку заканчивают при температурах не ниже 960 °С. Патент РФ 2255848. А. В. Голованов, А. Б. Зимин, Н. Б. Скорохватов и др. (ОАО «Сверсталь») [19].

Способ получения композиционного материала алюминий-титан, отличающийся тем, что отношение удельной массы заряда взрывчатого вещества к удельной массе алюминиевого слоя равно 1,11...5,0, при этом используют заряд взрывчатого вещества со скоростью детонации, равной 2250...3300 м/с, после сварки пакет подвергают отжигу путем нагрева до температуры, превышающей температуру плавления алюминия в 1,06...1,14 раза, в течение 0,5...2 ч, с формированием при этом сплошной теплозащитной интерметаллидной прослойки, с последующим обжатием пакета стальными пуансонами на 20...50 % толщины алюминиевого слоя и одновременной его кристаллизацией. Патент РФ 2255849. Ю. П. Трыков, С. П. Писарев, Л. М. Гуревич и др. (Волгоградский ГТУ) [19].

Способ управления электрической дугой при термической обработке металла, отличающийся тем, что обдув дугового разряда осуществляют газовым потоком с высокой степенью турбулентности, для чего на вход газоподающего сопла инструмента для электротермической обработки материалов подают не менее двух спутных струй газа и обеспечивают им возможность взаимодествовать друг с другом. Патент РФ 2256538. В. А. Достовалов, Д. В. Достовалов, П. С. Гордиенко, В. Н. Левченко [20].

Приставка для наплавки отверстий малых диаметров, отличающаяся тем, что направляющий канал для прохождения ленты выполнен прямоугольной формы с профилированной рабочей поверхностью, а поверхность контакта поджимного устройства с лентой расположена выше уровня поверхности контакта токоподводящего мундштука с лентой без их непосредственного контакта, при этом ширина рабочей поверхности токоподводящего мундштука и поджимного устройства меньше ширины подаваемой ленты. Патент РФ 2256539. Ю. Н. Кручинин [20].

Устройство для сварки и резки металла, отличающееся тем, что оно снабжено плазменным резаком и блоком управления и защиты, включающим устройство ограничения тока холостого хода и устройство управления запуском, входы этого блока соединены с выходами выпрямительного блока, а каждый из выходов выполнен с возможностью подсоединения соответственно к держателю сварочного электрода, детали, обрабатываемой при сварке, плазменному резаку и детали, обрабатываемой при плазменной резке, вторичная обмотка снабжена подключенной к ней дополнительной обмоткой, расположенной на первичной обмотке, и ее выход подсоединен к соответствующему входу коммутатора, снабженного переключателем режимов «сварка-резка». Патент РФ 2256540. С. П. Пенкин, Л. Н. Кротова, В. Л. Кайзер, И. С. Пенкин [20].

Конструкция паяльного материала для бурового режущего инструмента, выполненная в форме прутка, содержащего композит из дробленых частиц твердого сплава в припое, служащем для связки упомянутых частиц, отличающаяся тем, что пруток выполнен в виде отдельных жестко соединенных между собой элементов упомянутого композита и сплава припоя, размещенных с чередованием. Патент РФ 2256541. О. В. Тихонов (ООО «Биттехника») [20].



По зарубежным журналам*

SOUJAGE et TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2004. — Vol. 58, № 7/8 (фран. яз.)

Популярность трамваев, сконструированных фирмой Альстом, с. 7.

Scandella F. Термодинамическое моделирование — несколько примеров применения в области твердой наплавки, с. 23–30.

SOUJAGE et TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2004. Vol. 58, № 9/10 (фран. яз.)

500 роботов для сварки Ситроэна С4, с. 6.

Китай оснащается заводом для производства для автомобильной промышленности, с. 7.

Высокий уровень производства стали в 2004 г. по сравнению с худшим состоянием металлообрабатывающей промышленности, с. 8–9.

Европа наводит порядок в судостроительной отрасли, с. 10–11.

Военный вертолет «Тигр», версия УНТ, прошел сертификацию в Германии, с. 12.

Отсек для многоцелевой гибридной лазерно-дуговой сварки, с. 13.

Алюминиевый буфер для автомобиля Опель Астра, с. 14.
Строительство трубопровода на севере Канады в Лейк-Пирлесс с использованием способа сварки двумя электродными проволоками, с. 15.

Colchen D. Учет качества и дефектов при выполнении стыковых соединений из сплава алюминия, подверженных усталости, с. 27–34.

Jastrzebski R. et al. Фундаментальные основы обучения путем неосознанного мышления. Ч. 1. Применение при обучении польских инженеров и сварщиков, с. 35–39.

SOUJAGE et TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2004. — Vol. 58, № 11/12 (фран. яз.)

Состояние промышленных субподрядных работ во Франции, с. 6–8.

Локомотив фирмы «Альстом» будет тянуть китайские поезда, с. 9.

Фирма «POLYSOUDE» начала выпуск нового оборудования для орбитальной сварки МИГ-МАГ, с. 10.

Инвестиции Канады для проведения исследований, с. 11.

Фирма Электрисите де Франс устанавливает первый европейский ядерный реактор с водой под давлением в г. Фламанвилле, с. 12.

Многоцелевая установка для электронно-лучевой сварки, с. 13.

Clerge M. et al. Оптимизация промежуточной термообработки и снятие напряжений сталей CrMoV, с. 27–32.

Jastrzebski R. et al. Фундаментальные основы обучения путем неосознанного мышления. Ч. 2. Методика, используемая для практического обучения. Перспективы методов тактильного стимулирования, с. 35–39.

SUDURA (Румыния) 2004. — № 5 (рум. яз.)

Savu I. D. Влияние конструктивного проектирования на жесткость сварных соединений в судостроении, с. 5–13.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона.



Dumbrava D., Safta V. et al. Сравнительные исследования технологий тепловой резки с использованием разных газов, с. 5–10.

Savu I. D. Влияние конструктивного расчета на жесткость сварных соединений в судостроении, с. 11–17.

Vanschen W. Плазменное напыление — инновационный способ нанесения термopокpытий, с. 18–20.

Gurgey A., Olaineck C. Поведение высокопрочных мелкозернистых сталей при лазерной сварке — оценка образцов, с. 21–24.

Wesling V., Schram A. Плазменная пайка тонких листов с покрытиями, с. 31–34.

Lorenz G. Точечные сварные соединения в автомобилестроении — неразрушающий контроль с помощью компьютеризированной ультразвуковой системы, с. 35–38.

THYSSENKRUPP MAGAZINE (Германия) 2004. — № 2 (англ. яз.)

Wilhelm S. Творчество порождает оригинальность, с. 13–17.

Abele R. Новый сплав предотвращает коррозию, с. 32–39.

Weber L. Новые материалы для улучшения окружающей среды, с. 54–59.

Abele R. Новые материалы для улучшения окружающей среды, с. 80–83.

Kurz P. Новый процесс нанесения покрытий на непокрытые металлические листы, с. 88–93.

Klein C. Нейронные сети и автоматизированный контроль поверхности, с. 94–97.

THYSSENKRUPP. TECHNFORUM (Германия) English Edition. — 2004. — July (англ. яз.)

Adam H. et al. Новый облегченный стальной кузов автомобиля, с. 8–13.

Papaiaovou P. Системы рециркуляции выхлопных газов дизельных автомобилей, с. 14–17.

Alleva L. et al. Прямой отжиг — новое направление в производстве ферритной нержавеющей стали 430, с. 18–23.

Sticker G., Abascal J. Нержавеющая сталь для изготовления водяных баков, с. 24–27.

Schon H. Система плавного регулируемого контроля клапанов, с. 28–33.

Koesling D. Внедрение технологии высокоскоростной резки при изготовлении инструментов и штампов, с. 34–39.

Wurker L., Zeuner T. Литье противодавлением деталей алюминиевых шасси, с. 40–45.

Stakemeier B., Henke K. Разработка многофункционального патронного станка, с. 62–67.

Limper A., Keuter A. Метод двойного перемешивания — новая концепция усовершенствования традиционного процесса, с. 68–74.

TRANSACTION of JWRI (Япония) 2004. — Vol. 33, № 1 (англ. яз.)

Lu S., Fujii H. et al. Изменение формы шва при сварке ТИГ в защитных газовых смесях $Ar-O_2$ и $Ar-CO_2$, с. 5–9.

Katayama S., Mizutani M. et al. Явления при сварке и контроль отраженного пучка при сварке внахлестку оцинкованных сталей с помощью ИАГ лазера, с. 11–16.

Shibayanagi T., Maeda M. Характеристики микроструктуры и твердости соединений алюминиевого сплава 7075, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 17–23.

Takahashi M., Yasuda H. et al. Разъединение поверхности раздела анодного соединения металл/стекло путем приложения обратного напряжения, с. 25–32.

Miyamoto Y., Terakubo M. et al. Получение объемных деталей методом трехмерной микросварки, с. 33–38.

Ye F., Ohmori A. et al. Оценка композитных покрытий $TiO_2-FeTiO_3$, полученных методом плазменного напыления, с. 39–44.

Liang W., Sone S. et al. Измерение собственной деформации типичных сварных соединений с использованием обратного анализа. Ч. 1. Деформация сварного валика, с. 45–51.

Kim Y.-C., Hirohata M. et al. Оценка безопасности крестообразных колонн после правки нагревом, с. 53–58.

Luo Y., Ishiyama M. et al. Исследование области температур и собственных напряжений, возникающих при высокочастотном индукционном нагреве плоской плиты, с. 59–63.

Luo Y., Xie L. et al. Прогнозирование деформации крупногабаритной сварной конструкции на основании собственных напряжений, с. 65–70.

Wu Y., Shibahara M. et al. Влияние параметров разделки кромок на образование подваликовых трещин грушевидной формы при сварке в узкий зазор, с. 71–77.

Abe N., Imanaka T. et al. Микросварка тонкой медной фольги с помощью лазерного диода прямого действия, с. 91–92.

TWI CONNECT (Англия) 2004. — № 131 (англ. яз.)

Matters G. Механические испытания на прутках с надрезом или ударные испытания, с. 4–5.

WELDING INTERNATIONAL (Великобритания) Translations from the World's Welding Press 2004. — Vol. 18, № 1 (англ. яз.)

Pietras A. et al. Характеристики сварных швов, полученных сваркой давлением с перемешиванием металла шва (сварка трением с перемешиванием), с. 5–10.

Ema E., Sasabe S. Прочность соединений из сплавов Al-Mg-Si, используемых в автомобильной промышленности и выполненных с помощью передовых технологий сварки, с. 11–15.

Ohasi R. et al. Расширение допусков по зазорам в стыковом соединении без разделки кромок при сварке Nd-YAG лазером, с. 16.

Bonollo F. et al. Супераустенитные нержавеющие стали — микроструктура и усталостная прочность сварных соединений, с. 24–30.

Kahloun C. Дифрактометрический анализ остаточных напряжений в малогабаритных сварных соединениях, с. 31–41.

Korobov Yu S., Boronenkov V. N. Кинетика взаимодействия напыленного металла с кислородом при электродуговой металллизации, с. 42–48.

Sipolovskov et al. Особенности способа заполнения зазора (наплавки) при автоматической орбитальной сварке неповоротных соединений труб, с. 49–56.

Strizhakov E. L. et al. Классификация методов и исследование процесса контактной магнитно-импульсной сварки, с. 57–60.

