



Сварочное производство

6 (871)
Июнь
2007

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и энергетики РФ,
Министерства образования и науки РФ,
Российской инженерной академии,
Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции

Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

Зам. гл. редактора Н. В. Посметная

В. К. Драгунов	О. Н. Севрюков
Е. А. Калашников	З. А. Сидлин
В. И. Лукин	Н. В. Смирнов
В. П. Лялякин	В. А. Судник
Г. А. Меньшиков	В. А. Фролов
О. Е. Островский	В. А. Хаванов
В. Н. Панин	Ф. А. Хромченко
В. В. Пешков	О. А. Цукуров
А. И. Рымкевич	И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус, Л. Т. Мартыненко,
Т. П. Маслик

Электронная верстка: И. С. Павлова
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов
Редактор-переводчик Е. О. Егорова
Редактор-обозреватель Ан. А. Суслов
Корректор М. Г. Джавадян

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 78,

ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").

Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

Журнал "Сварочное производство" переводится
на английский язык издательством Woodhead
Publishing Ltd. (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное
производство" возможна при обязательном пись-
менном согласовании с редакцией журнала.

При перепечатке материалов ссылка на журнал
"Сварочное производство" обязательна.

В случае обнаружения полиграфического брака ре-
дакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей ученых
степеней.

За содержание рекламных материалов ответствен-
ность несет рекламодатель.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

Каблов Е. Н. — ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ — 75 лет _____ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Хорев А. И. — Комплексное легирование и термическая обработка титановых
сплавов _____ 5
- Савинов А. В., Атаманюк В. И., Лапин И. Е., Лысак В. И., Маркин А. Б. — Влия-
ние состава защитного газа на тепловые условия работы неплавящихся элек-
тродов _____ 10
- Макаренко Н. Г., Вивденко Ю. Н., Резин С. А. — Особенности восстановления
высоконагруженных деталей с поверхностными дефектами _____ 15
- Алпеева Т. В., Емельянов В. М., Котельников А. А. — Операции при разработ-
ке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов _____ 19

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Хромченко Ф. А. — Техническая диагностика сварных соединений трубопрово-
дов. Ч. 1. Сварные соединения трубопроводов I категории _____ 22
- Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. — Управление процессом капле-
переноса при сварке в CO₂ длинной дугой _____ 28
- Мозок В. М., Лебедев В. А. — Ремонт крупногабаритных деталей с использова-
нием управляемой импульсной подачи электродной проволоки _____ 31
- Люшинский А. В., Ефанов А. А., Чуклинов С. В., Билык А. В., Константинов В. В.,
Соколов Ю. А., Просвирин В. П., Братчук С. Д. — Установка УДС-1 для диф-
фузионной сварки _____ 35
- Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Трухан М. Н., Финогентов О. Г., Ко-
раблев Н. В., Корольков П. М. — Объемная термическая обработка реактора
способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего про-
изводства _____ 39
- Марченко А. Е. — Процессный подход в системах менеджмента качества элек-
тродного производства по МС ISO серии 9000:2000 _____ 40

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Фатеев А. Е. — Предпринимательские возможности научных и производствен-
ных структур инновационной сферы в новой экономической среде _____ 47

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Ушакова Е. — Инновационные технологии фирмы "Скансоник" в области соеди-
нений лазером — новая глава в развитии лазерной техники _____ 51

- Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных
технологий _____ 54

- К 100-летию А. А. Алова _____ 57

БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке _____ 58
- Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства
и патенты СССР на изобретения в области сварки _____ 59
- Рефераты опубликованных статей _____ 62



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Energetics,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production

Editorial board:

V. A. Kazakov Editor-in-Chief
N. V. Posmetnaya Deputy Editor-in-Chief

V. K. Dragunov	O. N. Sevryukov
E. A. Kalashnikov	Z. A. Sidlin
V. I. Lukin	N. V. Smirnov
V. P. Lyalyakin	V. A. Sudnik
G. A. Menshikov	V. A. Frolov
O. E. Ostrovsky	V. A. Khavanov
V. N. Panin	F. A. Khromchenko
V. V. Peshkov	O. A. Tsukurov
A. I. Rymkevich	I. N. Shiganov

Editorial staff:

S. V. Bogus, L. T. Martynenko,
T. P. Maslik

Electron galley: *I. S. Pavlova*
Cover design: *E. S. Blagovidov*
Editor-translator *E. O. Egorova*
Editor-reviewer *An. A. Suslov*
Proof-reader *M. G. Javadyan*

Address of the editorial office:

Prospekt Mira, 106, Moscow.

For correspondence:

"Mashinostroenie" Publishers,
P.O.B. 78, Moscow, 129626, Russia
(for "Svarochnoe Proizvodstvo").
Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;
682 3856 — Editorial office.

Fax: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

<http://www.mashin.ru>

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.

Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at re-print is obligatory.

The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Woodhead Publishing Ltd." (Great Britain).

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.

Registration certificate ПИ N 77-7778.

Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Khorev A. I.** — Complex alloying and heat treatment of the titanium alloys _____ 5
- Savinov A. V., Atamanyuk V. I., Lapin I. Ye., Lysak V. I., Markin A. B.** — Shielding gas composition influence on the thermal conditions of non-consumable electrodes at arc welding _____ 10
- Makarenko N. G., Vivdenko Yu. N., Rezin S. A.** — Recondition of heavy-loaded surface blemished parts _____ 15
- Alpeyeva T. V., Yemelyanov V. M., Kotelnikov A. A.** — Displacement design steps for tubular robotized welding _____ 19

PRODUCTION SECTION

- Khromchenko F. A.** — Pipeline welded joints technical diagnostics. Part 1. Welded joints of the 1st class pipelines _____ 22
- Knyazkov A. F., Krampit N. Yu., Krampit A. G.** — Drop transfer process control at carbon-dioxide-shielded long-arc-welding _____ 28
- Mozok V. M., Lebedev V. A.** — Unique repair using electrode controlled pulse feeding _____ 31
- Lyushinsky A. V., Yefanov A. A., Chooklinov S. V., Bilyk A. V., Konstantinov V. V., Sokolov Yu. A., Prosvirin V. P., Bratchook S. D.** — The UDS-I diffusion welding installation _____ 35
- Babkin V. A., Lavrov A. I., Lovyrey P. B., Trukhan M. N., Finogentov O. G., Korabliov N. V., Korolkov P. M.** — A reactor 3D heat treatment by internal heat in the live plant renovation conditions _____ 39
- Marchenko A. Ye.** — Electrode manufacturing quality management system process approach according to MC ISO 9000:2000 _____ 40

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Fateyev A. Ye.** — Entrepreneurial resources of scientific and industrial structures of the innovation field in the economic circumstances _____ 47

FOREIGN EXPFRIENCE

- Ushakova Ye.** — The "Scansonic" innovation technologies in the field of laser joint is a new chapter in laser engineering development _____ 51

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 58
- RF patents** RF certificates for useful models, author's certificates. USSR patents for inventions in the field of welding _____ 59
- Abstracts** of the published articles _____ 63

28 июня 2007 г. исполняется 75 лет со дня основания Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов, учрежденного приказом Наркомата тяжелой промышленности СССР.

История ВИАМ — это история рождения и становления новой науки — авиационного материаловедения. Именно на основе фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в ВИАМе, создавались и осваивались в промышленности новые материалы, отвечающие высоким требованиям по прочности, ресурсу и надежности.

В предвоенные годы в институте была разработана авиационная броня, широко применявшаяся в боевой авиации во время Великой Отечественной войны. Самый массовый в истории авиации (более 36 000 самолетов) штурмовик Ил-2 — "летающий танк" — изготовлен из разработанной в ВИАМе брони.

Разработка мягких фибровых баков повышенной живучести, недешифруемых маскировочных лакокрасочных покрытий, высокожаростойких наплавочных сплавов для клапанов авиационных двигателей обеспечила резкое повышение мощности двигателя и энерговооруженности самолетов во время войны.

Маневренные передвигные бригады, сформированные из специалистов института, проводили ремонт самолетов и двигателей во фронтовых передвижных ремонтных мастерских.

Большой вклад внесли специалисты института в организацию в тылу новых производств, обеспечивших страну боевой техникой. Разработка смешанной комбинированной сварки высокопрочных сплавов существенно повысила эффективность производства боевой техники.

В 1945 г. за вклад в победу в ВОВ ВИАМ был награжден Орденом Ленина.

В послевоенные годы специалисты ВИАМа активно включились в разработку новых материалов, необходимых для создания реактивной военной и гражданской авиационной техники, изделий ракетного и космического назначения. Разработка принципиально новых никелевых литейных и деформируемых жаропрочных сплавов обеспечила создание реактивных газотурбинных двигателей.

Впервые в СССР в 1951 г. в ВИАМе была организована лаборатория титановых сплавов, что послужило началом их применения в нашей стране. Фюзеляж экспериментального ударно-разведывательного самолета Т-4 "Сотка" (ОКБ Сухого) выполнен из титана.

Разработанные высокопрочные алюминиевые сплавы обеспечили создание истребителя МиГ-17, а высокопрочные коррозионно-стойкие свариваемые стали — "стального" истребителя МиГ-25.

ВИАМ является пионером в области разработки для авиационной промышленности неметаллических, полимерных и композиционных материалов. Разработанные в институте материалы этого класса широко применяются в конструкциях самолетов Ан-124,

Ан-225, Ту-160, МиГ-29, Су-27, лопастей и планера вертолетов Ка-32, Ка-50, Ми-26, статорных и корпусных деталей газотурбинных двигателей, космических и ракетных комплексов, искусственных спутников Земли и других изделий народного хозяйства.

В 1982 г. за заслуги в создании и обеспечении материалами новых образцов техники ВИАМ был награжден Орденом Октябрьской революции.

В середине 80-х годов сотрудниками института была успешно решена проблема существенного увеличения ресурса рабочих лопаток авиационных турбин двигателей III и IV поколений. Двигателями с повышенными ресурсными характеристиками были оснащены самолеты Ту-134, Ту-154, Ил-62М, Ил-76, Ил-86, МиГ-25, МиГ-29, МиГ-31, Су-24, Су-27, Ту-22М, Ан-22, Як-141, Ил-114, а также газотурбинные установки ГТН-16, ГТН-25, НК-12СТ для газоперекачивающих агрегатов.

Новое поколение монокристаллических сплавов, технология и оборудование для литья турбинных лопаток методом высокоградиентной направленной кристаллизации обеспечили производство двигателей для самолетов МиГ-29, Су-27, МиГ-31, Су-30, Ил-86, Ту-204, Ил-96-300, Ан-70 и др.

На основе разработанных в ВИАМе уникальных материалов (теплозащитных, углерод-углеродных композитов, лаков, клеев и др.) создан многоразовый космический корабль "Буран".

ВИАМ осуществил широкое внедрение полимерных композиционных материалов в самолето- и вертолетостроение: Ту-204, Ту-334, Ил-96-300, Ту-334, Ил-114, Ка-62 и др. Впервые в мировой практике крыло обратной стреловидности самолета С-37 целиком выполнено из адаптирующего углепластика, разработанного в институте.

Разработка более 100 пожаробезопасных материалов для интерьера пассажирских самолетов и вертолетов исключила случаи их возгорания.

В 2002 г., в год семидесятилетия ВИАМа, указом Президента РФ коллективу ВИАМ объявлена благодарность за вклад в разработку и создание материалов для авиационно-космической техники.

Сегодня ВИАМ — уникальный материаловедческий центр, не имеющий аналогов в мире по разнообразию и сложности решаемых задач в области разработки материалов для авиационной, ракетной и космической техники, а также для наиболее ответственных отраслей машиностроения.

За последние годы ВИАМ выполнил большой объем работ по созданию научно-технического задела в области материалов и технологий для производства двигателей и самолетов V поколения, а также пассажирских самолетов.

Разработаны новые оригинальные решения и перспективные исследования ранее не применявшихся в промышленности металлов и неметаллических материалов, многие из которых синтезированы

впервые. Создано более 2065 марок материалов для авиационной, ракетной и космической техники, а также для наиболее ответственных отраслей машиностроения. Следует подчеркнуть, 96 % применяемых в авиационной технике материалов разработано в ВИАМе.

ВИАМ является ведущей научной организацией по шести приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в России и по девяти технологиям, утвержденным Президентом РФ.

Постановлением Правительства РФ от 29 марта 1994 г. институту присвоен статус Государственного научного центра, который успешно подтверждался в 1997, 2000, 2002, 2004 и 2007 гг. По итогам Всероссийского конкурса "1000 лучших предприятий и организаций России" ВИАМ награждался дипломами победителя в 2000, 2003, 2004 и 2005 гг.

Главным звеном организационной структуры института является научная лаборатория. В настоящее время 35 лабораторий института совместно с производственными цехами работают по 16 научным направлениям — литейные и деформируемые жаропрочные и интерметаллидные сплавы; стали; жаростойкие покрытия; легкие и суперлегкие сплавы; композиционные и неметаллические материалы различного функционального назначения.

Испытательный центр ВИАМа осуществляет уникальные исследования и комплексные испытания материалов различного класса и широкого диапазона применения, аккредитован Госстандартом России, Авиарегистром МАК, фирмой "General Electric Aircraft Engines" (США), официально признан зарубежными научными центрами — "British Aerospace" (Великобритания), "Airbus Industry" и "Snecma" (Франция).

ВИАМ активно занимается инновационной деятельностью. Разработанные в институте многофункциональные материалы, технологические процессы и установки защищены более 5000 патентами РФ и авторскими свидетельствами СССР и нашли применение во многих отраслях промышленности (ежегодно осваивается более 130 разработок). Заключение более 150 лицензионных договоров и контрактов с отечественными и зарубежными предприятиями на передачу прав использования патентов РФ и ноу-хау. В период 2003—2006 гг. 70 инновационных проектов победили на отечественных конкурсах и тендерах и пять — на международных.

Творческую деятельность коллектива ВИАМ отражают свыше 100 монографий, 350 справочников, 3000 действующих нормативно-технических документов. ВИАМ также поставляет наукоемкую продукцию в виде материалов, технологических установок и приборов для авиации и других отраслей машиностроения.

В институте работают центры подготовки научных и инженерных кадров: Университет подготовки специалистов по материаловедению и технологиям — совместно с МАТИ—РГТУ им. К. Э. Циолковского; Учебно-научный центр подготовки специалистов по материаловедению и химической технологии для авиакосмической промышленности — совместно с

РХТУ им. Д. И. Менделеева; отделение вечернего Metallургического института; Межотраслевой научный центр оборонных отраслей промышленности "АТАКС", занимающийся повышением квалификации инженерно-технических работников по новым материалам, методам их испытания и контроля.

Подготовка кадров высшей квалификации в институте осуществляется в аспирантуре по специальностям "Материаловедение в машиностроении" и "Металловедение и термическая обработка металлов", работают диссертационный Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, Совет молодых ученых и специалистов.

ВИАМ всегда обладал мощным научным потенциалом и высококвалифицированными кадрами. В ВИАМе работали 16 академиков и членов-корреспондентов АН СССР (РАН). В институте созданы 12 авторитетных материаловедческих научных школ, имеющих международное признание. Ученый совет ВИАМ дал путевку в науку 205 докторам и 770 кандидатам наук. Семь ученых института были избраны в РАН. В настоящее время в ВИАМе трудятся более 1500 сотрудников, из них два академика РАН: Е. Н. Каблов (генеральный директор института) и И. Н. Фридляндер (советник генерального директора), 32 доктора и 120 кандидатов наук.

Трудовой подвиг специалистов института отмечен высокими государственными наградами СССР и РФ, более 600 сотрудников награждены орденами и медалями.

За большие заслуги в развитии авиационного материаловедения и создания современных летательных аппаратов сотрудникам ВИАМ присуждены 13 Ленинских премий, 13 Государственных премий РФ, 66 Государственных премий СССР, 34 премии Правительства РФ, 42 премии Совета Министров СССР.

ВИАМ плодотворно сотрудничает с головными институтами авиационной промышленности, институтами РАН, авиационными заводами, конструкторскими бюро, металлургическими акционерными компаниями, учебными университетами и институтами и др.

Институт сохраняет и развивает международные научные связи с предприятиями СНГ и более чем 30 ведущими мировыми фирмами. ВИАМ как равноправный партнер участвует в проектах, финансируемых Европейской комиссией по авиации в рамках 6-й Европейской программы исследований и технологий аэрокосмической области. Постоянными партнерами ВИАМ по внешнеэкономической деятельности являются "Airbus SAS" (Франция), "Snecma" (Франция), "Boeing" (США), ВИАМ (Китай), GE AE (США), "AVIO" (Италия), HAL (Индия), Берлинский университет (Германия), "Хромалой" (Голландия), "Свидник" (Польша), Международный тропический исследовательский центр, Вьетнамский авиационный институт, ИЭС им. Е. О. Патона (Украина) и др.

*Генеральный директор ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ,
академик РАН
Е. Н. Каблов*

Комплексное легирование и термическая обработка титановых сплавов

Введение

Современные конструкционные титановые сплавы и присадочные материалы обеспечивают высокую надежность сварных конструкций¹.

В перспективных летательных аппаратах в большом объеме будут применяться титановые сплавы с уровнем прочности 1100 МПа и удельной прочностью $\sigma_B/\gamma \geq 24$ км, имеющие преимущество по весовой эффективности перед алюминиевыми сплавами и сталями. Сварные конструкции будут доминировать, так как они более технологичны при изготовлении и обеспечивают достижение более высоких значений коэффициента использования металла. Поэтому уровень механических свойств сварных соединений является главным фактором, определяющим перспективу применения конструкционного титанового сплава [1—3].

Требования, предъявляемые к титановым сплавам

К современным конструкционным титановым сплавам предъявляются следующие требования:

- обеспечение предела прочности полуфабрикатов (листов, плит, поковок, штамповок и др.) не менее 1100 МПа;
- обеспечение предела прочности сварного соединения $\sigma_{в.с.с} \geq 0,9\sigma_{в.о.м}$ ($\sigma_{в.с.с} \geq 990$ МПа);
- обеспечение удельной прочности $\sigma_B/\gamma \geq 24$ км (условная единица, отражающая длину нити, которая выдерживает свою массу без разрушения);
- относительно невысокая стоимость, так как стоимость материалов является одной из главных составляющих стоимости изделия в целом;
- универсальность в плане изготовления всех видов полуфабрикатов и создания всех типов (сварных, паяных и монолитных) конструкций;

¹ За работу по созданию более двадцати конструкционных свариваемых титановых сплавов и их эффективное применение в более семидесяти космических аппаратах, самолетах и ракетах коллективу авторов вручены медали и дипломы лауреатов премии Правительства РФ (руководитель работ — профессор, д-р техн. наук А. И. Хорев).

- обеспеченность сырьевыми ресурсами страны и возможность серийного крупномасштабного производства;
- хорошая свариваемость и технологичность при сварке;
- технологическая пластичность и возможность получения деталей требуемой формы при горячей, изотермической или холодной штамповке с последующей термофиксацией в штампах или специальных приспособлениях;
- технологичность при термической обработке (энергоёмкость, трудоёмкость, степень сложности процесса);
- технологичность при механической обработке резанием.

Характеристика удельной прочности является главной, определяющей весовую эффективность и снижение массы конструкций.

Для достижения заданной весовой эффективности сварной конструкции можно идти в двух направлениях:

- повышения прочности основного материала при $\sigma_{в.с.с}/\sigma_{в.о.м} = 0,9$;
- повышения значения $\sigma_{в.с.с}/\sigma_{в.о.м}$.

При удельной прочности 24 км удельная прочность сварного соединения должна составлять 0,9 от 24 км, что соответствует 21,6 км.

Если увеличить соотношение прочностей сварного соединения и основного металла от 0,9 до 0,95 путем усовершенствования сварки, то требуемая задача может быть решена при удельной прочности основного материала $21,6/0,95 = 22,73$ км. Эта прочность основного материала может быть успешно достигнута на сплаве типа BT23 (BT23M) в отожженном состоянии и обеспечить заданную конструкторами весовую эффективность.

Необходимо обратить внимание конструкторов и расчетчиков прочности на достижение конечной цели — весовой эффективности и надежности, так как плотность конструкционных титановых сплавов может изменяться от 4500 до 6200 кг/м³, отношение $\sigma_{в.с.с}/\sigma_{в.о.м}$ — от 0,7 до 0,95.

Сплавы с повышенной плотностью и пониженной прочностью сварных соединений для достижения заданной цели необходимо подвергать упрочнению при термической обработке до более высокой прочности основного материала, что, как правило, сопровождается снижением надежности в работе.

Ниже представлены результаты исследований с оценкой механических и технологических свойств, плотности сплавов, а также экономических аспектов рассматриваемых задач [3—7].

Исследование влияния комплексного легирования на механические свойства сварных соединений и основного металла титановых сплавов

Исследовали листы толщиной 1,5 мм комплекснолегированных титановых сплавов системы Ti—Al—Mo—V—Cr—Fe. Основным материал и сварные соединения подвергали термической обработке по различным режимам [3, 6, 7].

1. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—3Al—0,8Mo—2V—0,55Cr—0,4Fe, содержащий β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 4 % молибдена (закаливается на мартенситную α' -фазу пониженной пластичности), с температурой полного полиморфного превращения $T_{пп} = 910^\circ\text{C}$, плотностью 4550 кг/м^3 . После закалки с ($T_{пп} - 50$) $^\circ\text{C}$ + старение (500 $^\circ\text{C}$, 10 ч) сплав приобретает следующие механические свойства: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1118\text{ МПа}$ (пластичность, оцениваемая углом изгиба при радиусегиба, равном толщине листа, $\angle_{\text{о.м}} = 50^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 25\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1020\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 45^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 22,9\text{ км}$.

2. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—6Al—0,8Mo—2V—0,55Cr—0,4Fe, содержащий β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 4 % молибдена, как и предыдущий сплав, но содержащий повышенное количество алюминия (6 %), что приводит к повышению температуры полиморфного превращения до 970°C (на 60°C) и снижению плотности до 4495 кг/м^3 (на $5,5\text{ кг/м}^3$). Сплав имеет следующие механические свойства после отжига: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1117\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 60^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 26,7\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1098\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 58^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 24,9\text{ км}$.

3. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—3Al—1,3Mo—2,7V—0,8Cr—0,6Fe, содержащий β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 6 % молибдена, с температурой полного полиморфного превращения $T_{пп} = 880^\circ\text{C}$, плотностью 4600 кг/м^3 , имеет следующие механические свойства после закалки с ($T_{пп} - 50$) $^\circ\text{C}$ + старение (550 $^\circ\text{C}$, 10 ч): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1128\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 65^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 25\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1118\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 55^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 24,7\text{ км}$.

4. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—6Al—1,3Mo—2,7V—0,8Cr—0,6Fe, содержащий β -стабилизирующие элементы, как и в сплаве № 3 в количестве, эквивалентном 6 % молибдена, с температурой полного полиморфного превращения $T_{пп} = 960^\circ\text{C}$ (дополнитель-

ное на 3 % содержание α -стабилизатора алюминия повышает температуру превращения на 60°C), плотностью 4545 кг/м^3 (на 55 кг/м^3 ниже, чем в предыдущем сплаве за счет содержания 3 % Al с плотностью 2700 кг/м^3). Механические свойства после отжига при ($T_{пп} - 150$) $^\circ\text{C}$: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1236\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 60^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27,7\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1157\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 45^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 26\text{ км}$. Данный сплав удовлетворяет представленным требованиям по механическим свойствам основного материала и сварных соединений, однако присутствие в сплаве 6 % алюминия создает трудности при прокатке листов и уменьшает технологическую пластичность по углугиба основного материала с 74 до 60° .

5. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe, содержащий β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 7 % молибдена, имеет температуру полного полиморфного превращения $T_{пп} = 880^\circ\text{C}$, плотность 4610 кг/м^3 (увеличение в сплаве содержания Al на 3 % снизит плотность до 4540 кг/м^3). При закалке из β -области и высоких температурах ($\alpha + \beta$)-области в сплаве фиксируется пластичная α' -фаза. Механические свойства сплава после отжига при ($T_{пп} - 150$) $^\circ\text{C}$ (730°C): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1138\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 86^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 25,2\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1059\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 80^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 23,5\text{ км}$.

Сплав обладает по сравнению с предыдущими сплавами лучшим сочетанием прочности и пластичности основного материала и сварных соединений листов в отожженном состоянии. Так, после закалки с ($T_{пп} - 50$) $^\circ\text{C}$ (830°C) + старение (550 $^\circ\text{C}$, 10 ч): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1226\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 56^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1157\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 54^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 25,6\text{ км}$.

Сплав отличается более высоким уровнем свойств по сравнению с предыдущими сплавами.

6. Сплав ($\alpha + \beta$)-Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—1,1Cr—0,6Fe содержит β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 8 % молибдена за счет увеличения по сравнению с предыдущим сплавом № 5 эвтектоидообразующих β -стабилизаторов: хрома — на 0,3 % и железа — на 0,15 %; температура полного полиморфного превращения сплава снизилась до $T_{пп} = 870^\circ\text{C}$, плотность сплава — 4650 кг/м^3 . Сплав имеет следующие механические свойства после закалки с ($T_{пп} - 50$) $^\circ\text{C}$ (820°C) + старение (550 $^\circ\text{C}$, 10 ч): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1206\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 49^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 26,5\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1138\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 37^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 25,7\text{ км}$.

Сплав обладает высокими механическими свойствами основного материала и сварных соединений, но пластичность его несколько ниже, чем у предыдущего сплава.

При легировании β -стабилизаторами в количестве, эквивалентном 8 % Mo, эффективнее использовать большее количество изоморфных элементов (Mo = 2 %, V = 4,5 %) и меньшее эвтектоидообразующих элементов (Cr = 1,0 %, Fe = 0,5 %).

7. Сплав $(\alpha + \beta)$ -Ti—6Al—1,8Mo—3,4V—1,1Cr—0,75Fe, содержащий β -стабилизаторы, как и предыдущий сплав, в количестве, эквивалентном 8 % молибдена, но на 3 % больше алюминия. Температура полного полиморфного превращения $T_{пп} = 940^\circ\text{C}$, плотность 4595 кг/м^3 .

Сплав в отожженном при $(T_{пп} - 150)^\circ\text{C}$ (810°C) состоянии имеет следующие механические свойства основного материала и сварных соединений: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1255\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 56^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27,9\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1157\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 48^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 25,7\text{ км}$. Сплав отличается высокой технологической пластичностью основного материала (56°C) и сварного соединения (54°C), а также высокой удельной прочностью основного материала и сварных соединений, что позволит снизить массу конструкции и повысить ресурсные характеристики.

Сплав с содержанием алюминия 6 % предпочтительнее использовать для изготовления поковок, штамповок, плит, так как к таким полуфабрикатам не предъявляются высокие требования по технологической пластичности, которые обычно предъявляются к листам, в которых содержание алюминия желательно ограничивать 5,0—5,5 %.

8. Сплав $(\alpha + \beta)$ -Ti—6Al—2,8Mo—4,8V—1,1Cr—0,75Fe, содержащий β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 10 % молибдена. Это последний исследованный $(\alpha + \beta)$ -сплав докритической концентрации ($C_{кр}$ = эквиваленту 11 % Mo). Сплав имеет температуру полного полиморфного превращения $T_{пп} = 910^\circ\text{C}$, плотность 4680 кг/м^3 . В отожженном при $(T_{пп} - 150)^\circ\text{C}$ состоянии: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1275\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 58^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27,8\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1079\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 42^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 23,5\text{ км}$.

9. Сплав β -Ti—3Al—3,8Mo—6,2V—1,4Cr—0,9Fe содержит β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 13 % молибдена. Это первый сплав за критической концентрации, закаливается с температуры β -области на $(\beta + \omega)$ -фазы. На ранней стадии низкотемпературного старения в сплаве также образуется хрупкая ω -фаза. Сплав имеет сравнительно высокую плотность $\gamma = 4820\text{ кг/м}^3$ и пониженную температуру полиморфного превращения $T_{пп} = 820^\circ\text{C}$. Механические свойства после отжига при $(T_{пп} - 150)^\circ\text{C}$ (670°C): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1098\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 30^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 23,2\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1020\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 36^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 21,6\text{ км}$; после закалки с $(T_{пп} - 50)^\circ\text{C}$ + старение (550°C , 10 ч): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1294\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 37^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27,4\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1157\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 22^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 24,5\text{ км}$.

Сравнение сварных соединений β -сплава № 9 и $(\alpha + \beta)$ -сплава № 5 в отожженном состоянии показало, что у сплава № 5 удельная прочность выше на 2 км и пластичность по углу гiba больше в 2 раза.

Аналогичное сравнение β - и $(\alpha + \beta)$ -сплавов в закаленном и состаренном при 550°C в течение 10 ч состоянии также показало преимущество $(\alpha + \beta)$ -сплава

как по удельной прочности сварного соединения ($(\alpha + \beta)$ — $25,6\text{ км}$, β — $24,5\text{ км}$), так и по пластичности ($(\alpha + \beta)$ — 54° , β — 22°) [3, 7] (рис. 1).

10. Сплав β -Ti—3Al—3,8Mo—6,2V—2,3Cr—1,4Fe (типа BT19) содержит β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 16 % молибдена за счет большего количества хрома и железа, температура полиморфного превращения $T_{пп} = 810^\circ\text{C}$, плотность $\gamma = 4870\text{ кг/м}^3$. Сплав при закалке из β -области закаливается на пластичную β -фазу, которая обеспечивает ему высокую технологическую пластичность при формообразовании. В сплаве не образуется ω -фаза в процессе охлаждения или нагрева при низких температурах. Механические свойства:

— после отжига при $(T_{пп} - 150)^\circ\text{C}$ (660°C , низкотемпературный нагрев): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1304\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 30^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 27,3\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1177\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 36^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 24,7\text{ км}$;

— после закалки с $(T_{пп} - 50)^\circ\text{C}$ (760°C , высокотемпературный нагрев) снижаются прочностные показатели: $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1138\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 38^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 23,8\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1098\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 39^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 23\text{ км}$;

— после закалки с $(T_{пп} - 50)^\circ\text{C}$ (760°C) + старение (550°C , 10 ч): $\sigma_{\text{в.о.м}} = 1422\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{о.м}} = 66^\circ$), $\sigma_{\text{в.о.м}}/\gamma = 29,8\text{ км}$, $\sigma_{\text{в.с.с}} = 1098\text{ МПа}$ ($\angle_{\text{с.с}} = 10^\circ$), $\sigma_{\text{в.с.с}}/\gamma = 23\text{ км}$.

Сравнение β -сплава № 10 и $(\alpha + \beta)$ -сплава № 5 в отожженном состоянии при удельной прочности сварного соединения 23 км показало, что пластичность $(\alpha + \beta)$ -сплава ($\angle_{\text{с.с}} = 80^\circ$) выше, чем β -сплава ($\angle_{\text{с.с}} = 39^\circ$).