Selivanov F. Оптимизация параметров диффузионной сварки с учетом физико-химического состояния контактных поверхностей титана, с. 61–65.

Ivanov I. I. Анализ методов автоматического контроля процесса контактной сварки тавровых соединений небольших компонентов, с. 66–70.



Lebedev V., Novgorodskii V. G. Автоколебательные транзисторные электроприводы постоянного тока для сварочного оборудования, с. 71–76.

Pashatskii N. V. et al. Расчетные области температур дискового электрода при электроэрозионной резке материалов, с. 77–80.

WELDING INTERNATIONAL (Великобритания) Translations from the World's Welding Press 2004.
— Vol. 18, № 4 (англ. яз.)

Czernysz W. et al. Влияние электромагнитного воздействия в процессе сварки на повышение стойкости шва к образованию горячих трещин, с. 257–262.

Bord N. J. et al. Оптимизация методов разработки многокомпонентных ферросплавов, требуемых для производства сварочных материалов, с. 263–267.

Krivtsun I. V. Моделирование процессов гибридной плазменно-лазерной сварки и использование плазмотронов, с. 268–276.

Kokawa H. Абсорбция и десорбция азота в сталях в процессе дуговой и лазерной сварки, с. 277–287.

Toyosada M. Обзор по оценке усталостной долговечности, с. 288–300.

Larionov V. P., Zorin E. E. Применение редких и редкоземельных элементов для получения хладостойких конструкционных материалов, с. 301–303.

Ol-shanskii A. N., Morozov B. P. Оценка влияния повышенного давления защитного газа на снижение пористости сварных соединений из алюминиевых сплавов, с. 304–306.

Nkitina E. V. Разработка химсостава электродных покрытий для сварки алюминиевых сплавов с использованием метода экспертной оценки, с. 307–310.

Konkevich V. Yu et al. Особенности металлургии сварки плавлением алюминиевого пропласта, с. 311–314.

Men-shikov V. A. et al. Термические процессы при контактной точечной сварке титановых сплавов, с. 315–319.

Frolov V. A. et al. Технологические особенности компонентов покрытий газотурбинных двигателей, нанесенных методом высокоскоростного газопламенного напыления, с. 320–323.

Sidyakin V. A., Danilov A. I. Дуговая сварка при низком давлении труб из стали и сплавов никеля для энергетики, с. 324–329.

Pronin N. S. et al. Особенности формирования соединений при высокотемпературной пайке световым лучком компонентов, изготовленных из меди и ее сплавов, с. 330–332.

WELDING INTERNATIONAL (Великобритания) Translations from the World's Welding Press 2004.
— Vol. 18, № 5 (англ. яз.)

Seki Y., Nanba S. Разработка метода прогнозирования механических свойств металла сварных швов, с. 341–344.

Ueyama T. Сварка листового материала из алюминиевого сплава с помощью гибридного процесса лазерной сварки на переменном токе и импульсной сварки МИГ, с. 345–350.

Otani T., Sasabe K. Характеристики контактных точечных швов на стальных высокопрочных листах с очень мелкозернистой структурой, с. 351–356.

Hiraishi M., Watanaba T. Повышение прочности ультразвуковых сварных швов алюминиево-магниевого сплава с помощью спиртовой адгезии — ультразвуковая сварка алюминиево-магниевого сплава, с. 357–363.

Petterson G. Различные методы анализа усталости сварных компонентов, с. 364–37.

Ovcharenko Yu. N. Метод определения малоциклового усталости сварных соединений в компонентах банджа трубопровода компрессорных станций перекачивающих газопроводов, с. 374–378.

Soroktn L. I. Оценка стойкости к образованию трещин при сварке и термообработке никелевых сплавов, стойких и ползучести, с. 379–385.

Nikitina E. V. Особенности образования пор при сварке плавлением гранулированного материала, с. 386–390.

Shtrikman M. M. Автоматизированный процесс удаления внутренних дефектов в толстостенных компонентах и сварных соединениях, с. 391–396.

Gnyusov S. F., Trushchenko E. A. Сварка трением стали R6M5 в условиях сверхпластичности — механизм образования структурных несовершенств и методов их устранения, с. 397–396.

Baranov D. A. Особенности сварки деформированного высокопрочного чугуна, с. 401–404.

Shiganov I. N. et al. Особенности лазерной сварки термостойкого алюминиевого сплава AD37, с. 405–409.

Kalin V. A. et al. Использование твердых быстрозакаленных припоев для высокотемпературной пайки конструктивных элементов термоядерных реакторов, с. 410–416.

WELDING JOURNAL (США) 2004. — Vol. 83, № 10 (англ. яз.)

Stratton P. F., McCracken A. Контролируемые атмосферы для светлой высокотемпературной пайки, с. 25–29.

Feldbauer S. L. Современная высокотемпературная пайка нержавеющей стали, с. 30–33.

Still J. R., Blackwood V. Термообработка после сварки — ответственный фактор при восстановлении корпуса устьевого оборудования, с. 34–38.

Fortuna D. Изготовление порошковых припоев для высокотемпературной и низкотемпературной пайки с помощью расплавления, с. 40–44.

Ziegler D. Сварка термопластов, с. 45–47.

Hosking F. M., Lopez E. P. Основные указания для очистки после низкотемпературной пайки, с. 52–53.

Muruganath M. et al. Оптимизация химсостава сварного шва, выполненного дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитного газа для испытания на ударную вязкость по Шарпи, с. 267–276.

Kimapong K., Watanabe T. Сварка трением с перемешиванием алюминиевого сплава со сталью, с. 277–282.

Wang H. et al. Изменения фокусировки пламени в кислородном конусе для резки, покрытом слоем алюминиево-стальной порошковой проволоки, с. 283–287.

WELDING JOURNAL (США) 2004. — Vol. 83, № 11 (англ. яз.)

Sommer B. Начало строительства всемирного торгового центра, с. 36–37.

Zhang Y. M. et al. Двойные электроды позволяют усовершенствовать контроль погонной энергии при сварке МИГ, с. 39–41.

Borchert N. Проект сооружения динозавра позволит обучить рабочих-металлистов новому искусству, с. 42–43.

Сварка МИГ алюминия, с. 44–45.

Ferrell J., Formento P. Вертикальная сварка позволяет решить проблему изготовления сосудов давления, с. 48–49.

DuPont J. N. et al. Металловедение и металлургия сварки аустенитных сплавов, обогащенных гадолинием, применяемых для отработанного ядерного топлива. Ч. 1. Нержавеющие легированные стали, с. 289–300.

Svoboda H. G. et al. Влияние операции сварки на покрытия, полученные дуговой наплавкой порошковой проволокой ANSI/AWS A5.29-98 E81T1-Ni1, с. 301–307.

Sun X. et al. Влияние размеров зоны плавления на способы разрушения и статистическую прочность алюминиевых соединений, выполненных контактной точечной сваркой, с. 308–318.



WELDING JOURNAL (США) 2004. — Vol. 83, № 12 (англ. яз.)

O'Neil B., Rodgers M. E. Испытания новых смесей газов для применения при будущем строительстве моста через бухту в Сан-Франциско, с. 26–28.

Green R. Как оптимизировать сварку МИГ малоуглеродистой стали, с. 30–32.

A. Kurt et al. Исследование свариваемости изделий, полученных методом порошковой металлургии, с. 34.

DuPontetal J. N. Металловедение и металлургия сварки аустенитных сплавов, обогащенных гадолинием, применяемых

для отработанного ядерного топлива. Ч. 2. Сплавы на основе никеля, с. 319–329.

Wu C. S. et al. Численное моделирование переходной трехмерной деформации сварного соединения с полным проплавлением, выполненного способом ТИГ, с. 330–335.

Chu Y. X. et al. Сигнатурный анализ для контроля качества при сварке МИГ короткими замыканиями, с. 336–343.

WELDING JOURNAL (США) 2005. — Vol. 84, № 1 (англ. яз.)

Villafuerte J. Достижения в области технологии роботизированной сварки, с. 28–33.

Spinella J. et al. Тенденции развития точечной контактной сварки алюминия в автомобильной промышленности, с. 34–40.

Campbell K. Сварка через всю жизнь — сварщик Винсент К. Греко, с. 42–44.

Hofman K. et al. Следует ли использовать оборудование на переменном токе или инверторы постоянного тока для точечной контактной сварки двухфазного материала DP-600?, с. 46–48.

Pan J. et al. Робот ползающего типа для выполнения работ в труднодоступных местах, с. 50–54.

Caο G., Kou S. Сварка трением с перемешиванием алюминия 2219 — поведение частиц θ (Al_2Cu), с. 1–8.

Zhang G. J. et al. Интеллектуальное устройство управления для импульсной сварки ТИГ с присадочным металлом, с. 9–16.

Wu P. et al. Определение динамических механических характеристик контактных сварочных машин, с. 17–21.

WELDING RESEARCH COUNCIL. Bulletin (USA) 2003. — № 486. November (англ. яз.)

Указатель данных по вязкости разрушения.

Indexing Fracture Toughness Data. Part 1: Results from the MPC Cooperative Test Program on the Use of Precracked Charpy Specimens for TO Determination / Van Der Sluys W. A., Merkle J. G., Young B. et al.

Part 2: Fracture Data Analysis using ASTM Standards E1921-97 and E1921-02 / Van Der Sluys W. A., Merkle J. G., Young B. et al.

Part 3: Fracture Toughness Data Analysis Using the Master Curve Method / Van Der Sluys W. A., Merkle J. G., Young B. et al., с. 42.

WELDING RESEARCH COUNCIL. Bulletin (USA) 2003. — № 487. December (англ. яз.)

Van Der Sluys W. A. Позиция организационного комитета Научного Совета по сосудам давления относительно влияния

окружающей среды на усталостную долговечность легководных ядерных реакторов, с. 59.

WELDING RESEARCH COUNCIL. Bulletin (USA) 2004. — № 488. January (англ. яз.)

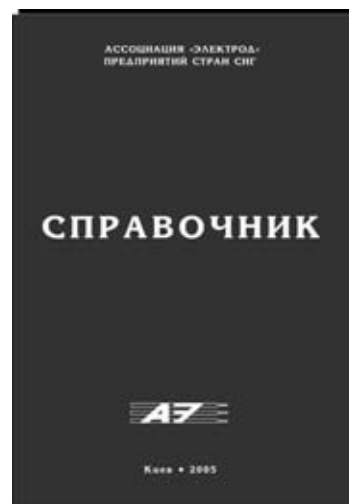
Dobis J. D., Bennett D. C. Механизмы повреждения, воздействующие на стационарное оборудование используемое в целлюлозно-бумажной промышленности, с. 136.

НОВАЯ КНИГА

Справочник Ассоциации «Электрод» предприятий стран СНГ. — Киев, 2005. — 112 с., формат 140×200 мм, магкий переплет.

В справочнике приведены подробные сведения о предприятиях и фирмах СНГ (всего 32 организации), являющихся членами Ассоциации «Электрод», их адреса, контактные телефоны, а также сведения о выпускаемой ими продукции, включая сварочные электроды и технологическое оборудование.

Заказ на книгу просьба направлять по адресу:
Украина, 03150, г. Киев, а/я 362
Тел.: (38044) 287 72 35





ПРЕДЛАГАЮТСЯ ИЗДАНИЯ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

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\$.
- Гаращук В.П. Вступ до фізики лазерів. — 2005. — 244 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 40 грн./360 руб./38\$.
- Сборник докладов Второй международной конференции «Laser Technologies in Welding and Materials Processing» (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\$.