В термически упрочненном состоянии (старение при 550°C в течение 10 ч) при большей на $1,1\text{ км}$

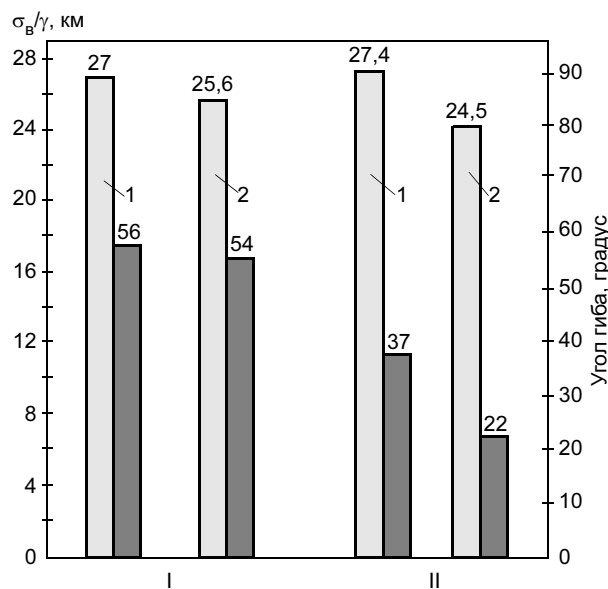


Рис. 1. Удельная прочность (светлые столбцы) и пластичность (темные) $(\alpha + \beta)$ -сплава (№ 5) Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe (I) и β -сплава (№ 9) Ti—3Al—3,8Mo—6,2V—1,4Cr—0,9Fe (II): 1 — основной металл; 2 — сварное соединение

удельной прочности ($\alpha + \beta$)-сплава пластичность его сварного соединения в 2,5 раза выше, чем у β -сплава.

С увеличением легирования в сплавах, охлажденных с высоких температур после окончания деформации полуфабрикатов, фиксируются α' , α'' , ($\beta + \omega$)- и β -фазы (см. рис. 1). У сплавов, в которых наряду с β -фазой фиксируется хрупкая ω -фаза, возможно растрескивание полуфабриката в процессе охлаждения, что потребовало принятия специальных мер при изготовлении экспериментальных листов. Сплавы, находящиеся в области фиксации пластичной α'' -фазы (типа BT23), сохраняют высокую пластичность независимо от условий охлаждения, что очень важно при изготовлении полуфабрикатов и деталей.

На диаграмме состояния титан— β -стабилизирующие элементы (рис. 2) приведены кривые изменения механических свойств сварных соединений в зависимости от количества β -стабилизирующих элементов в сплавах с содержанием алюминия 3 %.

В термически упрочненном состоянии пластичность сварных соединений, оцениваемая угломгиба при радиусегиба, равном толщине листа ($r = t$), с увеличением содержания β -стабилизирующих элементов непрерывно снижается, а предел прочности сварного соединения проходит через максимум, соответствующий сплаву Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe (типа BT23). Этот сплав при высокой прочности сварного соединения, равной

1380 МПа, обладает удовлетворительной пластичностью металла шва и зоны термического влияния, оцениваемой по углугиба 40°.

С увеличением количества β -стабилизирующих элементов (Mo + V + Cr + Fe) в сплавах:

- стоимость шихтовых материалов для выплавки слитков при увеличении содержания β -стабилизаторов на величину, эквивалентную 1 % молибдена, возрастает на 5 %;
- увеличивается неоднородность химического состава слитка, которая возрастает в большей мере у слитков большего диаметра;
- снижается температура $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения и уменьшается технологичность деформации, особенно в $\alpha + \beta$ -области;
- повышается плотность сплава;
- увеличивается химическая неоднородность в металле шва сварного соединения, особенно при сварке больших толщин;
- увеличивается энергоёмкость и трудоёмкость термической обработки из-за повышения стабильности β -фазы, требующей более сложной и длительной термической обработки;
- ухудшается обрабатываемость резанием из-за увеличения содержания вязкой β -фазы и налипания сплава на режущую кромку;
- увеличивается дисперсия механических свойств, обусловленная химической неоднородностью и неоднородностью распада метастабильных фаз;
- увеличивается трудоёмкость изготовления деталей.

Теоретические аспекты комплексного легирования

Установлена эффективность комплексного легирования сплавов с целью большего упрочнения α - и β -твердых растворов и уменьшения разности в их прочности для достижения более однородного пластического деформирования при нагружении и более полной реализации прочности α - и β -фаз [1].

Показано, что при близкой прочности α - и β -твердых растворов фрагменты структуры в виде острых пластин α -фаз перестают быть внутренними концентраторами напряжения, приводящими к снижению эксплуатационных свойств, особенно это важно в том случае, когда сплав работает при наличии внешних концентраторов напряжения.

Рекомендовано легирование β -стабилизирующими элементами противоположного действия при дендритной ликвации с целью обеспечения постоянства суммарного количества β -стабилизирующих элементов в разных зонах, более однородного упрочнения пересыщенного твердого раствора, большей равномерности распределения и улучшения морфологии фазовых составляющих.

Одновременное легирование элементами — молибденом с коэффициентом распределения при

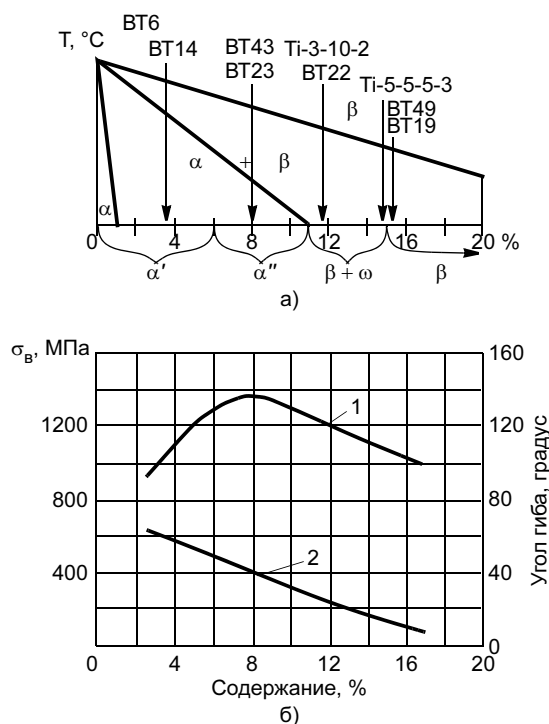


Рис. 2. Схема диаграммы состояния (а) и зависимость предела прочности (1) и технологической пластичности (2) сварного соединения от содержания β -стабилизаторов, эквивалентного содержанию молибдена (термически упрочненное состояние) (б)

дендритной ликвации $K_{Mo} > 1$ (большая концентрация по осям дендрита), хромом или железом с коэффициентами $K_{Cr} < 1$ и $K_{Fe} < 1$ и ванадием, который практически однородно распределяется ($K_V \sim 1$) — обеспечивает более однородное суммарное количество β -стабилизирующих элементов в металле шва сварного соединения, а также в металле литой структуры слитка, которая наследственно влияет на однородность химического состава полуфабрикатов.

При комплексном легировании целесообразно соблюдать соотношение изоморфных и эвтектоидообразующих элементов, выраженное в эквивалентных величинах от 2:1 до 1:1.

Такое соотношение обеспечивает подавление изоморфными элементами (Mo, V) эвтектоидного распада, особенно в металле сварного соединения, обусловленного введением эвтектоидообразующих элементов (Cr, Fe) в сплав.

Разработанная теория комплексного легирования конструктивных титановых сплавов [1] и теория легирования присадочных материалов [2] для сварки α -, $(\alpha + \beta)$ - и β -титановых сплавов обеспечили развитие современных титановых сплавов и высокую весовую эффективность конструкций летательных аппаратов.

На основе разработанной теории комплексного легирования были созданы $\alpha + \beta$ - (BT23) и β - (BT19) титановые сплавы [1].

Сплав BT23 системы Ti—Al—Mo—V—Cr—Fe содержит β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 7—8 % Mo, сплав BT19 системы Ti—Al—Mo—V—Cr—Zr — 14—17 % Mo [1]. Значительно позже (через 30 лет) был предложен сплав Ti—5—5—5—3 (практически одинакового состава² со сплавом BT19), содержащий β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 13,8—17,0 % Mo. Сплавы содержат одинаковое количество циркония (1 %), оптимальное, как установлено, для всех β -титановых сплавов, выполняющего функцию модификатора и раскислителя приграничных объемов), одинаковое количество молибдена и ванадия [1].

Комплекснолегированные β -сплавы BT19 и Ti—5—5—5—3 по сравнению с β -сплавом Ti—3—10—2 (Ti—3Al—10V—2Fe, США) обладают более высокими механическими свойствами при большей их стабильности. Однако лучшие комплекснолегированные β -сплавы по механическим, технологическим и экономическим характеристикам значительно уступают $\alpha + \beta$ -титановому сплаву BT23. Сплав BT23 по сравнению с β -сплавами дешевле на 30 %, имеет меньшую плотность, лучшую обрабатываемость давлением и резанием, менее энергоемок при производстве полуфабрикатов и из-

делий, обладает универсальной применимостью в монолитных, сварных и паяных конструкциях.

Практическая реализация теории комплексного легирования³

Наиболее перспективный комплекснолегированный ($\alpha + \beta$)-сплав BT23 и разработанные технологические процессы успешно применены при создании ряда современных конструкций авиакосмической техники (рис. 3).

Общая масса деталей, изготовленных из сплава BT23 после ВТМО, в ракетно-космическом комплексе "Энергия-Буран" — 6 т, в "Энергии" — 14 т (шпангоуты, балки, лонжероны и стыковочные узлы).

В космическом корабле "Астрон" шаровые баллоны изготовлены из сплава BT23 путем сверхпластической деформации, сварки и термоупрочнения ($\sigma_B > 1250$ МПа).

Из сплава BT23 в гидросамолете Бе-200 изготовлены гидроаккумуляторы и силовые детали.

Детали шасси в спортивном самолете Су-29 (Су-26, Су-31, Су-31М, Су-31СК, Як-55) выполнены из сплава BT23 с применением высокоскоростной закалки и старения ($\sigma_B \geq 1250$ МПа).

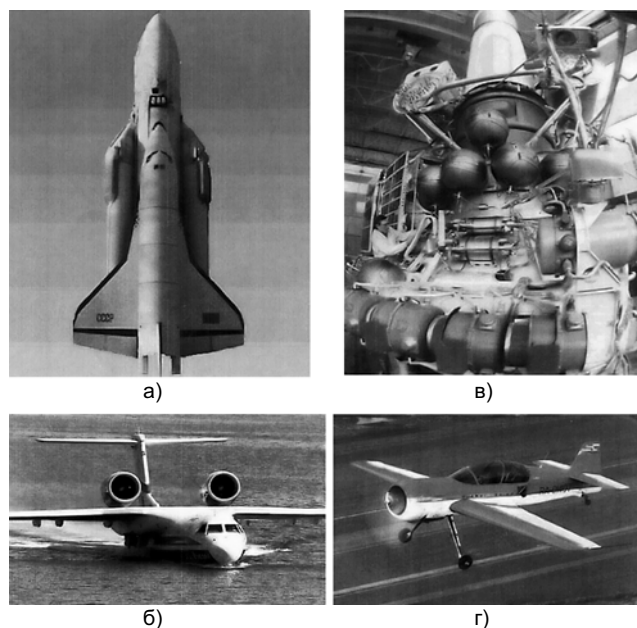


Рис. 3. Конструкции авиакосмической техники, содержащие детали из комплекснолегированного ($\alpha + \beta$)-титанового сплава BT23: а — ракетно-космический комплекс "Энергия-Буран"; б — космический корабль "Астрон"; в — гидросамолет Бе-200; г — спортивный самолет Су-29

² Патент 2169204, 2169782 (РФ).

³ Автором работы разработаны 24 титановых сплава и 227 технологических процессов, опубликованы 4 монографии, более 200 статей, получены 326 патентов авторских свидетельств на изобретение, более 200 из которых применено в промышленности, 74 вошло в состав лицензий, проданных за рубеж.

Комплекснолегированный β -сплав ВТ19, имеющий значительные преимущества по механическим свойствам перед другими β -сплавами, прошел успешные испытания при разработке цилиндрических емкостей, работающих под внутренним давлением, и в деталях типа тарельчатых пружин.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны теоретические аспекты теории легирования и сформулированы основные принципы комплексного легирования титановых сплавов. На основе разработанной теории комплексного легирования созданы $\alpha + \beta$ -(ВТ23) и β -(ВТ19), (ВТ 19-1) титановые сплавы.

2. Комплексное легирование одновременно четырьмя β -стабилизаторами (Mo + V + Cr + Fe) обеспечивает получение более высокого уровня механических и технологических свойств ($\alpha + \beta$)- и β -сплавов по сравнению с легированием одним или двумя β -стабилизаторами при их относительно невысокой стоимости за счет использования хрома и железа.

3. Сварные соединения β -сплавов по свойствам существенно уступают ($\alpha + \beta$)-сплавам, особенно в термически упрочненном состоянии.

4. Оптимальные механические свойства основного материала и сварных соединений имеет ($\alpha + \beta$)-сплав Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe, содержащий β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 7 % молибдена.

5. В сплаве для поковок, штамповок и плит, для изготовления которых не требуется повышенная технологическая пластичность в отличие от листов, содержание алюминия целесообразно увеличить до 6 %.

6. На комплекснолегированном ($\alpha + \beta$)-сплаве Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe (типа ВТ23) в отожженном состоянии получен уровень предела прочности основного материала 1138 МПа, в термически упрочненном состоянии — 1226 МПа.

7. По сравнению с β -сплавом, содержащим β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 13 % молибдена, $\alpha + \beta$ -сплав, содержащий β -стабилизаторы, эквивалентные 7 % Mo (типа ВТ23), имеет на 2 км большую удельную прочность и в 2,5 раза большую пластичность, а также на 30 % дешевле (по шихте).

8. Для β -сплавов процесс обточки слитков и строжки слябов более трудоемкий, чем для ($\alpha + \beta$)-сплавов.

9. Комплекснолегированный ($\alpha + \beta$)-сплав Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe отвечает всем требованиям, предъявляемым к современным конструкционным титановым сплавам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорев А. И. Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1979. 228 с.
2. Хорев М. А. Структурно-фазовые состояния и надежность сварных соединений титановых сплавов. М.: НПО "ВИАМ", 1991. 107 с.
3. Хорев А. И., Хорев М. А. Современные титановые сплавы в авиакосмической технике // Авиакосмическая техника и технология. 1997. № 1. С. 15—22.
4. Хорев М. А. Упрочнение сварных соединений титановых сплавов, полученных электронно-лучевой сваркой // Митом. 1985. № 1. С. 52—54.
5. Хорев М. А. Дендритная ликвация в металле шва сварных соединений титановых сплавов // Сварочное производство. 1989. № 5. С. 37—39.
6. Металловедение титана и его сплавов / С. П. Белов, А. И. Хорев, М. А. Хорев и др. М.: Металлургия, 1992. 352 с.
7. Хорев А. И., Хорев М. А. Титановые сплавы и технологические процессы для космической техники и народного хозяйства // Титан. 1993. № 4. С. 70—75.

УДК 621.791.75.037

**А. В. САВИНОВ, канд. техн. наук, В. И. АТАМАНЮК, инж.,
И. Е. ЛАПИН, д-р техн. наук, В. И. ЛЫСАК, д-р техн. наук, А. Б. МАРКИН, инж.
Волгоградский государственный технический университет**

Влияние состава защитного газа на тепловые условия работы неплавящихся электродов

В последние годы в качестве защитных газов при сварке неплавящимся электродом широко применяют аргоно-гелиевые смеси с различными соотношениями концентраций. Использование таких смесей повышает не только качество получаемых сварных соединений, но и производительность процесса сварки. Очевидно, что изменение состава смеси приводит к изменению стойкости и тепловых

условий работы неплавящихся электродов. Особенности нагрева электродов при сварке дугой постоянного тока в аргоне подробно рассмотрены в работах [1—5], в гелии — [6, 7]. В то же время данные о влиянии соотношения концентраций аргона и гелия в защитном газе и конструкции рабочего участка вольфрамовых электродов на тепловые усло-

вия их работы в научно-технической литературе практически отсутствуют.