Готовятся к печати в 2006 г.

- ✓ Makhnenko V. I., Pochynok V. E. Strength Calculation of Welded Joints with Adjacent Sharp Cavities (англ. яз.). — Kiev: PWI, 2005. — Format 165×235 mm. Hardback (in English).
- ✓ Kononenko V. Ya. Technologies of Underwater Wet Welding and Cutting. — Kiev: PWI, 2005. — Format 140×200 mm. Softback (in English).

По вопросам заказа изданий следует 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.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ, МЕТАЛЛУРГИИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

19–21 октября 2005 г. в Кутаисском техническом университете им. Н. Мухелишвили состоялась X Международная научно-техническая конференция «Проблемы сварки, металлургии и родственных технологий», организованная «Ассоциацией сварщиков Грузии», Межгосударственным научным советом по сварке и родственным технологиям, Грузинским техническим университетом и рядом других организаций. Во время открытия конференции ее участником было оглашено приветствие академика Б. Е. Патона. В работе конференции приняли участие около 60 ученых и специалистов.

Научные доклады на конференцию представили Институт электросварки им. Е. О. Патона (Украина), Кутаисский государственный технический университет им. Н. Мухелишвили, Грузинский технический университет, Институт сварки в Гливице (Польша), ВНИИЖТ (Россия).

В докладах рассматривались актуальные проблемы сварки, металлургии, обработки металла и экологии.

Большой интерес вызвали следующие доклады: «Влияние содержания углерода и серы на стойкость металла против образования горячих трещин при наплавке гребней вагонных и бандажей локомотивных колес» (автор П. Н. Кипиани и др.), «Пайка композиционных материалов на основе меди и интерметаллидных сплавов» (С. В. Максимова и В. Ф. Хорунов), «Мониторинг загрязнения воздушного



Открытие конференции

бассейна металлургическими предприятиями городов Рустави и Зестафони» (З. С. Сванидзе и др.).

Следует отметить отрядный факт, что наряду с известными учеными в работе конференции приняли участие и выступили с докладами студенты — будущие сварщики.

Обсуждение докладов вызвало оживленную дискуссию и подтвердило полезность обмена научной информацией.

Организационный комитет издал сборник трудов конференции.

А. В. Бабаев, канд. техн. наук

К. А. Ющенко — 70



8 декабря 2005 г. исполнилось 70 лет известному ученому в области технологии сварки и сварочного материаловедения, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники Украины, лауреату государственных премий СССР, Совете Министров СССР, премии им. Е. О. Патона, академику Национальной академии наук Украины, заместителю директора по научной

работе Института электросварки Константину Андреевичу Ющенко.

После окончания Киевского политехнического института К. А. Ющенко начал трудовую деятельность в 1958 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона, где прошел путь от инженера-экспериментатора до заместителя директора.

Здесь он защитил кандидатскую (1965) и докторскую (1982) диссертации, получил звание профессора (1987). Был избран членом-корреспондентом (1990), а затем академиком (2003) НАН Украины. Руководил лабораторией (с 1970 г.), а позже отделом (с 1978 г.) металлургии и технологии сварки высоколегированных сталей и сплавов.

Основное направление его научной деятельности — создание новых металлических материалов, разработка процессов их получения и технологий сварки и обработки поверхности. Диапазон исследований включает создание хорошосвариваемых сталей и сплавов, разработку теоретических основ их сварки применительно к изделиям, предназначенным, в частности, для эксплуатации в экстремальных условиях при воздействии агрессивных сред, криогенных и высоких температур, облучения, сильных магнитных полей.

С 1962–1965 гг. им был выполнен цикл работ по теории сварки сталей ферритно-аустенитного класса. Были установлены закономерности изменения физико-механических и коррозионных свойств металла сварного соединения с многокомпонентным фазовым составом. Изучен избирательный характер электрохимического растворения фаз в зависимости от легирования и линейных размеров. Это послужило основой для разработки новых оригинальных систем экономнолегированных никелем сталей и швов, создания сварочных материалов и процессов, обеспечивающих их широкое использование в химическом машиностроении. С 1965 г. К. А. Ющенко возглавляет в Академии наук УССР исследования по созданию новых свариваемых сталей и сплавов для криогенной техники. Комплексные работы выполняются в тесном сотрудни-



честве с ВНИИКриогенмашем, ЦНИИЧерметом им. И. П. Бардина (г. Москва), Челябинским металлургическим комбинатом (г. Челябинск), Уралхиммашем (г. Свердловск), Спецтехмонтажем (Байконур), заводами «Днепрспецсталь», НКМЗ, Ижорским заводом тяжелого машиностроения и другими организациями бывшего СССР. Была решена проблема оптимизации составов стали и металла шва, исходя из требований высокой удельной прочности, стойкости против охрупчивания при различных условиях нагружения в интервале 4,2...293 К, в том числе в сильных магнитных полях и при радиационном облучении, термоударах. Выполненные исследования, наряду с теоретическими работами, позволили создать гамму принципиально новых хорошо свариваемых сталей для криогенной техники, сварочных материалов и технологических процессов соединения. Впервые в мировой практике и СССР был создан процесс производства на ЧМК в дуговых 100 тн печах хладостойких нержавеющей сталей со сверхнизким содержанием углерода. Это послужило основой для разработки нового научного направления — сварочного криогенного материаловедения, которое признано не только в странах СНГ, но и за рубежом. Выполнен цикл работ по оценке конструкционной прочности сварных соединений при криогенных температурах. Теоретические исследования явились основой для разработки норм и методов расчета, принятых в Украине, России и других странах при проектировании криогенных конструкций нового типа, где используется низкотемпературное упрочнение металла.

Более 50 запатентованных марок сталей, сварочных проволок, электродов, флюсов, созданных под руководством и при участии К. А. Ющенко, используются в криогенном машиностроении. Их применение реализовано в таких крупных проектах, как «Буран» (стартовый комплекс), «Токамак-7», «Токамак-15» (силовая сверхпроводящая система МГД генератора), в крупном имитаторе космоса, устройстве для жизнеобеспечения, бортовых двигателях космических систем, новом поколении газотурбинных двигателей. Новые стали и материалы, а также технологические процессы, разработанные К. А. Ющенко, включены в качестве кандидатных при создании международного термоядерного реактора «ИТЭР» и стеллятора.

В 1985 г. К. А. Ющенко разработаны новые положения применительно к процессам, вызывающим образование трещин в швах при кристаллизации и повторных нагревах. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена роль дислокационных и сегрегационных процессов для верхнего и нижнего интервалов хрупкости и их роль в образовании трещин.

В 1975–2005 гг. К. А. Ющенко выполнен цикл работ по изучению свариваемости материалов. Разработана новая теория свариваемости и классификация методов соединения материалов в зависимости от агрегатного состояния вещества. Новый критерий свариваемости, которым энергетически оценивается степень деградации материала, расширяет технические возможности получения неразъемных соединений из любых конструкционных металлов и неметаллов.

На основе исследования процессов охрупчивания высокохромистых сталей с ОЦК-структурой системы Fe–20 Cr коллективом ученых ИЭС во главе с К. А. Ющенко в содружестве с Физико-технологическим институтом ме-

таллов и сплавов НАН Украины предложено управлять сегрегационными явлениями при рекристаллизации металла за счет контролируемого диспергирования примесей по телу зерна. Эти работы открыли новое перспективное направление в разработке хорошо свариваемых безникелевых коррозионностойких высокохромистых ферритных сталей массового назначения.

Одним из научных достижений является создание К. А. Ющенко с сотрудниками теории сварки высоколегированных сталей со сверхравновесным содержанием азота. Цикл работ позволил обобщить принципы получения качественных соединений нового класса металлов со сверхравновесным легированием газами. Исследования по кинетике деазотации позволили установить условия существования квазиравновесных состояний в приграничных зонах кристаллизующегося металла, роль фазовых изменений металла в системе «жидкость–газ». Впервые в мировой практике разработаны материалы и процессы, позволяющие сваривать металл со сверхравновесным содержанием азота до 1 %.

В 1986–2005 гг. К. А. Ющенко активно участвует в работах по созданию новых материалов и процессов для обработки поверхности и нанесения покрытий. Он проводит исследования по разработке и применению специальных порошковых проволок для износостойкой и коррозионностойкой наплавки, новых видов проволок и порошков на основе тугоплавких материалов, композиций сплавов с аморфной структурой. Созданные материалы и процессы нашли применение в промышленности. К ним относятся такие технологические процессы, как карбонадирование, плазменно-детонационная обработка, разрядно-импульсная обработка и микроплазменное напыление. Многие из них, являясь оригинальными, запатентованы и получили признание за рубежом.

К. А. Ющенко — автор более 650 опубликованных работ и изобретений, в числе которых 7 монографий. Под руководством К. А. Ющенко подготовлено более 35 кандидатских и 7 докторских диссертаций. Он ведет большую научно-организационную деятельность. В 1989 г. был избран вице-президентом Международного института сварки. С 1986 по 1992 гг. — заместитель председателя Национального Комитета СССР по сварке, с 1993 г. — председатель Национального комитета по сварке Украины, с 1990 г. — руководитель направления «Неразъемные соединения и покрытия», программы «Новые вещества и материалы». Возглавляет секцию по покрытиям Научно-технического межгосударственного совета СНГ, с 1983 г. — член бюро Отделения физико-технических проблем материаловедения НАН Украины, член Специализированного совета по защите диссертаций Института электросварки, член редколлегии журналов «Автоматическая сварка» и «Сварщик», член Технического комитета и председатель специального комитета Международного института сварки по соединениям и покрытиям перспективных материалов в авиационной технике. С 1984 г. входит в руководящий состав международных организаций по криогенной технике и по криогенным материалам.

Награжден Почетной грамотой Верховного Совета УССР, орденом Дружбы народов, медалями. В 1994 г. избран действительным членом Международной электро-технической академии (г. Москва).

Е. А. Аснису — 70



В декабре 2005 г. исполнилось 70 лет со дня рождения известного специалиста в области сварки тугоплавких металлов и космического материаловедения, ведущего научного сотрудника отдела «Космические технологии» Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, доктора технических наук Ефима Аркадьевича Асниса.

После окончания в 1958 г. Киевского политехнического института в течение 1958–1959 гг. он работал на Бориспольской станции по ремонту тракторов и сельскохозяйственных машин, где организовал производство по реставрации деталей этого оборудования методами сварки и наплавки.

С 1960 по 1967 гг. Е. А. Аснис работал на Киевском заводе «Большевик» в должности старшего инженера, начальника лаборатории и начальника бюро сварки завода. Здесь под его руководством были освоены и внедрены в производство технологии сварки различных сталей и цветных металлов для нужд химического машиностроения и других областей техники.

С 1967 г. Е. А. Аснис работает в ИЭС им. Е. О. Патона. Более 25-ти лет он занимался вопросами разработки обо-

рудования и технологии сварки тугоплавких металлов, является признанным специалистом в области сварки ниобия и сплавов на его основе. Под его руководством и с его участием разработан ряд технологических процессов сварки ниобиевых сплавов, которые нашли применение в ракетно-космической отрасли, ядерной энергетике и химическом машиностроении. Работая в тесном сотрудничестве с металлургами, он внес значительный вклад в создание и внедрение новых ниобиевых и ванадиевых сплавов. Проведенные работы послужили основой для кандидатской и докторской диссертаций, которые он успешно защитил.