В данной работе исследовали тепловые условия работы неплавящихся электродов, анализируя распределение температуры по длине их вылета. При этом температуру на рабочем участке измеряли при помощи оптического пирометра, а для цилиндрической части корпуса выполняли расчет по известной методике [8, 9]. О стойкости электродов судили по величине критического тока $I_{кр}$, при котором наблюдалось быстро прогрессирующее изменение формы рабочего участка, или, при определенных условиях, — локальное разрушение в средней части вылета.

Исследования показали, что характер разрушения электрода зависит от особенностей его нагрева. Если с увеличением тока температура на рабочем участке достигает значения $T_{пл}$ быстрее, чем на вылете, то происходит его оплавление, если наоборот — разрушение наступает за счет локального расплавления электродного стержня на вылете. Интенсивность увеличения температуры на рабочем участке и вылете электрода зависит от его конструкции, материала и состава защитного газа.

При сварке на режимах, близких к критическим, распределение температуры по длине вылета электродов с конической заточкой при различных соотношениях компонентов газовой смеси имеет выраженный минимум, расположенный в зоне основания конуса (рис. 1) и обусловленный интенсивным "электронным охлаждением" катода [3, 8]. Наличие конической заточки приводит к сжатию ка-

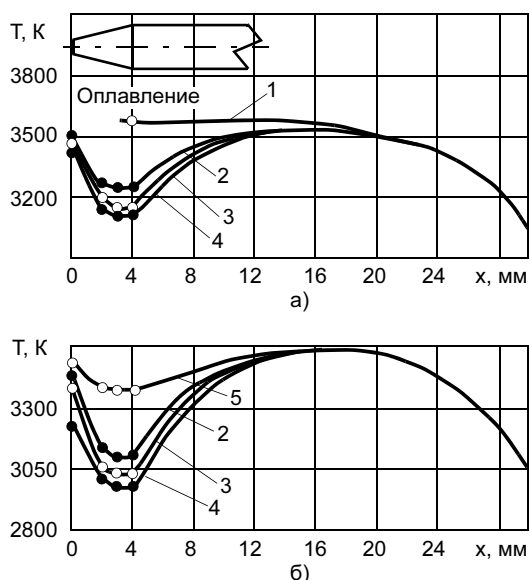


Рис. 1. Распределение температуры по длине вылета электродов диаметром 3 мм ЭВЧ (а) и ЭВЛ (б) ($\alpha = 40^\circ$, $I_d = 450$ А, длина дуги $L_d = 2$ мм, вылет $L_B = 40$ мм): 1 — 20 % Ar + 80 % He; 2 — 25 % Ar + 75 % He; 3 — 50 % Ar + 50 % He; 4 — 100 % Ar; 5 — 100 % He

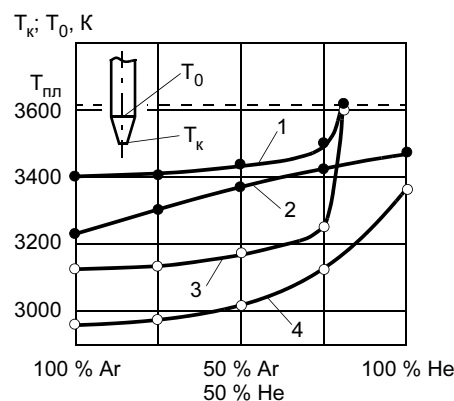


Рис. 2. Зависимость T_k (1, 2) и T_0 (3, 4) от состава аргон-гелиевой смеси ($\alpha = 40^\circ$, $I_d = 450$ А): 1, 3 — ЭВЧ диаметром 3 мм; 2, 4 — ЭВЛ диаметром 3 мм

тодного пятна, локализации его на вершине конуса, увеличению плотности тока в направлении рабочего торца и, как следствие, возрастанию температуры. В пользу такого объяснения говорит анализ распределения температуры на рабочем участке электрода, приведенный в работе [3], где отмечается, что отсутствие конической заточки (электрод с цилиндрическим рабочим участком) исключает локальное увеличение температуры на рабочем торце при плотностях тока свыше 55—70 А/мм². Независимо от формы рабочего участка при отмеченных плотностях тока температура электрода на вылете может превышать максимальное значение на рабочем торце или быть существенно ниже. Интенсивность увеличения температуры рабочего участка электрода с увеличением тока в значительной мере определяется конструкцией электрода и характером протекания катодных процессов. В результате независимо от исходного соотношения температур разрушение электрода с ростом тока может произойти как на рабочем участке за счет его оплавления, так и на вылете электрода из-за чрезмерно высокого тепловыделения на его омическом сопротивлении.

На этот процесс существенно влияет состав защитного газа. Так, с увеличением содержания гелия в смеси наблюдается преимущественно увеличение температуры рабочего участка (рис. 2), в то время как на вылете электрода ее распределение практически не изменяется. Для лантанированного электрода температура T_k не достигает $T_{пл}$ при любом соотношении аргона и гелия (см. рис. 1), а разрушение неплавящегося электрода всегда происходит примерно на середине вылета и носит "взрывной" характер. Наиболее интенсивный рост температуры рабочего участка наблюдается при увеличении содержания гелия в диапазоне от 75 % и более, что приводит к некоторому выравниванию температуры, обусловленному увеличением тепловыделения в катодной области.

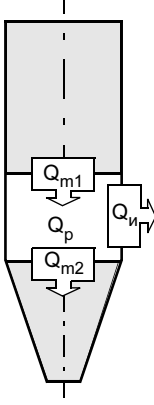
Для электродов из чистого вольфрама (ЭВЧ) при содержании гелия в смеси до 75 % распределение температуры по длине вылета аналогично рассмотренному выше, однако при более высоком содержании гелия температура на рабочем участке резко возрастает вплоть до его оплавления, что свидетельствует о резком увеличении теплового потока в катод.

В таблице приведены данные об энергетическом балансе элементарного участка электрода длиной 1 мм, прилежащего к коническому рабочему участку катода. Видно, что с увеличением содержания гелия в смеси энергия $Q_{и}$, отводимая от корпуса электрода путем излучения с его боковой поверхности, возрастает. Причем, если для лантанированного (ЭВЛ) электрода увеличение $Q_{и}$ не столь значимо, то для катода из чистого вольфрама при соотношении аргона и гелия 1:4 количество теплоты, отводимой излучением, в 2 раза больше, чем в чистом аргоне. Это объясняется более высокой температурой рабочего участка электрода ЭВЧ по сравнению с ЭВЛ, возрастающей с уменьшением содержания аргона. При содержании гелия 80 % на долю излучения приходится 75,6 % всей отводимой теплоты от электрода из чистого вольфрама. Теплота, выделившаяся на омическом сопротивлении Q_p , незначительно возрастает в связи с повышением удельного электросопротивления рабочего участка электрода из-за увеличения его температуры. При увеличении содержания гелия в смеси от 0 до 50 % наблюдается незначительное уменьшение энергии, передаваемой теплопроводностью Q_m , однако при дальнейшем росте доли гелия происходит резкое снижение теплопередачи, что свидетельствует о выравнивании температур на рабочем участке электрода. Отвод теплоты конвекцией с потоком защитного газа Q_k в целом не играет существенной роли в тепловом балансе, незначительно возрастая с увеличением содержания гелия.

Необходимо отметить, что при $I_d = 450$ А тепловой поток, обусловленный теплопроводностью, имеет отрицательное значение, так как направлен к коническому рабочему участку. В результате рабочий торец электрода испытывает нагрев как со стороны дуги, так и от более нагретого участка вылета электрода. Превалирующим фактором его охлаждения в этом случае являются излучение с боковой поверхности и "электронное охлаждение" в процессе эмиссии. Для катода из чистого вольфрама при содержании гелия свыше 80 % тепловой поток изменяет свое направление, и теплота от рабочего участка отводится также посредством теплопроводности.

Практический интерес представляют зависимости критического тока $I_{кр}$ от состава аргоно-гелиевой смеси для электродов из лантанированного и чистого вольфрама (рис. 3). Для электродов из вольфрама с активирующими присадками оксидов лантана и иттрия $I_{кр}$ с увеличением содержания гелия в смеси несколько возрастает. Поскольку во всех случаях разрушение электрода происходит на вылете, рост $I_{кр}$ с увеличением содержания гелия в защитном газе можно объяснить увеличением отвода теплоты от корпуса электрода в результате повышения коэффициента теплоотдачи смеси. Отметим, что при переходе от чистого аргона к чистому гелию показатели теплопроводности λ и кинематической вязкости ν (отношения вязкости к плотности) газа увеличиваются более чем в 5 раз, а используемое в расчете распределения температуры их отношение $\lambda/\sqrt{\nu}$ увеличивается в 3 раза.

Для электродов диаметром 3 мм из чистого вольфрама при изменении содержания гелия в смеси от 0 до 75 % $I_{кр}$ возрастает. Однако при дальнейшем увеличении содержания гелия происходит резкое снижение стойкости электрода и изменяется характер его разрушения: наблюдается оплавление рабочего участка. Установлено, что температура рабочего участка электрода из технически

	Содержание аргона в смеси, %	Энергетический баланс элементарного участка электрода, Вт				
		Поступление		Отвод		
		Q_p	Q_{m1}	$Q_{и}$	Q_{m2}	Q_k
	100	$\frac{27,4}{26,0}$	$\frac{50,6}{60,9}$	$\frac{17,7}{14,4}$	$\frac{60,0}{72,2}$	$\frac{0,3}{0,3}$
	50	$\frac{27,6}{26,5}$	$\frac{46,8}{59,7}$	$\frac{18,3}{15,3}$	$\frac{55,1}{69,9}$	$\frac{1,0}{1,0}$
	25	$\frac{28,5}{27,2}$	$\frac{37,0}{52,3}$	$\frac{20,4}{17,2}$	$\frac{43,8}{61,0}$	$\frac{1,3}{1,3}$
	20	$\frac{32,1}{—}$	$\frac{12,6}{—}$	$\frac{33,8}{—}$	$\frac{9,3}{—}$	$\frac{1,6}{—}$
	0	$\frac{—}{29,2}$	$\frac{—}{44,5}$	$\frac{—}{23,2}$	$\frac{—}{49,1}$	$\frac{—}{1,4}$

Примечания: 1. Диаметр электродов 3 мм; $\alpha = 40^\circ$; $I_d = 450$ А; $L_d = 2$ мм; $L_v = 40$ мм; длина элементарного участка 1 мм.
2. В числителе приведены данные для электрода ЭВЧ, в знаменателе — ЭВЛ.

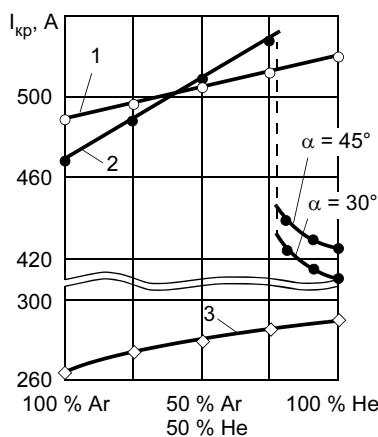


Рис. 3. Зависимость критического тока от состава аргоно-гелиевой смеси: 1, 3 — ЭВЛ диаметром 3 и 2 мм соответственно; 2 — ЭВЧ диаметром 3 мм

чистого вольфрама в этом интервале изменения пропорции смеси газов существенно выше, чем у электродов с активирующими присадками (см. рис. 2) и достигает температуры плавления раньше, чем произойдет разрушение на вылете.

Повышение стойкости лантанированных электродов, выражающееся ростом критического тока при их разрушении на вылете, связано с увеличением отвода теплоты от корпуса конвекцией вследствие значительного возрастания коэффициента теплоотдачи. Напротив, резкое снижение стойкости рабочего участка электродов из чистого вольфрама в смесях с высоким содержанием гелия связано с процессами, происходящими в области катодного падения потенциала дуги. Возрастание теплового потока в электрод при повышении содержания гелия в защитном газе обусловлено, по-видимому, увеличением катодного падения потенциала. Рост тепловой мощности, выделяющейся в области катодного падения потенциала, приводит к повышению температуры рабочего участка как лантанированных, так и электродов из чистого вольфрама, однако у первых интенсивность этого процесса ниже.

Характер разрушения электродов не меняется в диапазоне углов заточки α рабочего участка 30—45°. Исключение составляют электроды из технически чистого вольфрама, для которых при содержании гелия в смеси более 75—80 % стойкость электрода, определяемая оплавлением рабочего участка, несколько возрастает с увеличением угла заточки. При углах заточки свыше 60—70° критический ток ограничен интенсивной эрозией рабочего участка, приводящей к потере его исходной формы независимо от материала катода. Интенсивность эрозии возрастает с увеличением содержания гелия в смеси более 75—80 %.

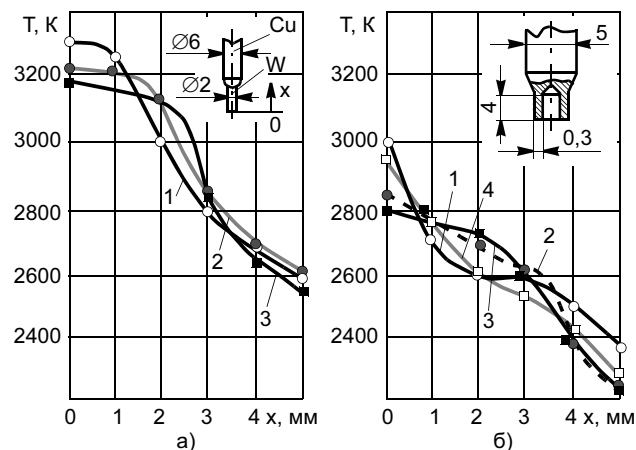


Рис. 4. Распределение температуры по длине рабочего участка электродов ($I_d = 300$ А): а — композиционный электрод; б — электрод с полостью на торце; 1 — 100 % Ar; 2 — 50 % Ar + 50 % He; 3 — 100 % He; 4 — 75 % Ar + 25 % He

Исследование влияния конструкции рабочего участка на его нагрев при сварке в аргоно-гелиевых смесях показало, что тепловые условия работы электродов, обеспечивающих горение дуги с диффузным катодным пятном [3], имеют существенные отличия. Главное из них заключается в снижении температуры рабочих участков электродов при увеличении содержания гелия в смеси газов. На рис. 4 приведено распределение температуры по длине рабочих участков композиционных электродов и электродов с полостью на торце. Так, для композиционного электрода повышение содержания гелия с 0 до 50 % снижает температуру рабочего торца приблизительно на 100 К. Дальнейшее повышение содержания гелия в смеси не приводит к существенному снижению температуры рабочего участка. При применении электрода с полостью на торце при прочих равных условиях температура рабочего участка изначально (при нулевом содержании гелия) ниже, чем у композиционного электрода на 300 К и снижается с увеличением содержания гелия на 200 К. В обоих случаях снижение температуры рабочего торца сопровождается, с определенным приближением, повышением равномерности нагрева катода. Объяснить данный факт можно тем, что концентрация теплового потока от дуги в электрод в рассматриваемом случае существенно ниже, чем при использовании заточенных на конус электродов. С увеличением содержания гелия в смеси газов поступающий в электрод тепловой поток возрастает, однако ввиду невысокой его плотности в большей мере приводит к увеличению интегральной температуры рабочего участка, чем к локальному росту ее в сжатом катодном пятне, имеющем место при использовании электродов с конической заточкой рабочего участка. Согласно расчетам, повышение интегральной температуры

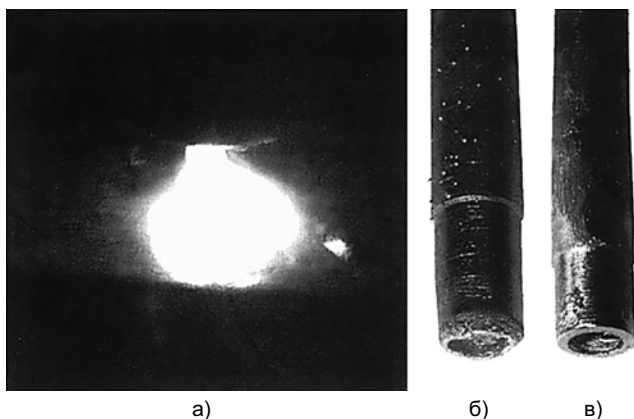


Рис. 5. Дуга электрода с полостью на торце в гелии (а); вид электродов (б, в) соответственно после работы при токе 500 и 1000 А, толщина стенки 0,6 и 1,0 мм

рабочего участка, а также равномерности ее распределения в случае дуги с диффузным катодным пятном снижает плотность тока термоэлектронной эмиссии и напряженность электрического поля, уменьшая тем самым плотность тока бомбардирующих катод ионов и обратных электронов. Это делает не только возможным применение для сварки в гелии электродов, обеспечивающих горение дуги с диффузным катодным пятном, но и обуславливает их высокую стойкость.

На рис. 5 приведены фотографии дуги при применении электрода с полостью на торце в гелии и вида рабочего участка электрода после работы. Дуговой разряд обладает достаточной осевой симметрией, а рассчитанные по площади подверженного эрозии участка значения плотности тока в катодном пятне составляют около 30 А/мм^2 , что характерно только для дуг с диффузным катодным пятном.

ВЫВОДЫ

1. Влияние состава защитного газа на нагрев неплавящихся электродов зависит от условий протекания катодных процессов. Увеличение содержания гелия в газовой смеси приводит к существенному повышению температуры рабочего участка электродов с конической заточкой, обуславливающих сжатие катодного пятна, и ее снижению у электродов, обеспечивающих горение дуги с диффузным катодным пятном.

2. Нагрев неплавящихся электродов, обеспечивающих горение дуги с диффузным катодным пятном, характеризуется малым градиентом температуры рабочего участка, снижающимся с увеличением содержания гелия в защитном газе. Уменьшение плотности теплового потока в катод при этом способствует увеличению работоспособности компо-

зиционных электродов и электродов с полостью на торце при сварке в чистом гелии.

3. Допустимый сварочный ток для электродов с активирующими присадками и конической заточкой рабочего участка ограничен их локальным разрушением на вылете при любых соотношениях концентрации аргона и гелия в смеси газов. Для катодов из технически чистого вольфрама при содержании гелия свыше 75—80 % значение критического тока скачкообразно уменьшается и ограничено интенсивным оплавлением рабочего участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнительная оценка работоспособности неплавящихся электродов различных конструкций / В. А. Косович, В. А. Поплан, В. С. Седых и др. // Сварочное производство. 1987. № 8. С. 19—20.
2. Амосов В. М., Карелин Б. А., Кубышкин В. В. Электродные материалы на основе тугоплавких металлов. М.: Металлургия, 1976. 224 с.
3. Лапин И. Е., Косович В. А. Неплавящиеся электроды для дуговой сварки. Волгоград: Политехник, 2001. 190 с.
4. Косович В. А., Маторин А. И., Седых В. С. Особенности тепловых процессов в вольфрамовых электродах при аргонодуговой сварке // Сварочное производство. 1981. № 11. С. 6—7.
5. Влияние конструкции и материала неплавящихся электродов для дуговой сварки на их стойкость / В. А. Косович, В. А. Поплан, В. С. Седых и др. // Сварочное производство. 1990. № 6. С. 8—10.
6. Особенности работы вольфрамовых катодов в аргоне и гелии / В. Ф. Гордеев, А. В. Пустогаров, Я. Р. Кучеров и др. // Автоматическая сварка. 1989. № 6. С. 48—50.
7. Стойкость вольфрамового катода при дуговой сварке в гелии / В. Ф. Гордеев, А. В. Пустогаров, Я. Р. Кучеров и др. // Автоматическая сварка. 1986. № 9. С. 66—67.
8. Дороднов А. М., Козлов Н. П., Помелов Я. А. Об эффекте "электронного охлаждения" на термоэмиссионном дуговом катоде // Теплофизика температур. 1973. № 9. С. 724—727.
9. Kou S., Tsai M. S. Thermal analysis of GTA welding electrodes // Welding Journal. 1985. N 9. P. 226-s—269-s.

Уважаемые читатели!

Оформить подписку на свой профессиональный журнал
"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

Подписные индексы:

70807 — в каталоге

Агентства "Роспечать";

27860 — в Объединенном каталоге;

60256 — в каталоге "Почта России".

Н. Г. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук

(ГУП Центр "Транспорт", Омск),

Ю. Н. ВИВДЕНКО, д-р техн. наук

(Омский государственный технический университет),

С. А. РЕЗИН, канд. техн. наук

(ФГУП "Иртыш")

Особенности восстановления высоконагруженных деталей с поверхностными дефектами

Технология восстановления деталей машин в большинстве случаев предусматривает удаление дефектного слоя, последующее нанесение восстановительного слоя и его размерную обработку. Одним из определяющих условий при проектировании такой технологии является минимизация размеров удаляемых и наносимых слоев материала.

Для решения задач минимизации разработан ряд методов расчета технологических размерных цепей [1, 2]. Однако в этих методах недостаточно рассмотрены решения задач восстановления деталей с поверхностными дефектами, связанными с локальными нарушениями сплошности материала поверхностного слоя. С учетом разной природы формирования рассматриваемых дефектов их делят на две группы:

— дефекты, размеры которых подвержены росту в процессе эксплуатации до разрушения деталей: коррозионное растрескивание, усталостные и другие трещины;

— дефекты, относительно стационарные по своим размерам, но снижающие функциональные свойства детали: задиры, царапины, забоины, вмятины и др.

На основе ремонтных технологий восстанавливают корпусные детали, лопатки и диски турбин и компрессоров, штоки гидравлических пневматических систем и другие детали с такими дефектами. На рис. 1 приведена схема поверхностного слоя изношенной детали с рассматриваемыми дефектами.

В соответствии с приведенной схемой толщина удаляемого слоя (перед нанесением восстановительного слоя) с учетом выравнивания поверхности, установленных допусков и погрешностей на обработку

$$H_{\text{дп}} = N - h_{\text{п}} = H_{\text{и max}} + H_{\text{д}} + T \pm \sum_{j=1}^m P_{\text{ис}} + \sum_{j=1}^m P_{\text{исп}}, \quad (1)$$

где N — номинальный размер детали; $h_{\text{п}}$ — толщина слоя, потерянного при изнашивании; $H_{\text{и max}}$ — толщина слоя, удаляемого при выравнивании изношенной поверхности; $H_{\text{д}}$ — толщина дефектного слоя; T — допуск на размер; $P_{\text{ис}}$, $P_{\text{исп}}$ — результирующая систематических и случайных погрешностей соответственно; m — число соответствующих геометрических отклонений и погрешностей.

После подготовки поверхности для нанесения восстановительного слоя с учетом допусков и погрешностей обработки получают поверхность, соответствующую размеру N_z (см. рис. 1). При этом часть поверхностных дефектов будет удалена, как, например, дефект 3, часть же дефектов может остаться, как дефект 1 на глубине $H_{\text{то}}$ и дефект 2 на глубине $H_{\text{зо}}$. Условия восстановления поверхностного слоя детали с дефектами двух последних видов приведены ниже.

Восстановление поверхностей, имеющих трещины, предусматривает расшивку полости трещин с их последующей наплавкой. При этом к наплавке предъявляются следующие требования: обеспечение конструкционной прочности детали и эксплуатационных свойств поверхности и поверхностного слоя после восстановления.

В результате исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) материала в окрестности трещины установлены области разрушения, способствующие ослаблению и разрушению связи между микро- и макрообъемами материала [3, 4]. Поэтому для ликвидации дефектов такого вида с

В результате исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) материала в окрестности трещины установлены области разрушения, способствующие ослаблению и разрушению связи между микро- и макрообъемами материала [3, 4]. Поэтому для ликвидации дефектов такого вида с

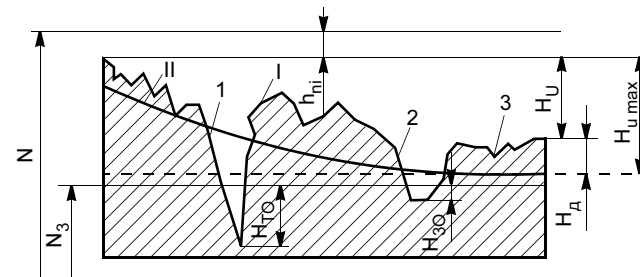


Рис. 1. Обобщенная схема поверхностного слоя изношенной детали с локальными дефектами нарушения сплошности: I — изношенная поверхность; II — нижняя граница дефектного слоя; 1 — трещина; 2 — задира; 3 — царапина

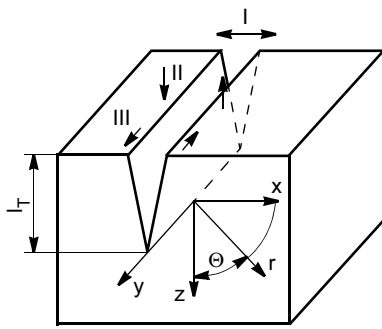


Рис. 2. Виды деформаций, система координат у фронта трещины и ее параметры

устранением несплошности путем, например наплавки, должно предусматривать определение границ зоны предразрушения (ЗП) материала и его удаление.

Для определения НДС тела из упруго-пластичного материала в соответствии с рис. 2 используют зависимость [5]

$$\sigma_{ij} = \frac{K_S}{\sqrt{2\pi r}} f_{Sij}(\theta), \quad (2)$$

где K_S — коэффициенты интенсивности напряжений, зависящие от геометрии тела и трещины, а также распределения нагрузки; f_{Sij} — известные функции расчетной точки тела с координатами r и θ в полярной системе координат с началом в конце трещины; S — индекс вида деформации, при $S = I$ соответствует нормальному раскрытию трещины, при $S = II$ — поперечному, $S = III$ — продольному сдвигу поверхностей трещины; i, j — индексы координатных осей.

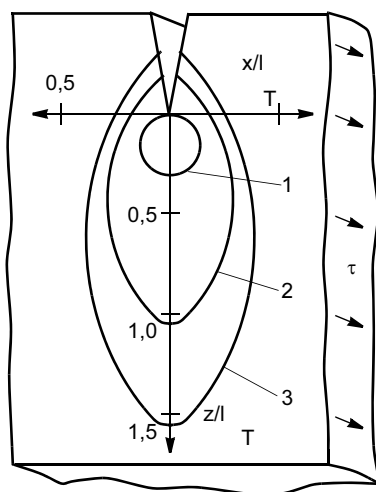


Рис. 3. Зоны пластических деформаций при продольном сдвиге: в идеально пластическом материале (1), упрочняющемся материале (2, 3) при соотношении τ/τ_T равном 0,6 и 0,8 соответственно

Судя по зависимости (2), наибольшие напряжения имеют место при $r \rightarrow 0$, т. е. у вершины трещины. В этом месте и формируются первые пластические деформации, по периметру которых возникает фронт упругих деформаций.

Отдельные представления о развитии пластических зон у фронта трещины по известным данным [5] приведены на рис. 3.

Предложена следующая методика определения границ удаляемого материала в окрестностях трещины:

- предварительная расчетная оценка границ ЗП по формуле (2);
- определение границ ЗП упрочняющихся материалов измерением микротвердости очага деформации;
- определение границ удаляемого материала с учетом погрешностей измерения параметров трещины и погрешностей размерной обработки.

Зависимость для определения глубины зоны удаляемого материала с учетом принятого на рис. 2 параметра z/l_T имеет вид

$$z = l_T + \Delta l_T + T_Z \pm \Delta_\Sigma, \quad (3)$$

где Δl_T — погрешность измерения параметров трещины; T_Z — допуск на размер z ; Δ_Σ — результирующая систематических и случайных погрешностей обработки детали.

Аналогично зависимости (3) может быть установлена зависимость для определения ширины зоны удаляемого материала по оси x/l_T .

Установлено, что при решении рассматриваемых задач при восстановлении коррозионно-стойких сталей и сплавов на никелевой основе назначенные зоны удаляемого материала должны соответствовать следующим условиям:

$$z/l_T \geq 1,5; \quad x/l_T \geq 0,3 \div 0,5. \quad (4)$$

После определения границ зоны удаляемого материала определяют геометрические характеристики полости расшивки трещины, которые должны обеспечить:

- гарантированное удаление материала, находящегося в ЗП;
- соответствие условиям формирования сварных швов в полости расшивки трещины.

Проверка предлагаемых условий восстановления деталей, имеющих дефекты в виде трещины в поверхностном слое, выполнена для высоконагруженных деталей, эксплуатация которых связана с повышенным уровнем напряжений, вибраций и температур. Отдельные результаты экспериментальных работ по восстановлению деталей, впоследствии исследованных в процессе эксплуатации, приведены в таблице.

Деталь, материал	Параметры					Наплавка
	трещины			расшивки		
	Ширина устья, мм	Глубина, мм	Погрешность измерения, %	Угол φ	Глубина, мм	
Лопатка газотурбинного компрессора, 15Х17АГ14	1,2	2,5	5	80	5,8	Аргонодуговая
Лопатка газовой турбины, ХН35ВТЮ	2,8	5,1	3	0	12,5	
Поршень ДВС, АК4-1	1,8	3,1	5	70	7,4	В диоксиде углерода
Шатун ДВС, Н18К9М5Т	0,8	2,4	3		5,6	

В основу решений устранения дефектов типа царапин, рисок и забоин у деталей типа шток приняты условия нагружения деталей в условиях эксплуатации.

Наличие на поверхности деталей указанных дефектов, расположенных преимущественно в осевом направлении, снижает работоспособность детали вследствие потери гидроплотности пары шток—уплотнительное устройство и за счет уменьшения площади поперечного сечения детали происходит уменьшение коэффициентов запаса прочности на растяжение и запаса прочности на устойчивость при сжатии.

При растяжении штока условие прочности детали имеет вид

$$\left| \frac{N}{F} \right|_{\max} \leq n_p [\sigma], \quad (5)$$

где N — сила растяжения; F — площадь поперечного сечения штока диаметром d , равная $\pi d^2/4$; n_p — коэффициент запаса прочности; $[\sigma]$ — допустимое напряжение при растяжении в соответствии с механическими свойствами материала детали.

Расчет на устойчивость штока длиной l сжимающей осевой силой выполняют по формуле

$$P_{кр} = n_y \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2}, \quad (6)$$

где $P_{кр}$ — критическая осевая сила, вызывающая потерю устойчивости и искривление штока; n_y — коэффициент запаса устойчивости; E — модуль нормальной упругости; J — момент инерции детали, равный $\pi d^4/64$; μ — коэффициент приведения длины, учитывающий условия защемления штока, равный 1/2.

При восстановлении деталей с царапинами и подобными дефектами заполнение полости дефекта предусмотрено проводить локальным гальвани-

ческим покрытием, лазерной и электронно-лучевой наплавкой.

Для заполнения полости дефектов у деталей типа шток применяют электрохимико-механическую обработку (ЭХМО).