С 1993 г. Е. А. Аснис работает в области космического материаловедения, занимаясь вопросами получения совершенных полупроводниковых и композиционных материалов в условиях космоса методом электронно-лучевой зонной плавки. В этом направлении им выполнен ряд работ по созданию технологии плавки этих материалов, которые позволят провести эксперименты в космосе для определения влияния факторов космического пространства на возможность получения совершенных материалов.

Е. А. Аснис является автором двух монографий и около 200 статей и изобретений. За заслуги в развитии космической отрасли награжден Почетной грамотой Национального космического агентства Украины.

А. Т. Зельниченко — 50



В декабре 2005 г. исполнилось 50 лет со дня рождения кандидата физико-математических наук, зав. издательским отделом ИЭС им. Е. О. Патона, члена редколлегии журнала «Автоматическая сварка» Александра Тимофеевича Зельниченко.

А. Т. Зельниченко работает в ИЭС им. Е. О. Патона с 1987 г. после окон-

чания Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко вначале в отделе «Математические методы исследования физико-химических процессов при сварке и спецэлектрометаллургии» (по 1991 г.), а затем в издательском отделе. В 1988 г. А. Т. Зельниченко защитил кандидатскую диссертацию. Им был разработан пакет программ для расчета тепловых и усадочных процессов, протекающих при получении отливок в виде тел вращения методом электрошлакового кокильного литья. За участие в работе «Армированная квазимонолитная листовая сталь повышенной прочности для автомобильной промышленности и сельскохозяйственного машиностроения» в составе коллектива авторов он был удостоен Премии ЦК комсомола и

МЧМ Украины за 1985–1986 гг. Руководя издательским отделом, А. Т. Зельниченко с присущей ему энергией в сжатые сроки обеспечил переход подготовки пяти журналов института на электронные технологии и ритмичность их выпуска. Благодаря постоянным усилиям в период 1993–2003 гг. в «Gordon and Breach» (Великобритания) было организовано издание (более 40 монографий на английском языке) ученых института и специалистов других организаций в рамках серии «Сварка и наплавка». Он является также инициатором новой книжной программы — издания с 2000 г. серии книг и монографий на русском и английском языках «Сварка и родственные технологии» под редакцией академика Б. Е. Патона.

Наряду с издательской деятельностью А. Т. Зельниченко много сил и энергии отдает организации и проведению на регулярной основе международных конференций «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке», «Лазерные технологии в сварке и обработка материалов», пользующихся большой популярностью. Свой опыт и знания А. Т. Зельниченко воплощает в активизации деятельности Международной ассоциации «Сварка», директором которой он стал в 2005 г.

Сердечно поздравляем юбиляров, от всей души желаем им крепкого здоровья и бодрости, творческой энергии и новых достижений в развитии отечественной сварочной науки и сварочного производства.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Общество сварщиков Украины, Международная ассоциация «Сварка», Редколлегия журнала «Автоматическая сварка»



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Межотраслевой учебно-аттестационный центр
Института электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины
Направления учебной деятельности на 2006 г.



Шифр курса	Наименование программы	Продолжительность	Сроки проведения
------------	------------------------	-------------------	------------------

1. Повышение квалификации инженерно-технических работников

(с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций, в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)

101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор (руководители сварочных работ)	подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	май, декабрь
102		переаттестация	24 ч	
103	Руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полимерных материалов	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	февраль, апрель, июль, октябрь, ноябрь
104		переаттестация	1 неделя (32 ч)	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)		3 недели (112 ч)	сентябрь
106	Расширение допуска (аттестация) председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов УАКС		16 ч	в течение года
107		специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	март, ноябрь
108	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (70 ч)	февраль, апрель, июнь, июль, сентябрь, декабрь
109		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (72 ч)	
110	Расширение допуска (аттестация) членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке		16 ч	в течение года
111	Подтверждение полномочий председателей комиссий - экспертов УАКС:	со стажем 3 года	16 ч	по согласованию с УАКС
112		со стажем 6 лет	32 ч	
113		со стажем 9 лет	24 ч	
114	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб по сварке:	со стажем 3 года	сентябрь
115			со стажем 6 лет	октябрь
116			со стажем 9 лет	июнь, октябрь
117		специалистов по техническому контролю	24 ч	апрель, июнь, ноябрь
118		специалистов по охране труда	24 ч	апрель, ноябрь
119	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки (с присвоением квалификации)	Международный инженер по сварке	72 и 444 ч ¹	апрель, октябрь
121		Международный технолог по сварке	72 и 340 ч ¹	
123		Международный специалист по сварке	56 и 222 ч ¹	
125		Международный практик по сварке	32 и 146 ч ¹	март, декабрь
127		Международный инспектор по сварке	от 42 до 218 ч ¹	
129	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)		2 недели (72 ч)	март, декабрь
130	Технология и организация производства сварочных электродов		3 недели (112 ч)	июнь
131	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
132	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	январь, май, декабрь
133	Подготовка и аттестация специалистов по металлографическим исследованиям	аттестация	2 недели (72 ч)	июль
134		переаттестация	24 ч	октябрь
135	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	март
136		переаттестация	24 ч	октябрь
137	Эмиссионный спектральный анализ (стилоскопирование) металлов и сплавов	аттестация	2 недели (76 ч)	по согласованию с заказчиком
138		переаттестация	24 ч	
139	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей методами наплавки		70 ч	по согласованию с заказчиком

Тематические семинары (возможно проведение на базе заказчика)

140	Международные и национальные стандарты в области сварочного производства	2 дня	в течение года
141	Современное сварочное оборудование на рынке Украины	2 дня	
142	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов	1 день	

2. Подготовка и повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки

201	Подготовка, повышение квалификации инструкторов по сварке и родственным технологиям	5 недель (192 ч)	апрель
202	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин по сварке и родственным технологиям	3 недели (112 ч)	

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала в области сварки и родственных технологий

(с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)

Подготовка сварщиков:

301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки	3 недели (112 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)	
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	март, сентябрь
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	апрель, октябрь
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	май, ноябрь
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	июнь, декабрь
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	5 недель (192 ч)	февраль, апрель, май, июнь, октябрь, ноябрь
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5 – 12 недель ¹	по согласованию с заказчиком
315	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком

Переподготовка сварщиков:

316	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 - 4 недели	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
318	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 - 3 недели	
320	газовой сварки	2 недели	
321	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	1 - 2 недели	
323	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	1 - 2 недели	
325	автоматической дуговой сварки под флюсом	1 - 2 недели	
327	электрошлаковой сварки	1 - 2 недели	
329	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	2 – 5 недель ¹	

Повышение квалификации сварщиков:

330	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком
331	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 недели (72 ч)	
332	газовой сварки	2 недели (72 ч)	
333	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	2 недели (72 ч)	
334	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)	
335	автоматической дуговой сварки под флюсом	2 недели (72 ч)	
336	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)	
337	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	1 неделя (36 ч)	
338	пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	2 недели (72 ч)	
339	Повышение квалификации газосварщиков (газовая пайка цветных металлов)	32 ч	

Подготовка, переподготовка и повышение квалификации дефектоскопистов

330	Подготовка дефектоскопистов	ультразвукового контроля	196 ч	февраль, октябрь
331		рентгеновского и гамма-контроля	188 ч	
332		магнитного контроля	172 ч	апрель, ноябрь
333		газового и жидкостного контроля	172 ч	
334	Переподготовка дефектоскопистов	ультразвукового контроля	184 ч	февраль, июнь, октябрь
335		рентгеновского и гамма-контроля	156 ч	
336		магнитного контроля	152 ч	апрель, ноябрь
337		газового и жидкостного контроля	144 ч	

338	Повышение квалификации дефектоскопистов	ультразвукового контроля	от 104 до 128 ч ⁴	февраль, июнь, октябрь
341		рентгеновского и гамма-контроля	от 104 до 168 ч ⁴	
344		магнитного контроля	от 108 до 132 ч ⁴	апрель, ноябрь
347		газового и жидкостного контроля	от 76 до 132 ч ⁴	
350	Специальная подготовка и аттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		36 ч	по согласованию с заказчиком
351	Подготовка к аттестации и аттестация дефектоскопистов 2-го и 3-го разрядов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		160 ч	
352	Курсовая подготовка работников Укрзалізниця по профессии	Дефектоскопист по ультразвуковому контролю 3-го разряда	160 ч	по согласованию с заказчиком
353		Дефектоскопист по магнитному контролю 3-го разряда	120 ч	
354	Подготовка контролеров сварочных работ		от 76 до 116 ч ⁴	февраль, сентябрь

Другие профессии

357	Подготовка газорезчиков	газовой резки	3 недели (112 ч)	июль, ноябрь
358		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	январь, июль
359	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы		5 недель (196 ч)	март

4. Аттестация персонала сварочного производства

(в соответствии с национальными и международными нормами и стандартами)

401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госнадзорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		от 72 до 152 ч ²	1-2 неделя месяца 3-4 неделя месяца
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно ДНАОП 0.00-1.16-96		от 4 до 24 ч	по согласованию с заказчиком
405	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госнадзорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч	еженедельно
406	Подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными стандартами ISO 9606 и EN 287		2 недели (72 ч)	1-2 неделя месяца 3-4 неделя месяца
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными и европейскими стандартами ISO 9606 и EN 287		32 ч	еженедельно
408	Подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международным стандартом ISO 14732 (операторы автоматических установок дуговой сварки плавлением / операторы контактной точечной сварки)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
409	Аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)	
410	Периодическая аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч	
411	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)		проводится по окончании курса 309	
412	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)		32 ч	в течение года
413	Специальная подготовка дефектоскопистов к аттестации в соответствии с ДНАОП 0.00-1.27-97	ультразвуковой контроль	от 24 до 140 ч ³	по согласованию с заказчиком
418		радиационный контроль		
423		магнитный контроль		
428		капиллярный контроль		
433		визуально-оптический контроль		
438	Профессиональное тестирование сварщиков дуговой сварки		от 4 до 8 ч	по согласованию с заказчиком

- ¹ - продолжительность обучения устанавливается Уполномоченным Национальным органом (УНО).
- ² - продолжительность подготовки устанавливается аттестационной комиссией.
- ³ - продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).
- ⁴ - продолжительность обучения зависит от квалификации слушателя.

По просьбе заказчиков возможно проведение обучения в другие сроки или по программам, не вошедшим в данный перечень, а также на территории заказчика.

На период обучения слушателям оказывается содействие в предоставлении жилья с оплатой за наличный расчет.

Стоимость обучения определяется при заключении договора.

Для приема на обучение необходимо направить заявку на адрес Центра с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11
Тел. (+380 44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09, факс (+380 44) 456-48-94
E-mail: paton-tc@paton.kiev.ua, http: www.paton-tc.kiev.ua

ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛА ПОД ВОДОЙ

Резка металлов под водой — один из часто встречающихся и достаточно трудоемких видов подводно-технических работ, требующих высокой квалификации водолазов и немалых затрат. На практике подводная резка используется при аварийно-спасательных подводно-технических работах в открытом море или на судоходных реках (например, при ремонте подводной части судна без постановки его в док). Необходимость подводной резки часто возникает при производстве или ремонте береговых гидротехнических сооружений, а также (в значительных объемах) при резке на части затонувших судов, подъем которых целиком затруднителен. Подобные работы возникают при необходимости расчистки от затонувших судов прибрежной части морей, причалов портов, акваторий рек и пр. В большинстве случаев разделка затонувших судов оправдана экологическими требованиями, а затраты частично компенсируются реализацией металлолома, полученного от резки на берегу поднятых частей судна.