Схема нанесения материала восстановительного слоя с использованием данного метода приведена на рис. 4. В качестве ионообразующей жидкости применяют слабые растворы солей, кислот, щелочей концентрации 100—200 г/л, с добавлением необходимых присадок. Удельная электропроводность ионообразующей жидкости в зависимости от концентрации компонентов при 18 °С выбирается в пределах 8—28 см/м, при кинематической вязкости $(0,9—3,5)10^{-6}$ м²/с. Температура ионооб-

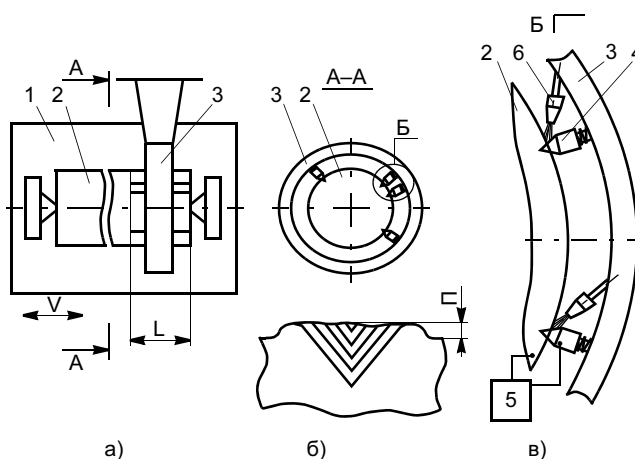


Рис. 4. Схема нанесения восстановительного слоя при устранении дефектов типа царапина при восстановлении штоков: а — расположение обрабатываемой детали и многопозиционного анода-инструмента; б — сечение царапины с условно выделенными нанесенными слоями; в — взаимное расположение рабочих поверхностей анода-инструмента и детали; 1 — стол плоскошлифовального станка; 2 — восстанавливаемая деталь; 3 — многопозиционный анод-инструмент; 4 — подпружиненный сменный рабочий элемент анода-инструмента; 5 — источник технологического тока; 6 — подача рабочей жидкости

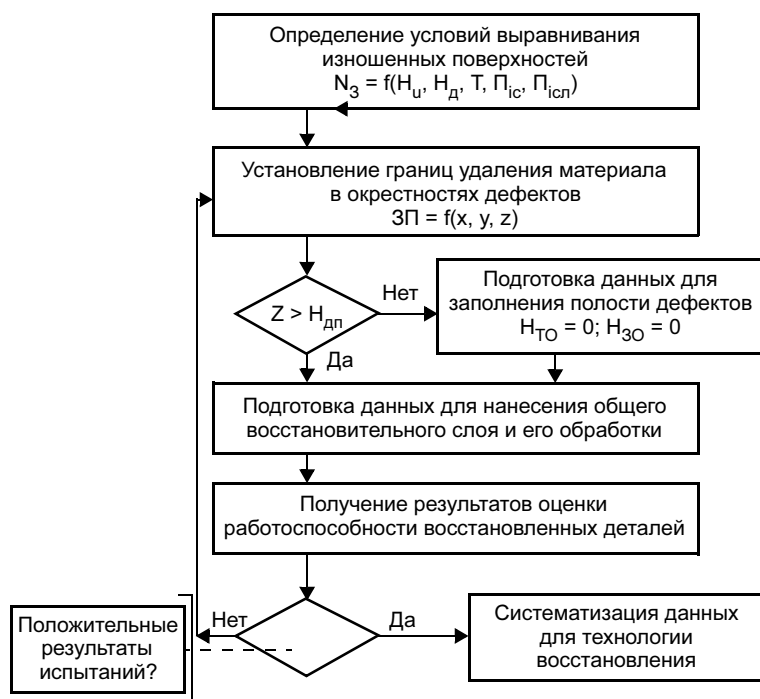


Рис. 5. Укрупненная схема алгоритма подготовки базовых данных для восстановления деталей с поверхностными дефектами

разующей жидкости должна поддерживаться в пределах от 16 до 65 °С, скорость ее протекания в зоне трения — до 2 см/с.

При заполнении полости дефектов детали типа шток, работоспособность которой определяют расчетом на растяжение и устойчивость при сжатии по формулам (5), (6), принято считать, что площадь поперечного сечения детали не восстанавливается.

Задачами данного восстановления являются:

- обеспечение необходимой гидроплотности штока в паре со смежной деталью;
- создание необходимых характеристик сцепления наносимого восстановительного слоя с основой;
- формирование заданных эксплуатационных свойств материала поверхностного слоя (износостойкости, коэффициента трения и др.).

Таким образом, общая площадь сечения детали, потерянная в результате образования рассматриваемых дефектов в процессе эксплуатации

$$F_n = \sum_{j=1}^m F_{id} + \sum_{j=1}^m F_{ip}, \quad (7)$$

где первое слагаемое — суммарная площадь сечений дефектов, второе — суммарная площадь материала, удаленного при расшивке полости дефектов.

Наличие дефектов уменьшает площадь сечений деталей [6], что, в свою очередь, приводит к уменьшению коэффициентов запаса n_p и n_y в

формулах (5, 6). В соответствии с предлагаемыми подходами к восстановлению деталей отношение коэффициентов запаса новой и восстановленной деталей определяется отношением

$$(n_p, n_y)_в K_3 \leq [n_p, n_y], \quad (8)$$

где $(n_p, n_y)_в$ — коэффициенты запаса восстановленной детали; K_3 — показатель кратности уменьшения коэффициентов запаса; $[n_p, n_y]$ — назначенные коэффициенты запаса новой детали.

Решение о назначении показателя K_3 после восстановления принимает разработчик изделия, при этом учитывается, что от одного восстановления детали до другого происходит увеличение F_n и снижение коэффициентов $(n_p, n_y)_в$.

На рис. 5 приведен порядок подготовки необходимых данных для восстановления деталей с поверхностными дефектами.

ВЫВОДЫ

1. Установлены закономерности подготовки поверхностей изношенных деталей, имеющих поверхностные дефекты нарушения сплошности, к нанесению восстановительного слоя и общего и локального нанесения этого слоя. Эти закономерности позволяют минимизировать размеры удаляемых и наносимых слоев в процессе восстановления.

2. Приведенные закономерности обеспечивают подготовку необходимых данных при проектировании технологических процессов восстановления деталей с поверхностными дефектами на этапах дефектации деталей, нанесения восстановительного слоя и его размерной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вивденко Ю. Н., Нестеренко Г. А., Резин С. А. Технология ремонта машин. Омск: ОмГТУ, 2005. 210 с.
2. Харламов Ю. А. Методика расчета толщины покрытия // Сварочное производство. 1987. № 9. С. 9—11.
3. Панасюк В. В., Ярема С. Я. Пластические деформации в окрестностях трещины и критерии разрушения // Проблемы прочности. 1973. № 2. С. 3—18.
4. Слепая Л. И. Механика трещин. Л.: Судостроение, 1990. 297 с.
5. Райс Д. Напряжения, обусловленные острым вырезом в упрочняющемся упругопластическом материале при продольном сдвиге // Прикладная механика. 1967. Т. 34. № 2. С. 17—25.
6. Макаренко Н. Г. Электрохимическое упрочнение и восстановление деталей трибосистем. Омск: Омский научный вестник, 2004. 254 с.

Т. В. АЛПЕЕВА, студентка, В. М. ЕМЕЛЬЯНОВ, д-р техн. наук,
А. А. КОТЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук
 Курский государственный технический университет

Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов

Технология изготовления решетчатых конструкций из трубчатых элементов связана с применением ручного труда и простейших приспособлений. Например, укладка раскосов и их сборка с поясами в сборочном стенде, оснащенный винтовыми прижимами, выполняются вручную, сварка ферм производится также вручную покрытыми электродами или сварочными полуавтоматами в углекислом газе, а транспортные операции с тяжелыми деталями и фермами осуществляются с помощью цеховых кранов.

Использование роботизированных технологических комплексов (РТК) позволит снизить долю ручного труда, повысить качество и существенно увеличить производительность труда.

Точность и стабильность позиционирования деталей обеспечиваются жесткими требованиями к технологии получения заготовок деталей собираемого узла и конструкцией стенда для сборки под сварку плоских решетчатых узлов.

При разработке математических моделей сварных швов необходимо выполнить ряд операций. Под операцией следует понимать совокупность действий над одним или несколькими исходными объектами, которые приводят к созданию нового геометрического объекта [1]. К операциям можно отнести построение точек пересечения кривых, кривых и поверхностей, линий пересечения поверхностей, поверхностей скругления и поверхностей фасок. Методы таких построений являются итерационными и для того, чтобы получить искомое решение, необходимо указать некоторое нулевое (начальное) приближение искомого решения. Выполнение операции сводится к решению системы скалярных нелинейных уравнений относительно параметров поверхностей.

Задача определения корней системы нелинейных уравнений решается с помощью некоторого итерационного процесса, который шаг за шагом уточняет корни уравнения. При этом предполагается, что и на первой итерации известно некоторое приближенное значение корней системы.

На первом этапе определим линию пересечения поверхностей (цилиндров), продольные оси которых расположены под углом β (соединение рас-

косов с поясами трубчатых элементов). С каждой поверхностью можно связать свою систему координат — $OXYZ$ и $OXY'Z'$. Радиусы-векторы поверхностей имеют вид

$$r'(u, v) = \rho_1 \cos(u) \bar{i}_x' + \rho_1 \sin(u) \bar{i}_y' + v \bar{i}_z';$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y,$$

при переходе от системы координат $OXY'Z'$ к $OXYZ$ они примут вид

$$r(u, v) = X(u) \bar{i}_x + Y(u, v) \bar{i}_y + Z(u, v) \bar{i}_z;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y,$$

где $X(u)$, $Y(u, v)$, $Z(u, v)$ — координаты в системе координат $OXYZ$, выраженные через соответствующие координаты x' , y' , z' и параметры u , v :

$$X(u) = \rho_1 \cos(u);$$

$$Y(u) = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)};$$

$$Z(v) = v.$$

Тогда радиусы-векторы поверхностей имеют вид

$$r(u, v) = \rho_1 \cos(u) \bar{i}_x + \left(\frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)} \right) \bar{i}_y + v \bar{i}_z;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y.$$

Каждая точка линии пересечения поверхностей должна удовлетворять векторному уравнению

$$r(u, v) - s(a, b) = 0. \quad (1)$$

Это векторное уравнение содержит три скалярных уравнения для компонентов радиусов-векторов поверхностей:

$$\begin{cases} r_1(u, v) - s_1(a, b) = 0; \\ r_2(u, v) - s_2(a, b) = 0; \\ r_3(u, v) - s_3(a, b) = 0; \end{cases} \begin{cases} \rho_1 \cos(u) - \rho_2 \cos(a) = 0; \\ \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)} - b = 0; \\ v - \rho_2 \sin(a) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Выразим параметры v , a , b через параметр u :

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos(a) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u); \\ b = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ v = \rho_2 \sin(a) = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \cos(a) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u); \\ b = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ v = \pm \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{array} \right.$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \rho_1 \cos(u) = \rho_2 \cos(a); \\ y = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ z = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Для поверхностей цилиндров, расположенных под прямым углом (соединение стоек с поясами трубчатых элементов), параметры и координаты линии пересечения имеют вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos(a) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u); \\ b = \rho_1 \sin(u); \\ \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{array} \right\} \text{ или } \left\{ \begin{array}{l} x = \rho_1 \cos(u) = \rho_2 \cos(a); \\ y = \rho_1 \sin(u); \\ \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{array} \right.$$

В итерационных методах выполнения операций параметры геометрических объектов определяют с некоторой точностью ε . Заканчивают процесс уточнения параметров, когда на очередной итерации изменение каждого параметра по абсолютной величине становится меньше ε : $(|x^{(k+1)} - x^{(k)}| < \varepsilon)$. На самом деле точность решения ниже ε . Вблизи точек касания решение сходится очень медленно, а в самих точках касания может расходиться. Значение некоторого параметра $x^{(k+1)}$ на последней итерации отличается от искомого точного значения x^* на величину $\xi \approx |x^{(k+1)} - x^*|$, которая в несколько десятков или сотен раз может быть больше ε . В то же время величина ε не должна превосходить 10^{-n} , где n — число точных чисел в мантиссе представления параметров. Общее количество $m > n$ значащих цифр в мантиссе представления действительных чисел в памяти компьютера является отправной точкой для определения максимальной точности, которую можно достичь численными методами.

При разработке компьютерной модели сварных швов необходимо провести проверку точности полученных уравнений линии пересечения поверхностей свариваемых деталей.

Точность компьютерных моделей позволяет обеспечить выполнение сварных швов с помощью промышленных роботов по траектории, близкой к расчетной. Тем самым повышается качество свар-

ных соединений и стабильность их выполнения во всех сварных узлах.

Определить точность модели можно, проверив с помощью одного из численных методов параметры u , v , a , b (параметр u задается). По полученному уравнению линии пересечения известны значения параметров u , v , a , b . Если уравнение не верно, то эти значения являются не точными частными решениями векторного уравнения (1), а начальным приближением решения $u^{(1)}$, $v^{(1)}$, $a^{(1)}$, $b^{(1)}$, которое отличается от точного решения u^* , v^* , a^* , b^* на величины Δu , Δv , Δa , Δb :

$$u^* = u^{(1)} + \Delta u;$$

$$v^* = v^{(1)} + \Delta v;$$

$$a^* = a^{(1)} + \Delta a;$$

$$b^* = b^{(1)} + \Delta b.$$

Погрешности Δu , Δv , Δa , Δb неизвестны и подлежат определению. По методу Ньютона разложим левую часть каждого уравнения системы (2) в ряд Тейлора по степеням Δu , Δv , Δa , Δb в окрестности начального приближения:

$$\begin{aligned} f_i(u^*, v^*, a^*, b^*) &= r_i(u^*, v^*) - s_i(a^*, b^*) = \\ &= r_i^{(1)} - s_i^{(1)} + \frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_i^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \\ &- \frac{\partial s_i^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 r_i^{(1)}}{\partial u^2} (\Delta u^{(1)})^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 r_i^{(1)}}{\partial v^2} (\Delta v^{(1)})^2 - \\ &- \frac{1}{2} \frac{\partial^2 s_i^{(1)}}{\partial a^2} (\Delta a^{(1)})^2 - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 s_i^{(1)}}{\partial b^2} (\Delta b^{(1)})^2 + \dots, \end{aligned}$$

где $r_i^{(1)}$, $s_i^{(1)}$ — компоненты радиусов-векторов $r(u, v)$

и $s(a, b)$ на начальном приближении; $\frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial u}$, $\frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial v}$,

$\frac{\partial s_i^{(1)}}{\partial a}$, $\frac{\partial s_i^{(1)}}{\partial b}$ — частные производные на начальном

приближении; $i = 1, 2, 3$. Левую часть этого выражения можно заменить нулем, так как $r_i(u^*, v^*) - s_i(a^*, b^*) = 0$, а в правой части отбросим величины второго порядка малости и выше. Тогда система (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial r_1^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_1^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_1^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_1^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} = \\ = r_1^{(1)} - s_1^{(1)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial r_2^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_2^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_2^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_2^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} = \\ = r_2^{(1)} - s_2^{(1)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial r_3^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_3^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_3^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_3^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} = \\ = r_3^{(1)} - s_3^{(1)}. \end{aligned}$$

Следующее приближение параметров: $u^{(2)} = u^{(1)} + \Delta u^{(1)}$, $v^{(2)} = v^{(1)} + \Delta v^{(1)}$, $a^{(2)} = a^{(1)} + \Delta a^{(1)}$, $b^{(2)} = b^{(1)} + \Delta b^{(1)}$. Процесс уточнения параметров заканчивают, когда на очередной итерации изменение каждого параметра по абсолютной величине становится меньше ε : $|u^{k+1} - u^k| < \varepsilon$, $|v^{k+1} - v^k| < \varepsilon$, $|a^{k+1} - a^k| < \varepsilon$, $|b^{k+1} - b^k| < \varepsilon$.