Существующие способы подводной резки металлов малопроизводительны и связаны с существенными затратами на оборудование или материалы. Например, при наиболее распространенном традиционном способе кислородно-дуговой резки сталей толщиной 15 мм на глубине 7... 10 м средняя скорость резки составляет 2 м/ч, при этом для резки двух метров стали расходуются до 1 м³ кислорода и 12 трубчатых электродов со специальной обмазкой. Следует учитывать также время, затрачиваемое водолазом на смену электродов и зачистку металла по всей линии реза. Полуавтоматическая подводная резка связана с расходом дефицитной порошковой проволоки и повышенным расходом электроэнергии. Взрывные способы резки противостоят экологическим требованиям подводных работ, а абразивно-струйная резка требует дорогостоящего оборудования высокого давления (в несколько тысяч атмосфер) и большого расхода абразива.

Предлагаемый нами способ подводной воздушно-плазменной резки (ПВПР) отличается от существующих высокой производительностью и экономичностью. Сущность его заключается в сквозном проплавлении и выдувании металла из полости реза, высокотемпературной (16... 20 тыс. °С) воздушно-плазменной струей, образуемой подаваемым в электродугую камеру плазменного резака сжатым воздухом. Оригинальная схема водяного охлаждения плазменного резака в сочетании с системой формирования плазменной струи обеспечивает небольшую массу и габариты резака, повышают эффективность прорезания металла.

Установка, названная «Дельфин-1», состоит из источника постоянного тока и плазменного резака, подключаемого к источнику кабель-шланговым пакетом. Подвод электроэнергии к источнику осуществляется от береговой сети или дизель-генераторной станции (380 В). Потребляемая мощность установки, включая мощности компрессора (давление до 10 кг/см², расход воздуха до 6 м³/ч) и насоса (давление до 4 кг/см², расход воды до 0,5 м³/ч), составляет 50... 80 кВт в зависимости от глубины выполняемых работ. Надежная изоляция токонесущих элементов резака и кабель-шлангового пакета, а также автоматическая система подачи напряжения от источника на резак в процессе поджига дуги и мгновенное отключение его при обрыве дуги обеспечивают полную безопасность водолаза от поражения электрическим током. Длина кабель-шлангового

пакета плазменного резака составляет 30 м с учетом работы на глубинах до 20 м. До такой глубины гарантируется качественное прорезание стальных и алюминиевых конструкций толщиной до 25 мм.

Таким образом, при ПВПР от установки «Дельфин-1» единственным режущим средством является сжатый воздух, а расчет стоимости одного погонного метра реза производится с учетом расхода электроэнергии (или дизтоплива при автономном электропитании), затрат на сменные детали и на водолазные спуски. Для сравнения: на глубине 7... 10 м средняя скорость резки сталей толщиной 15 мм способом ПВПР составляет 20 м/ч, т. е. на порядок выше скорости кислородно-дуговой резки, что немаловажно, учитывая ограниченное время пребывания водолаза под водой. Смена катода и сопла плазменного резака осуществляется примерно через 1 ч, а необходимость зачистки металла по линии реза отпадает.

Проверку способа ПВПР проводили неоднократно в производственных условиях на глубинах до 30 м. Техника резки достаточно проста и не требует от водолаза-резчика больших навыков. Воздушно-плазменный резак специальной насадкой опирается на прорезаемый металл, легким нажатием возбуждается плазменная дуга и далее резак, опираемый на металл, легко перемещается по линии реза. Водолазу нет необходимости поддерживать «на глаз» длину дуги (как это требуется для устойчивого ее горения при кислородно-дуговой резке). Плазменная дуга, прикрытая насадкой, не слепит глаза, а прорезание металла контролируется по режущему факелу, видимому через прорез. Автоматическое включение дуги легким нажатием на резак и отключение путем отведения резака до обрыва дуги упрощают работу водолаза.

Важным преимуществом установки «Дельфин-1» является возможность использования ее на суше для резки на металлолом поднятых частей судна.

Установка по средствам защиты водолаза соответствует требованиям ГОСТ 12.2.035-78 ССБТ «Водолазное снаряжение и средства обеспечения водолазных спусков и работ».

НПМГП «Плазматрон» обеспечивает поставку установок типа «Дельфин-1», пусконаладочные работы и обучение водолазов-резчиков у заказчика, гарантирует ее надежную работу, оперативную поставку сменных деталей плазматрона и запасных частей.

*По вопросам приобретения установки
обращаться по адресу:*

*Киев-57, ул. Э. Потье, 9а, НПМГП «Плазматрон»,
тел. 456-23-36 и 456-40-50,
E-mail: plasmtec@iptelecom.net.ua.*



УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2004 г.

ПЕРЕДОВИЦА

- Вклад сварщиков в Великую Победу № 5
175 лет МГТУ им. Н. Э. Баумана № 11
Сварочное производство Уралмашзавода. Этапы становления и развития № 12
Указ Президента Украины «Про присудження Державних премій України в галузі науки і техніки 2004 року» № 238 від 9 грудня 2004 р. № 1

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АЛЕКСЕЕВ Г. М., ДИЛТАЙ У., ГУМЕНЮК А. В., ТУРИЧИН Г. А., ЛОПОТА В. А., ШИЛОВ С. С., ГРИГОРЬЯНЦ А. Г., ШИГАНОВ И. Н., МИСЮРОВ А. И., МАСЫЧЕВ В. И., СЫСОЕВ В. К. Перспективы применения светолазерных технологий № 5
АРСЕНЮК В. В., МАРКАШОВА Л. И., ГРИГОРЕНКО Г. М., ПОЛОВЕЦКИЙ Е. В., БУГАЕЦ В. П. Особенности формирования структуры титаностальных соединений в условиях сварки взрывом № 3

БОНДАРЕВ А. А., ЛОЗОВСКАЯ А. В., ШЕЛЕНКОВ Г. М. Влияние металлургической наследственности полуфабрикатов из сплава АМц на их паяемость № 3

БОРИСОВ Ю. С., ЗАЦЕРКОВНЫЙ А. С., КРИВЦУН И. В. Конвективно-кондуктивный и радиационный теплообмен потока плазмы с частицами дисперсного материала в условиях плазменного напыления № 6

БОРИСОВ Ю. С., ЗАЦЕРКОВНЫЙ А. С., КРИВЦУН И. В. Особенности теплообмена ионизированного газа с испаряющейся частицей в условиях плазменного напыления № 7

БРОДОВОЙ А. В., БРОДОВОЙ В. А., ГУЩА О. И., БУНЧУК С. Г. Эффект снижения остаточных напряжений в сварных соединениях алюминиевого сплава Д16 при обработке в магнитном поле № 10

БУШМА А. И., ВАСЕНИН Ю. Л., КРИВЦУН И. В. Моделирование процесса лазерного напыления керамических покрытий с учетом рассеяния лазерного пучка напыляемыми частицами № 12

ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Расчетный алгоритм оценки допустимых размеров непроплавов в сварных соединениях, работающих при сложном спектре циклических нагрузок № 9

ГРИГОРЕНКО Г. М., ГОЛОВКО В. В., КОСТИН В. А., ГРАБИН В. Ф. Влияние микроструктурных факторов на склонность к хрупкому разрушению сварных швов с ультранизким содержанием углерода № 2

ДИЛТАЙ У., МОКРОВ О., ПАВЛЫК В. Моделирование процесса многопроходной сварки плавящимся электродом в защитных газах углеродистой стали с предварительным подогревом № 4

ДМИТРИК В. В., КОНЫК А. И. К концепции зарождения пор в сварных соединениях при низкотемпературной ползучести № 7

ЗАМКОВ В. Н., ПРИЛУЦКИЙ В. П. Способы сварки титановых сплавов № 8

ЗЕММЛЕР У., АЛАЛУСС К., МАТТЕС К.-Й. Моделирование методом конечных элементов металлургических и термомеханических процессов при упрочняющей плазменной наплавке № 7

ИВАХНЕНКО А. Г., ВЕРЕВКИН М. Е., ИВАХНЕНКО Г. А. Исследование процесса сварки взрывом с помощью комбинаторного алгоритма МГУА и расширения выборки данных № 3

ИЩЕНКО А. Я., МАШИН В. С., ПАШУЛЯ М. П. Технологические особенности двухдуговой импульсной сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов № 1

КАЛИНА П. П., ЯРОВИЦЫН А. В., ЮЩЕНКО К. А. Особенности процесса микроплазменной порошковой наплавки № 4

КОРЖ В. Н., ПОПИЛЬ Ю. С. Получение газопламенного покрытия при использовании водородно-кислородного пламени № 9

КУЗЬМЕНКО В. Г., ГУЗЕЙ В. И. Порообразование в металле шва при сварке под флюсом с поверхностным насыщением зерен фтора № 2

КУЗЬМИН С. В. Кинетика разгона элементов многослойных пакетов металлических пластин при сварке взрывом № 5

КУЛИК В. М., САВИЦКИЙ М. М., БУРСКИЙ Г. В. Оценка сопротивляемости металла ЗТВ высокопрочной стали замедленному разрушению с моделированием релаксации напряжений № 4

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., КАЧИНСКИЙ В. С., ИГНАТЕНКО В. Ю. Прессовая сварка дугой, управляемой магнитным полем, деталей сплошного сечения № 8

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ШВЕЦ Ю. В., ДУМЧЕВ Е. А., ШВЕЦ В. И., МИКИТИН Я. И., ТАРАНЕНКО С. Д., НИКИТИНА Н. Н. Контактная стыковая сварка железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через промежуточную вставку № 1

ЛАБУР Т. М., ИЩЕНКО А. Я., ТАРАНОВА Т. Г., КОСТИН В. А., ГРИГОРЕНКО Г. М. Особенности зарождения и распространения трещин в условиях внецентренного растяжения сварных соединений алюминиево-литиевого сплава 1441 № 11

ЛАБУР Т. М., ИЩЕНКО А. Я., ТАРАНОВА Т. Г., КОСТИН В. А., ГРИГОРЕНКО Г. М. Характер и особенности микродеформации в зоне зарождения и распространения трещин в высокопрочном алюминиевом сплаве Д16АТ № 10

ЛАЗЕБНОВ П. П. Коррозионно-электрохимические свойства хромоникелевого наплавленного металла в щелочных средах (Обзор) № 5

ЛОБАНОВ Л. М., ПИВТОРАК В. А., САВИЦКИЙ В. В., ТКАЧУК Г. И., КИЯНЕЦ И. В. Оперативный контроль качества и напряженного состояния сварных конструкций методами электронной ширографии и спекл-интерферометрии № 8

МАЗУРОВСКИЙ В. Л., ЗИНИГРАД М. И., ЛЕОНТЬЕВ Л. И., ЛИСИН В. Л. Компьютеризированное проектирование современных сварочных материалов № 3

МАКСИМОВ С. Ю. Оценка влияния условий подводной мокрой сварки на вероятность образования пор в металле шва № 2

МАЛЫЙ А. Б., БУТЕНКО Ю. В., ХОРУНОВ В. Ф. Свариваемость высоколегированных термоупрочняемых сплавов на никелевой основе (Обзор) № 5