Определим параметры v , a , b при $u = 30^\circ$. В данном случае нет необходимости определять Δu , так как параметр u задан изначально. Вычисления производим с помощью программы MathCAD в следующей последовательности:

1. Задаем значение параметра $u = 30^\circ$ ($u = 0,524$ рад), приближенные значения параметров v , a , b (рассчитываются по уравнениям (3):

$$u = 0,524, v = 5, a = 0,7, b = 7,5, \beta = 1,047, \rho_1 = 6, \rho_2 = 7.$$

2. Задаем компоненты радиусов-векторов поверхностей и определяем их частные производные:

$$\begin{aligned} r_1(u, v) = \rho_1 \cos(u), \quad r_2(u, v) = \left(\frac{\rho_2}{\tan(\beta)} + \rho_1 \frac{\sin(u)}{\sin(\beta)} \right), \\ r_3(u, v) = v, \quad s_1(a, b) = \rho_2 \cos(a), \quad s_2(a, b) = b, \\ s_3(a, b) = \rho_2 \sin(a), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{du} r_1(u, v) = -3,002, \quad \frac{d}{dv} r_1(u, v) = 0, \\ \frac{d}{du} r_2(u, v) = 5,999, \quad \frac{d}{dv} r_2(u, v) = 0; \quad \frac{d}{du} r_3(u, v) = 0, \\ \frac{d}{dv} r_3(u, v) = 1, \quad \frac{d}{da} s_1(a, b) = 4,51, \quad \frac{d}{db} s_1(a, b) = 0; \\ \frac{d}{da} s_2(a, b) = 0, \quad \frac{d}{db} s_2(a, b) = 1, \quad \frac{d}{da} s_3(a, b) = 5,354, \\ \frac{d}{db} s_3(a, b) = 0. \end{aligned}$$

3. Задаем приближенные значения приращений параметров, составляем уравнения:

$$\Delta v = 0,01, \Delta a = 0,01, \Delta b = 0,01;$$

Given

$$\begin{aligned} \frac{d}{dv} r_1(u, v) \Delta v - \frac{d}{da} s_1(a, b) \Delta a - \frac{d}{db} s_1(a, b) \Delta b = \\ = s_1(a, b) - r_1(u, v); \\ \frac{d}{dv} r_2(u, v) \Delta v - \frac{d}{da} s_2(a, b) \Delta a - \frac{d}{db} s_2(a, b) \Delta b = \\ = s_2(a, b) - r_2(u, v); \\ \frac{d}{dv} r_3(u, v) \Delta v - \frac{d}{da} s_3(a, b) \Delta a - \frac{d}{db} s_3(a, b) \Delta b = \\ = s_3(a, b) - r_3(u, v); \end{aligned}$$

$$\text{Find}(\Delta v, \Delta a, \Delta b) = \begin{bmatrix} -0,302 \\ 0,035 \\ 0,01 \end{bmatrix}.$$

4. Так как найденные значения приращений параметров больше $\varepsilon = 0,01$, определим следующее приближение параметров:

$$\begin{aligned} v_1 = v - 0,302, \quad v_1 = 4,698, \quad a_1 = a + 0,035, \\ a_1 = 0,735, \quad b_1 = b + 0,01, \quad b_1 = 7,51. \end{aligned}$$

Далее, производя вычисления по пунктам 1—3, получим

$$(\Delta v, \Delta a, \Delta b) = \begin{bmatrix} -6,25 \cdot 10^{-3} \\ -4,544 \cdot 10^{-4} \\ 2,001 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}.$$

Поскольку приращения на втором приближении меньше $\varepsilon = 0,01$, заканчиваем процесс уточнения параметров.

Для реализации полученных зависимостей координат x , y , z рассмотрим механическую манипуляционную систему сварочного робота с дискретным (шаговым приводом), работающим в прямоугольной системе координат [2]. В общем случае эта механическая система должна обеспечивать перемещение инструмента по произвольной криволинейной траектории в пространстве и ориентацию инструмента под заданным углом к направлению сварки. Для обеспечения такого движения манипулятор, работающий в прямоугольной системе координат, должен иметь как минимум пять независимых движений: три по координатам x , y , z и два угловых φ и γ .

Для перемещения по пространственной траектории (сварка двух цилиндрических поверхностей — приварка раскосов и стоек к поясам ферм из труб) необходимо управлять сразу пятью движениями (перемещения инструмента и его ориентации) с соблюдением заданной скорости.

Для перемещения по заданной координате на двигатель выдается заданное количество импульсов, после отработки которых звено манипулятора перемещается в заданное положение. Погрешность определяется перемещением на один импульс. Начальное положение координат отсчитывается от датчика исходного положения.

Для упрощения задачи управления движением инструмента в манипуляторе применен механизм ориентации, который обеспечивает поворот сварочного инструмента вокруг точки сварки, т. е. при ориентации сварочного инструмента точка сварки остается неподвижной. Траектория точки сварки рассчитывается по трем координатам x , y , z , а ориентация по координатам φ и γ не изменяет положения точки сварки, т. е. они являются дополнительными, определяющими направление сварочного инструмента.

Например, для сварки трубчатых элементов угол наклона γ сварочного инструмента можно оставлять постоянным и, задавая приращение угла поворота φ , определять координаты x, y, z по формулам линии пересечения поверхностей (угол φ в данном случае сходен с параметром u).

Таким образом, использование робота с механизмом ориентации, не влияющим на положение точки сварки, позволяет решать задачу перемещения точки сварки по заданной траектории в системе координат x, y, z с заданной скоростью, используя простые законы управления, и одновременно независимо управлять ориентацией сварочной горелки по координатам φ и γ .

ВЫВОДЫ

1. Разработаны математические модели сварных швов при соединении трубчатых элементов,

позволяющие обеспечить выполнение роботизированной сварки по траектории, близкой к расчетной.

2. Проведена проверка точности полученных уравнений линии пересечения поверхностей свариваемых деталей.

3. Для практической реализации полученных зависимостей координат x, y, z предложена механическая манипуляционная система сварочного робота с дискретным (шаговым приводом), работающим в прямоугольной системе координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М: Издательство физико-математической литературы, 2002. 472 с.
2. Программное обеспечение промышленных роботов // Робототехника и гибкие производственные системы. М.: Наука, 1986. 279 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.791:621.643.1/2

Ф. А. ХРОМЧЕНКО, д-р техн. наук
ОАО "ВТИ"

Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов

Ч. 1. Сварные соединения трубопроводов I категории

В последнее время введены в действие нормативно-технические документы (НТД) по проведению экспертизы промышленной безопасности при эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды, отработавших парковый ресурс. Это повысило ответственность экспертных организаций и владельцев тепловых электростанций за своевременное и четкое проведение технического диагностирования опасных промышленных объектов. Однако в части технического диагностирования сварных соединений трубопроводов у специалистов, занятых контролем металла и продлением ресурса трубопроводов, имеются известные трудности в реализации нормативных требований. В связи с этим отдельные положения технического диагностирования, касающиеся сварных соединений трубопроводов, требуют специального рассмотрения.

При решении задач технического диагностирования трубопроводов (рис. 1), согласно РД 03-484—02,

предусмотрено комплексное выполнение следующих процедур:

- анализ эксплуатационной, конструкторской (проектной) и ремонтной документации;
- проведение контроля неразрушающими методами;



Рис. 1. Основные комплексные задачи, решаемые при техническом диагностировании элементов (сварных соединений, труб и фасонных деталей) трубопроводов

Таблица 1

Категория трубопровода	Группа	Рабочие параметры среды	
		Температура, °C	Давление, МПа
I	1	Свыше 560	Не ограничено
	2	Свыше 520 до 560	То же
	3	Свыше 450 до 520	— " —
	4	До 450	Более 8,0
II	1	Свыше 350 до 450	До 8,0
	2	До 350	Более 4,0 до 8,0
III	1	Свыше 250 до 350	До 4,0
	2	До 250	Более 1,6 до 4,0
IV		Свыше 115 до 250	Более 0,07 до 1,6

Примечание. Если значения параметров среды находятся в разных категориях, то трубопровод следует отнести к категории, соответствующей максимальному значению параметров среды.

— определение механических характеристик;
 — металлографические исследования;
 — определение химического состава металла;
 — оценка видов повреждений;
 — испытания на прочность и другие виды испытаний;

— расчетно-аналитические процедуры оценки и прогнозирования технического состояния, включающие расчет режимов работы, установление критериев предельного состояния металла, исследование НДС и выбор критериев предельных состояний, определение остаточного срока эксплуатации (до прогнозируемого наступления предельного состояния).

По паропроводам (трубопроводам I категории групп 1—3, табл. 1) наружным диаметром 76 мм и более из теплоустойчивых низколегированных сталей 12МХ (12ХМ), 15ХМ, 12Х1МФ (12ХМФ) и 15Х1М1Ф, эксплуатируемых при температуре пара выше 450 °C и отработавших парковый ресурс, решение поставленной задачи включает комплекс организационно-технических процедур, регламентированных СО 153-34.17.470—2003.

Особое внимание при техническом диагностировании уделяется сварным соединениям, которые в силу своих особенностей относятся к категории наиболее слабых элементов в системе паропроводов и регламентируют их ресурс. К таким особенностям относятся следующие:

— неоднородность (химическая, структурная, механическая) зон металла, следствием чего является наличие в сварных соединениях различного рода хрупких и/или мягких прослоек металла, снижающих работоспособность соединений;

— геометрическая неоднородность сварных соединений, которая провоцирует действие повышенной (высокой) концентрации напряжений в зонах перехода от поверхности швов к основному металлу. На рис. 2 приведены сварные соединения различных типов. Согласно РД 10-577—03, их классифицируют как соединения типа 1 (стыки равнотолщинных труб, концентраторы напряжений условно отсутствуют) и типа 2 (сварные соединения разнотолщинных трубных элементов с угловыми и стыковыми швами, с концентраторами напряжений). Сварные соединения типа 2 подлежат эксплуатационному контролю в увеличенных объемах из-за их повышенной чувствительности к преждевременным повреждениям. Это подтверждается результатами статистического анализа ОАО "ВТИ", из которых следует, что на долю сварных соединений типа 2 приходится около 94 % отказов, на долю соединений типа 1 — лишь 6 % общего числа повреждений (всего 1450 повреждений);

— пониженные свойства сварных соединений в сравнении с основным металлом, например, по характеристикам жаропрочности, статической и циклической трещиностойкости. Это учитывается вво-

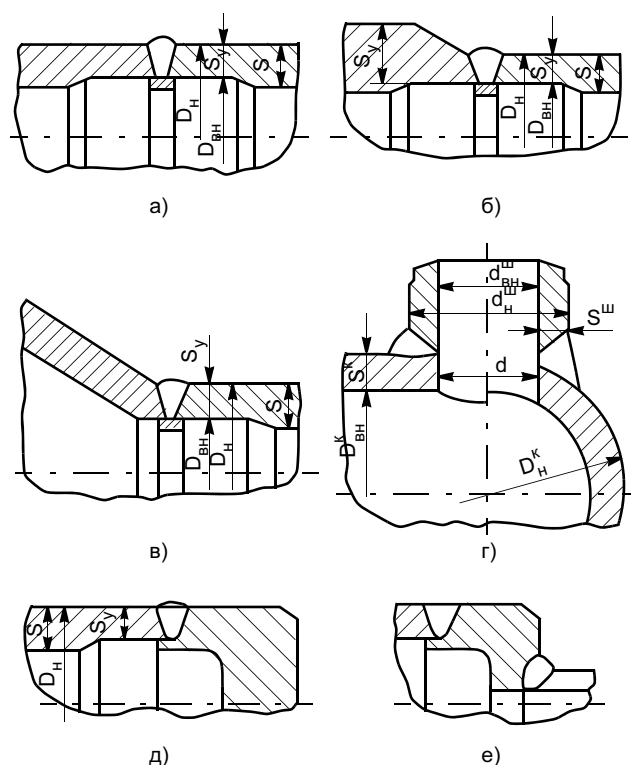


Рис. 2. Типы сварных соединений паропроводов: а — стыковое сварное соединение трубных элементов с одинаковой толщиной стенки — СССР; б — стыковое сварное соединение разнотолщинных трубных элементов — СССР_{ртз}; в — стыковое сварное соединение трубы с коническим переходом — СССР_{кп}; г — тройниковое (штуцерное) сварное соединение — ТСС (ШСС); д — стыковое сварное соединение трубы с donышком — СССР_д; е — штуцерное сварное соединение патрубка с donышком — ШСС_д

дом соответствующих коэффициентов снижения прочности при расчетной оценке работоспособности сварных соединений согласно РД 10-249—98 и других НТД.

При проведении технического диагностирования сварных соединений паропроводов с установлением возможности и условий продления срока их безопасной эксплуатации сверх паркового ресурса выполняется определенный комплекс работ (рис. 3).

Анализ технической документации включает ознакомление с паспортами, чертежами, схемами и другими документами, относящимися к техническому состоянию паропровода. Кроме того, анализу подлежит информация об условиях эксплуатации (проектных и фактических параметрах пара: температуре и давлении, а также накопленной длительности наработки и числу пусков-остановов энергетического оборудования: котла, турбины), а также о результатах проведенного контроля, по-

вреждениях и ремонте сварных соединений, расчетах на прочность паропровода.

Визуальный (ВК) и приборный (измерительный) контроль выполняют для установления фактической толщины стенки трубных элементов в пришовной зоне сварных соединений (проводят с помощью ультразвуковой толщинометрии — УЗТ), фактического наружного диаметра трубных элементов в зоне сварных соединений (особенно важно для стыковых и тройниковых или штуцерных сварных соединений разнотолщинных трубных элементов) с использованием при контроле измерительного инструмента, установления фактической формы и качества наружной (при возможности и внутренней) поверхности сварных соединений при визуальном контроле с применением (при необходимости) шаблонов и измерительного инструмента.

Контроль неразрушающими методами — ультразвуковой (УЗК), цветная дефектоскопия (ЦД), магнитопорошковая дефектоскопия (МПД), измерением твердости (ТВ), металлографический анализ с помощью реплик (МАР), ультразвуковая толщинометрия (УЗТ) — выполняется для выявления фактического состояния металла и сплошности сварных соединений в объемах, требуемых СО 153-34.17.470—2003 (табл. 2 и 3). Измерение твердости металла шва и основного металла примыкающих трубных элементов из стали 15X1M1Ф (15X1M1ФЛ) проводится для определения возможного разупрочнения сварных швов, что в дальнейшем должно учитываться при установлении возможности продления срока службы таких соединений сверх паркового ресурса. Качество сварных соединений оценивается по нормативным требованиям РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), микроповрежденность металла с оценкой остаточного ресурса сварных соединений по структурному фактору — согласно РД 153.34-1-17.467—2001. Критерии работоспособности сварных соединений паропроводов должны соответствовать требованиям, представленным в табл. 4, а качество основного металла трубных элементов — нормативным требованиям (табл. 5) согласно СО 153-34.17.470—2003.

Особая роль отводится металлографическому анализу с помощью реплик (срезов металла) или с помощью переносного микроскопа с увеличением его объемов от 10 до 100 % в зависимости от значений параметра конструкционной прочности сварных соединений (см. табл. 3). Для сварных соединений паропроводов, эксплуатирующихся до исчерпания паркового ресурса, контроль методом металлографического анализа с помощью реплик согласно РД 10-577-003 ограничивается объемом 5—10 %.