МАРГОЛИН Б. З., ВАРОВИН А. Я., КОСТЫЛЕВ В. И. Определение остаточных напряжений в корпусах реакторов ВВЭР после многопроходной сварки, наплавки и высокотемпературного отпуска № 10

МАРКАШОВА Л. И., ГРИГОРЕНКО Г. М., ВАЛЕВИЧ М. Л., ПЕТРОВ С. В. Особенности структуры поверхностных слоев металла бандажей железнодорожных колес после плазменной обработки № 1

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Влияние нерелаксированных остаточных напряжений на несущую способность и остаточный ресурс сварных соединений трубопроводов и оборудования объектов атомной энергетики № 8

МАХНЕНКО В. И., САПРЫКИНА Г. Ю. К вопросу прерывистости кристаллизации металла сварного шва № 11

НАЗАРЕНКО О. К., НЕСТЕРЕНКОВ В. М., ИЛЮШЕНКО Р. В. Свариваемость электронным пучком авиационных алюминиевых сплавов большой толщины № 8

ОСТСЕМИН А. А., ДИЛЬМАН В. Л. Статическая прочность и напряженное состояние механически неоднородных стыковых сварных соединений с X-образной разделкой кромок № 11

ПАЛАМАРЧУК Б. И., ПАЦИН Н. А., МАНЧЕНКО А. Н. Повышение сопротивления усталостному разрушению тонколистовых конструкций методом локального импульсного воздействия № 1

ПАТОН Б. Е. Современные достижения ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки и родственных процессов № 8

ПАТЮШКИН А. В., АНТОНЮК Д. А. Влияние легирования на кавитационно-коррозионную стойкость нержавеющей сталей и сплавов № 4

ПЕНТЕГОВ И. В., ПЕТРИЕНКО О. И. Метод определения температуры проволоки на выходе из мундштука при механизированной сварке в защитных газах № 10

ПЕНТЕГОВ И. В., ПЕТРИЕНКО О. И., ПУСТОВОЙТ С. В., СИДОРЦ В. Н., ЛАВРЕНЮК А. В. Определение падения напряжения в области контакта электродной проволоки с мундштуком горелки при механизированных способах дуговой сварки № 6

ПЕТУШКОВ В. Г., ДОБРУШИН Л. Д., ВОЛГИН Л. А., ИЛЛАРИОНОВ С. Ю., ШЛЕНСКИЙ П. С. Новое в резке металлоконструкций взрывом № 8

ПОДОЛА Н. В., РУДЕНКО П. М., ГАВРИШ В. С. Алгоритмы компенсации износа электродов при контактной точечной сварке № 4

ПОЛЯКОВ С. Г., РЫБАКОВ А. А., НЫРКОВА Л. И. Компьютерные программы расчета эффективности защиты трубопроводов методом нелинейной полярности № 12

ПОНОМАРЕВ В., СКОТТИ А. Особенности смешанных типов переноса металла при сварке в защитных газах длинной дугой № 3

ПОРИЦКИЙ П. В., ПРИЛУЦКИЙ В. П., ЗАМКОВ В. Н. Контракция сварочной дуги с вольфрамовым катодом в смесях инертных газов № 7

РЫЖОВ Р. Н., КУЗНЕЦОВ В. Д. Выбор оптимальных параметров внешнего электромагнитного воздействия при дуговых способах сварки № 6

РЫМАР С. В. Оптимизация трансформатора с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния № 9

РЫМАР С. В. Оптимизация трансформатора с развитыми ярмовыми магнитными потоками рассеяния № 7

РЯБЦЕВ И. А. Электродные материалы для механизированных способов дуговой наплавки № 8

САБАДАШ О. М., ХОРУНОВ В. Ф. Материалы и технология флюсовой пайки алюминия и алюминия с нержавеющей сталью № 8

САВИЦКИЙ А. М., ВАСИЛЬЕВ В. Г., САВИЦКИЙ М. М., ВАЩЕНКО В. Н. Влияние стадии нагрева на формирование структуры сварных соединений закаляющихся сталей № 1

СКУЛЬСКИЙ В. Ю. Структура металла в зоне сплавления и ЗТВ сварных соединений высокохромистых теплоустойчивых сталей № 5

УЛЬШИН В. А., ХАРЛАМОВ М. Ю. Оптимизация параметров детонационно-газового напыления с использованием генетического алгоритма № 2

ФАДЕЕНКО Ю. И., ДОБРУШИН Л. Д., ИЛЛАРИОНОВ С. Ю. Механизмы формообразования границ соединения при сварке взрывом № 7

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Влияние частотных свойств сварочного контура на параметры тока при импульсно-дуговых процессах сварки № 10

ШЕЙКО П. П., ЖЕРНОСЕКОВ А. М., ЛОЗОВСКАЯ А. В., ШИМАНОВСКИЙ Ю. С. Применение двухканальной системы автоматической стабилизации процесса импульсно-дуговой сварки № 6

ШЕЛЯГИН В. Д., КРИВЦУН И. В., БОРИСОВ Ю. С., ХАСКИН В. Ю., НАБОК Т. Н., СИОРА А. В., БЕРНАЦКИЙ А. В., ВОЙНАРОВИЧ С. Г., КИСЛИЦА А. Н., НЕДЕЙ Т. Н.

Лазерно-дуговые и лазерно-плазменные технологии сварки и нанесения покрытий № 8

ШЛЕПАКОВ В. Н. Современные методы исследования, прогнозирования и оценки свойств сварочных порошковых проволок № 9

ШЛЕПАКОВ В. Н., КОТЕЛЬЧУК А. С., НАУМЕЙКО С. М., БИЛИНЕЦ А. В. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки № 6

ШОНИН В. А., ГУЩА О. И., МАШИН В. С., КОВАЛЬЧУК В. С., КУЗЬМЕНКО А. З. Влияние размеров образца сварного соединения алюминиевого сплава на остаточную напряженность и сопротивление усталости № 2

ЮХИМЕЦ П. С., ГАРФ Э. Ф., НЕХОТЯЩИЙ В. А. Экспериментальное обоснование метода расчета остаточного ресурса трубопроводов с коррозионными повреждениями № 11

ЮЩЕНКО К. А., ДЕРЛОМЕНКО В. В. Анализ современных представлений о свариваемости № 1

ЮЩЕНКО К. А., КАРАСЕВСКАЯ О. П., КОТЕНКО С. С., ПОЛИЩУК Е. П., САВЧЕНКО В. С., ЗАДЕРИЙ Б. А. К вопросу наследования сварными соединениями структурно-ориентированного состояния металлических материалов № 9

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВА Л. В., ДЕВИД С., ВИТЕК Дж. Исследование свариваемости никелевых суперсплавов и разработка технологии ремонта лопаток газовых турбин № 6

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВА Л. В., ЗВЯГИНЦЕВА А. В. Высокотемпературная газовая коррозия лопаток турбин из никелевых сплавов в процессе эксплуатации № 5

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Автоматизированная сварка трубопроводов № 1

БАРАНОВ А. В., БРУСНИЦЫН Ю. Д., КАЩЕНКО Д. А., СОКОЛОВ А. А. Совершенствование технологий производства сварочных электродов № 12

БЕРНАДСКИЙ В. Н. Сталь и сварка в строительстве № 6

БЕРНАДСКИЙ В. Н., МАКОВЕЦКАЯ О. К. Современное сварочное производство Китая № 1

БЛАЩУК В. Е. Цирконий: сплавы, сварка, применение (Обзор) № 7

БЛАЩУК В. Е., ШЕЛЕНКОВ Г. М. Сварка плавлением титана и его сплавов (Обзор) № 2

БЛАЩУК В. Е., ШЕЛЕНКОВ Г. М., ТРОЯНОВСКИЙ В. Э. Сварка труб с трубными решетками теплообменных аппаратов из титановых сплавов № 9

ВОРНОВИЦКИЙ И. Н., ЗАХАРОВА Н. В., ШИШКОВА О. В., ВИЛИСОВ А. А., ЗИНЧЕНКО А. В. Технологические особенности сварки высоколегированных сталей электродами с рутиловым покрытием № 2

ВОРОПАЙ Н. М., ИЛЮШЕНКО В. М., МИШЕНКОВ В. А. Технологические возможности процессов импульсной двухдуговой сварки в защитных газах (Обзор) № 7

ГЕЖА В. В., БИШОКОВ Р. В., ШЕКИН С. И., МЕЛЬНИКОВ П. В. Новые сварочные материалы для изготовления конструкций из хладостойких сталей в различных отраслях промышленности № 12

ДЕНИКИН Э. И., НЕТЕСА Ю. Д., НЕТЕСА А. Д. Подогреватели углекислого газа для механизированной дуговой сварки № 1

ДМИТРИК В. В., ПРИТУЛА С. И. Токоснаправляющие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок № 3

ЖАДКЕВИЧ А. М. Источники электрического нагрева для пайки № 1

ЖАДКЕВИЧ А. М. Лучевые источники нагрева для пайки (Обзор) № 2

ЖАДКЕВИЧ А. М. Светолучевая сварка и пайка (Обзор) № 7

ИГНАТЧЕНКО П. В., БУГАЙ А. И. О некоторых тенденциях развития производства сварочных материалов и сырьевых компонентов № 3

ИГНАТЧЕНКО П. В., БУГАЙ А. И. 15 лет Ассоциации «Электрод» и анализ состояния производства сварочных материалов в странах СНГ за 2000–2004 годы № 12

ИЛЛАРИОНОВ С. Ю., ДОБРУШИН Л. Д., ПОЛЯКОВ С. Г., БОЕВА Г. Е. Повышение коррозионной стойкости сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов плакированием взрывом № 2

КАШИРСКИЙ Ю. В., ЗУБЧЕНКО А. С. Информационный банк по конструкционным и сварочным материалам № 5

КОВТУНЕНКО В. А., СИНЕОК А. Г., ПЕРАСИМЕНКО А. М., ЗАДОРЖНЫЙ В. А. Характерные повреждения сварных металлических конструкций мостов № 10

КОНОНЕНКО В. Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» № 9

КОРНЕЦКИЙ О. Ю. Роль испытательных лабораторий в обеспечении контроля качества производства сварочных материалов № 4

КОРНИЕНКО А. Н., ЖАДКЕВИЧ А. М. Проблема качества паяных соединений и разработка припоев (Обзор) № 3

КОРНИЕНКО А. Н., ЖАДКЕВИЧ А. М. Разработка и применение паяных решетчатых и сотовых конструкций в авиационной технике (Ретроспективный обзор) № 12

КОТ А. Н. Новые разработки концерна ESAB OK AristoRod и MarathonPac для сварки MAG № 4

КУЧЕРОВА М. И., БЕЛОВ Ю. М., РАНЦЕВ А. А., АРСЮКОВ Д. В. Разработка электродов с высокими сварочно-технологическими свойствами для наплавки № 12

ЛЕБЕДЕВ В. А. Механизированная резка металлов с применением полуавтомата ПШ107Р № 5

ЛЕВЧЕНКО О. Г., ЧИГАРЕВ В. В. Расчет производительности местной вытяжной вентиляции для условий наплавки порошковыми лентами № 10

ЛОБАНОВ Л. М., ПАЩИН Н. А., ЛОГИНОВ В. П., ЛОГИНОВА Ю. В. Применение электроимпульсной обработки элементов конструкций с целью повышения их ресурса (Обзор) № 11

МАРЧЕНКО А. Е. Технология как объект и инструмент менеджмента качества в производстве сварочных материалов № 12

МАТВЕЕВ В. В. Восстановление вагонных колес наплавкой с предварительным отжигом поверхности катания № 11

МАТВЕЕВ В. В. Наплавка гребней вагонных колес после отжига поверхности катания на вагоноремонтных заводах Украины № 6

МАШИН В. С., ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ФЕДОРЧУК В. Е. Механические свойства соединений алюминиевых сплавов при сварке плавящимся и неплавящимся электродом № 9

НАЗАРЕНКО О. К., ЛОКШИН В. Е. Динамические характеристики высоковольтных источников питания для электронно-лучевой сварки № 1

ОРЛОВ Л. Н., ГОЛЯКЕВИЧ А. А., ТИТАРЕНКО В. И., ПЕЛЕСЬКО В. Н. Восстановительная наплавка порошковой проволокой деталей металлургического и горнодобывающего оборудования № 12

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., КИСЛИЦЫН В. М. Применение водорода и его смесей в экологически чистых процессах соединения металлов № 5

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., ПОЛУХИН В. В., ПОЛУХИН Вл. В., ПОЛУХИН Ю. В., ПРОКОФЬЕВ А. С., УДОВЕНКО В. Г. Изготовление и применение тонкостенных спиральношовных труб № 9

ПОЗНЯКОВ В. Д., КАСАТКИН С. Б., ЖДАНОВ С. Л., СТРИЖАК П. А. Особенности ремонта сварных конструкций из низколегированных сталей (Обзор) № 3

Производители сварочных материалов, продукция которых сертифицирована в системе УкрСЕПРО по состоянию на 01.01.2005 г. № 4

РОЗЕРТ Р., АЛИМОВ А. Н., МИКИТЕНКО А. М. Организация производства бесшовных порошковых проволок в Украине № 4

РЯБЦЕВ И. А. Высокопроизводительная широкопоясная наплавка электродными проволоками и лентами (Обзор) № 6

САМОТУГИНА Ю. С. Технологические особенности локального упрочнения высокопрочного чугуна № 5

СКУЛЬСКИЙ В. Ю., МОРАВЕЦКИЙ С. И. Присадочные материалы для автоматической сварки под флюсом теплоустойчивых сталей с 9% хрома № 6

ТАРАРЫЧКИН И. А. Особенности сборки и многопроходной сварки кольцевых стыков толстостенных обечаяк № 7

ТАРАРЫЧКИН И. А., ВОСКРЕСЕНСКИЙ А. С. К расчету силового привода сжатия для дуговой сварки продольных стыков толстостенных обечаяк № 4

ТКАЧЕНКО А. Н., ВОСКРЕСЕНСКИЙ А. С. Применение дуговой точечной сварки при изготовлении кузовов вагонов № 12

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В. Аморфные припои – перспективный материал для современных технологических процессов пайки (Обзор) № 10

ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ВОЛКОВ В. В., БЫВАЛЬКЕВИЧ А. И., ПОДЪЯЧЕВ В. В., ИВАНОВ Н. А., НЕМЛЕЙ Н. В., МИРОШНИЧЕНКО А. П., БАЖУКОВ А. В. К вопросу выбора технологии сварки элементов ГЦТ Ду 850 при замене парогенераторов ПГВ-1000М на АЭС № 10

ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ГАВРИК А. Р., МОРАВЕЦКИЙ С. И., СТРИЖИУС Г. Н. Герметизация горячезакатных днищ баллонов из стали 20ХН4ФА с помощью сварки № 11

ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., ЛУКАШЕНКО А. Г. Резка излучением CO₂-лазера корпусов дисковых пил № 2

ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., ШИТОВА Л. Г., НАБОК Т. Н., СИОРА А. В., БЕРНАЦКИЙ А. В., ЧИЖСКАЯ Т. Г. Многопроходная сварка сталей больших толщин с использованием лазерного излучения № 10

ШЛЕПАКОВ В. Н., НАУМЕЙКО С. М. Самозащитные порошковые проволоки для сварки низколегированных сталей № 4

ЯВДОЩИН И. Р., СКОРИНА Н. В., МАРЧЕНКО А. Е., ВАКОЛЮК Ю. Д., ПАЛЫЦЕВИЧ А. П. Новые электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей № 3

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ГНАТЕНКО М. Ф. Совершенствование технологии термообработки покрытых сварочных электродов № 7

Диссертации на соискание ученой степени № 2, 4–7, 11, 12

ЕРЕМИН Е. Н. Применение комбинированного электрода при электрошлаковой сварке материалов малых толщин № 12

ЕРЕМИН Е. Н. Устройство для формирования шва при электрошлаковой сварке № 9

ЗАЙФФАРТ П. Применение волоконного лазера мощностью 10 кВт № 6

ЗАХАРОВ Л. С., ГАВРИК А. Р. Электроды для ручной дуговой сварки теплоустойчивых сталей с 9% хрома № 5

Информация № 1–12

Календарь конференций и выставок в 2005 г. (сварка и родственные технологии) № 1, 4, 7

КАСАТКИН О. Г. Расчетная оценка ударной вязкости низколегированного металла шва № 1

[КИСИЛЕВСКИЙ Ф. Н.], ДОЛИНЕНКО В. В., ТОПЧЕВ Д. Д. Метод разработки программного обеспечения с использованием

- управляющих графов и языковых средств ISaGRAF для интеллектуальных сварочных контроллеров № 2
- КИСИЛЕВСКИЙ Ф. Н., КОЛЯДА В. А.** Использование объектно-ориентированного пакета MS DirectShow для моделирования обработки видеосигналов средств технического зрения № 4
- КИСИЛЕВСКИЙ Ф. Н., КОЛЯДА В. А.** Калибровка транзюляционных оптических сенсоров № 5
- КИСИЛЕВСКИЙ Ф. Н., ШАПОВАЛОВ Е. В., МЕЛЬНИК Е. С.** Система мониторинга для трубосварочного стана № 10
- Компания «Фронтус» информирует № 8
- КОНОНЕНКО В. Я.** Применение технологии механизированной подводной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» № 12
- КОРОТЫНСКИЙ А. Е., МАХЛИН Н. М., БУРЯК В. Г., КУНКИН Д. Д.** Универсальный датчик электрических параметров сварки № 3
- КСЭЗО предлагает № 8
- КУСКОВ Ю. М., ЛЕБЕДЕВ В. А., РЯБЦЕВ И. А., ПОДДУБИНСКИЙ А. И., ШАПРАН Р. В.** Восстановление крупногабаритных деталей оборудования горнообогатительных комбинатов механизированной дуговой наплавкой № 10
- ЛАПАНДИН В. Д., БЕРЕСТОВОЙ А. М.** Сварная конструкция защитной арматуры железнодорожных цистерн № 3
- ЛЕБЕДЕВ В. А., ПОСТОЛАТИЙ Н. И., МОТРИЙ А. В.** Многофункциональный источник сварочного тока № 9
- ЛЕСНОЙ А. Б., КАСАТКИН О. Г., ЗАМКОВ В. Н.** Информационная система по сварке титана и его сплавов № 5
- Новости** № 2, 3–12
- Новые книги № 1, 2, 4–6, 8, 11, 12
- ОРЛОВ Л. Н., ГОЛЯКЕВИЧ А. А., УПЫРЬ В. Н., ГИЮК С. П.** Порошковая проволока для сварки в судостроении № 6
- ОХОТСКИЙ В. Б.** Модель процесса горения железа в кислороде при резке стали № 4
- Патенты в области сварочного производства** № 1–7, 9, 12
- По зарубежным журналам № 1–7, 10–12
- РЫЖОВ Р. Н.** Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке неплавящимся электродом № 7
- РЫЖОВ Р. Н., МАКСИМОВ С. Ю., ПРИЛИПКО Е. А., КОЖУХАРЬ В. А.** Влияние внешних электромагнитных воздействий на структуру и химический состав швов при мокрой подводной сварке № 11
- СКОСНЯГИН Ю. А., ЛЕСНОЙ А. Б.** Информационная поисковая система «Электроды для дуговой сварки» № 9
- ШАРАПОВ М. Г., АВЕРЬЯНОВ А. А.** Сварка на керамических подкладках № 3
- ХРОНИКА**
- Аснису Е. А. — 70 лет № 12
- Богдановскому В. А. — 70 лет № 3
- В аспирантуре ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины № 1
- В Международном институте сварки № 3
- 2-я Международная конференция «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» № 9
- 2-й научно-практический семинар по сварочным материалам стран СНГ «Дуговая сварка. Материалы и качество» № 11
- Выставка «Экспосварка-2004» № 1
- Гвоздецкому В. С. — 75 лет № 8
- XII Международная научно-техническая конференция «Бенардосовские чтения» № 10
- XIX Молодежная конференция Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАНУ № 11
- X Международная конференция «Физика и технология тонких пленок» № 7
- Заседание бюро Межгосударственного научного совета по сварке и родственными технологиям № 11
- Заседание секции «Источники питания и системы автоматического управления сварочным оборудованием» Межгосударственного научного совета по сварке и родственными технологиям № 7
- Зельниченко А. Т. — 50 лет № 12
- Казакову В. А. — 60 лет № 8
- Касаткину О. Г. — 70 лет № 6
- Кирееву Л. С. — 60 лет № 4
- Коржу В. Н. — 70 лет № 4
- К 75-летию Н. П. Лякишева № 1
- К 100-летию со дня рождения А. С. Гельмана № 1
- Кучуку-Яценко С. И. — 75 лет № 8
- Ланкину Ю. Н. — 70 лет № 3
- Международная выставка материалов, оборудования и технологий «Сварка. Родственные технологии 2005» № 6
- Международная конференция «Ti-2005 в СНГ» № 7
- Международная научно-техническая конференция «Пайка 2005» № 11
- Международная научно-техническая конференция «Современные технологии металлообработки» № 11
- Международный институт сварки. История создания и цели № 4
- Международный научно-технический семинар «Современные сварочные флюсы и опыт их применения в промышленности» № 11
- Международный семинар «Контактная сварка и другие виды сварки давлением. Технологии и оборудование» № 6
- МГУ им. М. В. Ломоносова — 250 лет № 3
- Научно-методическая конференция «Современные проблемы сварки, наплавки и материаловедения» № 7
- Научно-практический семинар для руководителей и специалистов в области сварочного производства № 6
- Научно-техническая конференция «Проблемы сварки, металлургии и родственных технологий» № 11
- Новое производство газопламенной аппаратуры фирмы «Ро-Ар» № 1
- Памяти Замкова В. Н. № 8
- Памяти Сливинского А. М. № 1
- Памяти Стеренбогена Ю. А. № 4
- Памяти Швачко В. И. № 1
- Памяти Шейко П. П. № 3
- Призеры конкурса «Интеллектуальный потенциал молодых ученых — городу Киеву» № 3
- Профессор Джон Норриш — лауреат премии им. Е. О. Патона Международного института сварки № 5
- Пятая международная научно-техническая конференция «Современные тенденции производства труб для магистральных газонефтепроводов в ОАО «Харьковский трубный завод» № 9
- V Международная школа-конференция «Актуальные проблемы физики полупроводников» № 11
- Региональный семинар Общества сварщиков Украины в г. Симферополе, № 5
- Роману О. В. — 80 лет № 10
- Сварочная выставка 2005 г. в США № 8
- VII Международная конференция «Возобновляемая энергетика XXI века» № 11
- Семинар концерна «ESAB» в Киеве № 1
- Семинар-практикум на «Укрзалізниці» № 10
- «Современное состояние, направления развития сварочной науки и техники» — лекция, посвященная памяти А. М. Сливинского № 11
- Технический семинар на Каховском заводе электросварочного оборудования № 9
- Технический семинар «Судостроение. Сварка 2005» № 11
- III Молодежная конференция «Сварка и родственные технологии» № 9
- 4-я Международная конференция «Высокотемпературная капиллярность НТС-2004» № 1
- 60 лет Институту сварки в Гливицах № 10
- Эннану А. А.-А. — 70 лет № 3
- Ющенко К. А. — 70 лет № 12

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Аверьянов А. А. № 3Алалусс К. № 7
Алексеев Г. М. № 5
Алимов А. Н. № 4
Антонок Д. А. № 4
Арсенюк В. В. № 3
Арсюков Д. В. № 12**Б**ажуков А. В. № 10Баранов А. В. № 12
Белов Ю. М. № 12
Берестовой А. М. № 3
Бернацкий В. Н. № 1, 6
Бернацкий А. В. № 8, 10
Билинец А. В. № 6
Бишоков Р. В. № 12
Блащук В. Е. № 2, 7, 9
Босва Г. Е. № 2
Бондарев А. А. № 3
Борисов Ю. С. № 6–8
Бродовой А. В. № 10
Бродовой В. А. № 10
Брусницын Ю. Д. № 12
Бугаец В. П. № 3
Бугай А. И. № 3, 12
Бунчук С. Г. № 10
Бурский Г. В. № 4
Буряк В. Г. № 3
Бутенко Ю. В. № 5
Бушма А. И. № 12
Бывалькевич А. И. № 10**В**аколюк Ю. Д. № 3Валевич М. Л. № 1
Варовин А. Я. № 10
Васенин Ю. Л. № 12
Васильев В. Г. № 1
Ващенко В. Н. № 1
Великоиваненко Е. А. № 8, 9
Веревкин М. Е. № 3
Вилисов А. А. № 2
Витек Дж. № 6
Войнарович С. Г. № 8
Волгин Л. А. № 8
Волков В. В. № 10
Ворновицкий И. Н. № 2
Воропай Н. М. № 7
Воскресенский А. С. № 4, 12**Г**аврик А. Р. № 5, 11Гавриш В. С. № 4
Гарф Э. Ф. № 11
Гежа В. В. № 12
Герасименко А. М. № 10
Гиук С. П. № 6
Гнатенко М. Ф. № 7
Головко В. В. № 2Голякевич А. А. № 6, 12
Грабин В. Ф. № 2
Григоренко Г. М. № 1–3,
10–12
Григорьянц А. Г. № 5
Гузей В. И. № 2
Гуменюк А. В. № 5, 12
Гуща О. И. № 2, 10**Д**евид С. № 6Деникин Э. И. № 1
Дерломенко В. В. № 1
Дилтай У. № 4, 5
Дильман В. Л. № 11
Дмитрик В. В. № 3, 7
Добрушин Л. Д. № 2, 7, 8
Долинченко В. В. № 2
Думчев Е. А. № 1**Е**ремин Е. Н. № 9, 12**Ж**адкевич А. М. № 1–3, 7,
12Жданов С. Л. № 3
Жерносексов А. М. № 6**З**адерий Б. А. № 9Задорожный В. А. № 10
Зайффарт П. № 6
Замков В. Н. № 5, 7, 8
Захаров Л. С. № 5
Захарова Н. В. № 2
Зацерковный А. С. № 6, 7
Звягинцева А. В. № 5
Земмлер У. № 7
Зинниград М. И. № 3
Зищенко А. В. № 2
Зубченко А. С. № 5**И**ванов Н. А. № 10Ивахненко А. Г. № 3
Ивахненко Г. А. № 3
Игнатенко В. Ю. № 8
Игнатченко П. В. № 3, 12
Илларионов С. Ю. № 2, 7, 8
Илюшенко В. М. № 7
Илюшенко Р. В. № 8
Ищенко А. Я. № 1, 10–12**К**алина П. П. № 4Карасевская О. П. № 9
Касаткин О. Г. № 1, 5
Касаткин С. Б. № 3
Качинский В. С. № 8
Каширский Ю. В. № 5
Кашченко Д. А. № 12**К**исилевский Ф. Н. № 2, 4, 5,
10Кислица А. Н. № 8
Кислицын В. М. № 5
Киянец И. В. № 8
Ковальчук В. С. № 2
Кожухарь В. А. № 11
Коляда В. А. № 4, 5
Кононенко В. Я. № 9, 12
Коньк А. И. № 7
Корж В. Н. № 9
Корневцкий О. Ю. № 4
Корниченко А. Н. № 3, 12
Коротынский А. Е. № 3
Костин В. А. № 2, 11
Костылев В. И. № 10
Кот А. Н. № 4
Котенко С. С. № 10
Котельчук А. С. № 6
Кривцун И. В. № 6–8, 12
Кузнецов А. И. № 12
Кузнецов В. Д. № 6
Кузьменко А. З. № 2
Кузьменко В. Г. № 2
Кузьмин С. В. № 5
Кулик В. М. № 4
Кункин Д. Д. № 3
Кусков Ю. М. № 10
Кучерова М. И. № 12
Кучук-Яценко С. И. № 1, 8**Л**абур Т. М. № 10, 11Лавренко А. В. № 6
Лазебнов П. П. № 5
Лапандин В. Д. № 3
Лебедев В. А. № 5, 9, 10
Левченко О. Г. № 10
Леонтьев Л. И. № 3
Лесной А. Б. № 5, 10
Лисин В. Л. № 3
Лобанов Л. М. № 8, 11
Логинов В. П. № 11
Логинова Ю. В. № 11
Лозовская А. В. № 3, 6
Локшин В. Е. № 1
Лопота В. А. № 5
Лукашенко А. Г. № 2**М**азуровский В. Л. № 3Максимов С. Ю. № 2, 11
Максимова С. В. № 10
Маковецкая О. К. № 1
Малошенко А. И. № 12
Малый А. Б. № 5
Манченко А. Н. № 1
Марголин Б. З. № 10
Маркашова Л. И. № 1, 3

Марченко А. Е. № 3, 12

Масычев В. И. № 5
Матвеев В. В. № 6, 11
Маттес К.-Й. № 7
Махлин Н. М. № 3
Махненко В. И. № 8, 11
Машин В. С. № 1, 2, 9
Мельник Е. С. № 10
Мельников П. В. № 12
Микитенко А. М. № 4
Микитин Я. И. № 1
Мирошниченко А. П. № 10
Мисюров А. И. № 5
Мищенко В. А. № 7
Мокров О. № 4
Моравецкий С. И. № 6, 11
Мотрий А. В. № 9**Н**абок Т. Н. № 8, 10Назаренко О. К. № 1, 8
Наумейко С. М. № 4, 6
Недей Т. Н. № 8
Немлей Н. В. № 10
Нестеренков В. М. № 8
Нетеса А. Д. № 1
Нетеса Ю. Д. № 1
Нехотящий В. А. № 11
Никитина Н. Н. № 1
Ныркова Л. И. № 12**О**рлов Л. Н. № 6, 12Остсемин А. А. № 11
Охотский В. Б. № 4**П**авлык В. № 4Паламарчук Б. И. № 1
Пальцевич А. П. № 3
Панов В. И. № 12
Патон Б. Е. № 8
Патюпкин А. В. № 4
Пашуля М. П. № 1
Пащин Н. А. № 1, 11
Пелешко В. Н. № 12
Пентегов И. В. № 6, 10
Петриченко О. И. № 6, 10
Петров С. В. № 1
Петушков В. Г. № 8
Пивторак В. А. № 8
Пивторак Н. И. № 8, 9
Письменный А. С. № 5, 10
Поддубинский А. И. № 10
Подола Н. В. № 4
Подъячев В. В. № 10
Позняков В. Д. № 3
Покляцкий А. Г. № 9
Полищук Е. П. № 9
Половецкий Е. В. № 3

Полухин В. В. № 9
 Полухин Вл. В. № 9
 Полухин Ю. В. № 9
 Поляков С. Г. № 2, 12
 Пономарев В. № 3
 Попиль Ю. С. № 9
 Порицкий П. В. № 7
 Постолатий Н. И. № 9
 Прилипко Е. А. № 11
 Прилуцкий В. П. № 7, 8
 Притула С. И. № 3
 Прокофьев А. С. № 9
 Пустовойт С. В. № 6

Ранцев А. А. № 12
 Розерт Р. № 4
 Розынка Г.Ф. № 8, 9
 Руденко П. М. № 4
 Рыбаков А. А. № 12
 Рыжов Р. Н. № 6, 7, 11
 Рымар С. В. № 7, 9
 Рябцев И. А. № 6, 8, 10

Сабадаш О.М. № 8
 Сабельников А. Ф. № 12

Савицкий А. М. № 1
 Савицкий В. В. № 8
 Савицкий М. М. № 1, 4
 Савченко В. С. № 5, 6, 9
 Самогугина Ю. С. № 5
 Сапрыкина Г. Ю. № 11
 Сидорец В. Н. № 6
 Синюк А. Г. № 10
 Сиора А. В. № 8
 Скорина Н. В. № 3
 Скосягин Ю. А. № 9
 Скотти А. № 3
 Скульский В. Ю. № 5, 6, 10, 11
 Соколов А. А. № 12
 Стрижак П. А. № 3
 Стрижиус Г. Н. № 11
 Сысоев В. К. № 5

Тараненко С. Д. № 1
 Таранова Т. Г. № 10, 11
 Тарарычкин И. А. № 4, 7
 Титаренко В. И. № 12
 Ткаченко А. Н. № 12
 Ткачук Г. И. № 8

Топчев Д. Д. № 2
 Трояновский В. Э. № 9
 Турчин Г. А. № 5, 12

Удовенко В. Г. № 9
 Ульшин В. А. № 2
 Упырь В. Н. № 6

Фадеев Ю. И. № 7
 Федорчук В. Е. № 9
 Фефелов В. И. № 12

Харламов М. Ю. № 2
 Хаскин В. Ю. № 2, 8, 10
 Хорунов В. Ф. № 5, 8, 10

Царюк А. К. № 10, 11
 Цыбулькин Г. А. № 10

Червякова Л. В. № 5, 6
 Чигарев В. В. № 10
 Чижская Т. Г. № 10

Шапран Р. В. № 10

Шаповалов Е. В. № 10
 Шаратов М. Г. № 3
 Швец В. И. № 1
 Швец Ю. В. № 1
 Шейко П. П. № 6
 Шекин С. И. № 12
 Шеленков Г. М. № 2, 3, 9
 Шелягин В. Д. № 2, 8, 10
 Шиганов И. Н. № 5
 Шилов С. С. № 5
 Шимановский Ю. С. № 6
 Шитова Л. Г. № 10
 Шишкова О. В. № 2
 Шленский П. С. № 8
 Шлепаков В. Н. № 4, 6, 9
 Шонин В. А. № 2

Юхимец П. С. № 11
 Ющенко К. А. № 1, 4–6, 9

Явдоцин И. Р. № 3, 4
 Яровицын А. В. № 4