Исследования структуры, химического и фазового составов, а также механических свойств металла согласно СО 153-34.17.470—2003 проводят-



Рис. 3. Процедуры, выполняемые при техническом диагностировании сварных соединений паропроводов

Таблица 2

Тип сварного соединения (см. рис. 2)	Температура эксплуатации, °С	Объем контроля различными методами, %, при продлении срока службы			
		ВК, УЗК, МПД (ЦД) и УЗТ	ТВ	МАР соединений стали	
				12МХ (12ХМ), 15ХМ	15Х1М1Ф, 12Х1МФ
ССС	Менее 510	10/20	100	2 с. с.	10—20
	Не менее 510	20/30	100	2 с. с.	10—20
ССС _{ртз}	Менее 510	50/50	100	20	20—60
ССС _{кл}	Не менее 510	100/100	100	20	20—60
ССС _{д'} , ТСС, ШСС	Не зависит от температуры	100/100	100	50	30—100
ШСС _{д'} , ТСС	То же	100/100	100	100	30—100
Равнопроходный ШСК	—"	100/100	50/100	—	50/100

Примечания: 1. Контроль неразрушающими методами в объемах, указанных в числителе, означает требование для первого обследования с продлением ресурса, а в знаменателе — для повторного обследования с вторичным продлением срока службы.

2. Контроль методом ТВ проводится для металла шва и основного металла примыкающих трубных элементов из стали 15Х1М1Ф (15Х1М1ФЛ), для соединений из стали остальных марок — только для металла шва.

3. При обнаружении недопустимых дефектов в сварных соединениях или недопустимой микроповрежденности металла зон соединений объем контроля соответствующим методом увеличивается в 2 раза, но при этом не превышает 100 %.

Обозначения: ШСК — штампосварное колено (контролю подлежат сварные соединения с продольным швом); 2 с. с. — два сварных соединения, вырезаемые из паропроводов для исследования металла.

ся на вырезанном из паропровода представительном трубном участке со сварным соединением, отработавшим парковый ресурс.

Одновременно с этим необходимым является установление очередности проведения обследования сварных соединений при больших объемах контроля. В этом случае в соответствии с методологическим подходом, разработанным в ОАО "ВТИ", первоочередному контролю подлежат наиболее нагруженные сварные соединения, что определяется по критериям категории опасности соединений (КО) и допускаемому для них числу циклических нагружений [N^{cc}] при пусках-остановах энергетического оборудования.

Уровень КО сварных соединений устанавливается по максимальному значению составляющих КО_{кл}, КО_{пд}, КО_{мп} — значениям категории опасности сварных соединений по параметрам конструкционной прочности, запаса длительной прочности и микроповрежденности соответственно. Значения каждого из КО и соответственно объемы контроля определяются согласно методике ВТИ*.

*Хромченко Ф. А., Калугин Р. Н. Эксплуатационный контроль сварных соединений паропроводов // Энергетик. 2004. № 11.

Таблица 3

Тип сварного соединения	Параметр конструкционной прочности (ПКП)	Значение ПКП для групп			Объем контроля, %, методом МАР сварных соединений из хромомолибденованадиевых сталей для групп			Место расположения сварных соединений
		1	2	3	1	2	3	
ТСС ШСС ШСС _д	S^k/S_o^k или S^w/S_o^w	1,0—1,2	1,2—1,5	>1,5	100	100	50	На любом участке паропровода, особенно в зоне перемычек и арматуры
	$d_o/(D_n^k - 2S_{\Phi}^k)$	≥0,75	≥0,75	≥0,75	100	100	50	
		<0,75	<0,75	<0,75	75	75	30	
ССС _{ртз} ССС _{кл} ССС _д	S_y/S_o	≤1,0—1,2	1,2—1,5	≥1,5	60	40	10	То же, и вблизи неподвижных опор
ССС	S_y/S_o	≤1,0—1,2	1,2—1,5	≥1,5	60	15	10	Вблизи неподвижных опор — на перемычках у тройников

Примечания: 1. Для ТСС, ШСС и ШСС_д группа контроля выбирается по наименьшему значению из S^k/S_o^k и S^w/S_o^w .

2. Первоочередному контролю подлежат сварные соединения с разупрочненным металлом шва ($\gamma_{мш} < 1,0$) или имеющиеся ремонтные подварки.

Обозначения: d_o — диаметр отверстия и штуцера тройника; S_y — толщина стенки трубных элементов, утоненная расточкой в пришовной зоне; S_o^k , S_o^w , S_o — расчетная толщина стенки корпуса тройника, штуцера и трубного элемента соответственно (расчет проводится согласно РД 10-249—98).

Таблица 4

Критерий работоспособности сварных соединений коллекторов котлов и паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей	Оптимальное значение
Прочностной	
Длительная прочность $\sigma_{д.п}^{cc}$, МПа	Не менее $[\sigma_{д.п}^{cc}]$
Коэффициент прочности φ_{ω}	Не менее $[\varphi_{\omega}]$
Запас длительной прочности n_d	Не менее 1,0
Твердость металла шва $H_{вмш}$	140—240 (250)
Упрочнение металла шва $\gamma_{мш}$ ($\gamma_{мш} = H_{вмш}/H_{вом}$)	1,0—1,4
Разупрочнение зоны термического влияния $\xi_{рп}$, %	Не более 10
Деформационный	
Длительная пластичность $\psi_{д.пл}^{cc}$, %	Не менее 10
Критическая температура хрупкости $t_{ко}$, °C	Не более 30
Энергетический	
Удельная энергия на зарождение трещины a_z , МДж/м ² , при температуре, °C:	
20	Не менее 0,8
510—560	Не менее 0,3
Удельная энергия на развитие разрушения a_p , МДж/м ² , при температуре, °C:	
20	Не менее 0,4
510—560	Не менее 0,7
Структурный	
Содержание бейнита в основном металле Б, %	Не более 90
Размер зерна микроstructures основного металла	Не крупнее № 4
Размер зерна микроstructures металла шва и околосварной зоны (участка перегрева при сварке)	Не крупнее № 2
Доля участков с мелким зерном № 6—8 в микроstructures металла шва, %	Не менее 30
Толщина ферритных прослоек в микроstructures металла шва, мкм	15—50
Микрповрежденность порами ползучести металла зон соединения (согласно РД 153-34.1-17.467—2001), стадия	Іп—ІІп
Конструкционный	
Запас по толщине стенки трубных элементов в пришовной зоне соединения $K_s = S/S_0$	Не менее 1,4
Относительная разнотолщинность трубных элементов тройника в пришовной зоне $\beta^k/\beta^ш$	0,95—1,05
Конструкционная прочность корпуса тройника с одиночным отверстием $d_o/(D_n^k - 2S_{ф}^k)$	Не более 0,75
Силовой	
Вязкость разрушения при 20 °C K_{IC} , МПа · $\sqrt{м}$	Не менее 80
Вязкость разрушения при 545 °C K_{IC} , МПа · $\sqrt{м}$	Не менее 100
Пороговое значение вязкости разрушения в условиях ползучести на период $2 \cdot 10^5$ ч при 540 °C K_{IC} , МПа · $\sqrt{м}$	14

Таблица 5

Критерий качества основного металла паропроводов из теплоустойчивых сталей на сверхпарковый ресурс согласно СО 153-34.17.470—2003	Нормативное значение
Поверхностные дефекты: раковины, риски и другие одиночные повреждения глубиной h_d , мм	$2,0 \geq h_d \leq 10S$
Трещины всех видов и ориентации	Не допускаются
Остаточная деформация ползучести, %, для прямых труб из стали:	
12X1МФ	Не более 1,5
15X1М1Ф	Не более 1,0
То же, для прямых участков гибов из сталей этих марок	Не более 0,8
Снижение механических свойств после 10^5 ч эксплуатации по сравнению с уровнем свойств, регламентированных техническими условиями на поставку паропроводных труб:	
прочностных свойств при 20 °C, σ_B , $\sigma_{0,2}$, МПа	Не более 30
ударной вязкости при 20 °C, Дж/см ²	Не более 15
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа:	
стали 12X1МФ при 550 °C	Не менее 180
стали 15X1М1Ф при 550 °C	Не менее 200
стали 12MX и 15XM при 510 °C	Не менее 200
Микрповрежденность структуры стали при увеличении в 500 раз	Не более 4 баллов
Суммарное содержание всех легирующих элементов в карбидном осадке (к общему их количеству) для стали 12X1МФ и 15X1М1Ф, %	Не более 60
Снижение длительной прочности на период 10^5 и $2 \cdot 10^5$ ч по сравнению со средним уровнем этой характеристики, регламентированной в технических условиях на трубы, %	Не более 20
Снижение длительной пластичности на период продления срока эксплуатации, %	Не более 5,0
Снижение плотности металла вблизи наружной поверхности труб по сравнению с исходным состоянием, %	Не более 0,3
Критическая температура хрупкости, °C, стали:	
12X1МФ	Не более 60
15X1М1Ф	Не более 50
Вязкость разрушения хромомолибденованадиевой стали при 20 °C K_{IC} , МПа · $\sqrt{м}$	65—73

Допускаемое число циклов для сварных соединений $[N^{cc}]$ согласно РД 10-249—98 определяется по условию

$$1,25\sigma_{экр}/1,5[\sigma] < 1,0.$$

При невыполнении этого условия допускаемое число пусков-остановов паропровода для сварных соединений ограничивается значением 500 циклов, при выполнении условия — более 500 циклов. Первоочередному контролю в этом случае подлежат сварные соединения, для которых фактиче-

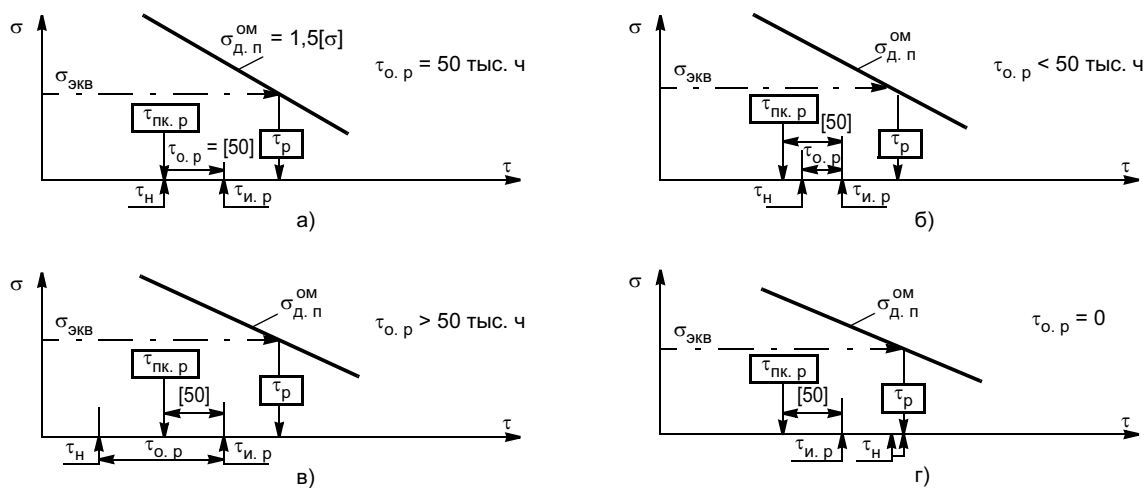


Рис. 4. Варианты схем определения остаточного срока службы сварных соединений паропроводов из хромомолибденованадиевых и хромомолибденовых сталей: а — при эксплуатационной наработке (ЭН) на период истощения паркового ресурса (остаточный ресурс соответствует допускаемому СО 153-34.17.470—2003 сроку 50 тыс. ч); б — при ЭН, превысившей парковый ресурс и не истощившей допускаемый срок продления 50 тыс. ч; в — при ЭН, не истощившей парковый ресурс; г — при ЭН, превысившей допускаемый срок продления 50 тыс. ч после истощения паркового ресурса и достигшей предельного ресурса

ское накопленное в процессе эксплуатации число пусков-остановов паропровода превышает допустимые 500 циклов.

Расчет на прочность с оценкой ресурса сварных соединений паропроводов проводится по разработанной в ОАО "ВТИ" методике с учетом требований СО 153-34.17.470—2003 и РД 10-249—98.

Парковый ресурс $\tau_{пк.р}$ определяется из условия

$$\sigma_p = [\sigma],$$

где σ_p — приведенные напряжения от внутреннего давления; $[\sigma]$ — допускаемые напряжения на сталь согласно РД 10-249—98.

Максимальный парковый ресурс сварных соединений ограничивается значением 250 и 300 тыс. ч с учетом регламентированных, согласно РД 10-577—03, предельных сроков $\tau_{пк.р}$ коллекторов и прямых труб паропроводов соответственно.

Индивидуальный ресурс $\tau_{и.р}$ сварных соединений, согласно СО 153-34.17.470—2003, устанавливается из условия

$$\tau_{и.р} = \tau_{пк.р} + [\tau_{п.р}],$$

где $[\tau_{п.р}]$ — допускаемый продленный срок службы 50 тыс. ч.

Для установленного срока $\tau_{и.р}$ сварных соединений проверяется выполнение условия

$$\sigma_{экр} \leq 1,5[\sigma] = \sigma_{д.п},$$

где $\sigma_{экр}$ — эквивалентные напряжения от действия всех нагружающих факторов (внутреннего давления, весовых нагрузок и самокомпенсации от теп-

ловых расширений); $\sigma_{д.п}$ — длительная прочность стали.

Предельный ресурс устанавливается как частный случай индивидуального ресурса по условию

$$\sigma_{экр} = 1,5[\sigma].$$

Остаточный срок службы для сварных соединений

$$\tau_{о.р} = \tau_{и.р} - \tau_n,$$

где τ_n — длительность наработки.

Схемы вариантов оценки сроков остаточного ресурса с учетом длительности наработки сварных соединений приведены на рис. 4. Применение таких схем оценки остаточного ресурса правомерно в случаях, когда сварные соединения идентичного типа-размера имеют различную наработку на одном паропроводе.

Полученные результаты технического диагностирования обобщаются и анализируются в экспертном заключении, в котором излагается установленное техническое состояние сварных соединений паропровода с оценкой их остаточного срока службы, обоснованием регламента эксплуатационного контроля и мер по продлению ресурса.

Для паропроводов из углеродистых сталей (трубопроводов категории I группы 4) с температурой эксплуатации до 450 °С техническое диагностирование проводится аналогичным образом с учетом обеспечения требуемого качества и работоспособности сварных соединений по допускаемым дефектам и эксплуатационной повреждаемости вследствие графитизации, усталости и ползучести.

А. Ф. КНЯЗЬКОВ, канд. техн. наук, Н. Ю. КРАМПИТ, канд. техн. наук,
А. Г. КРАМПИТ, канд. техн. наук
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета

Управление процессом каплепереноса при сварке в CO_2 длинной дугой

Для активного управления каплепереносом электродного металла при сварке в CO_2 применяют процессы с принудительными короткими замыканиями (сварка короткой дугой) и без коротких замыканий (сварка длинной дугой) [1]. Если для сварки с короткими замыканиями условия переноса электродного металла хорошо освещены в научно-технической литературе, то вопросы по управлению процессом каплепереноса при сварке длинной дугой освещены недостаточно.

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса каплепереноса при сварке в CO_2 с импульсным питанием длинной дугой.

Сварка с управляемым переносом электродного металла характеризуется большим числом параметров режима, чем сварка стационарной дугой [2], к ним относятся амплитуда, длительность и частота следования импульсов тока, изменяющихся в определенном диапазоне. Выбор оптимальных значений данных параметров важен при разработке оборудования и технологии сварки, поэтому необходимо определить условия получения

направленного переноса электродного металла при сварке в CO_2 с импульсным питанием длинной дугой.

При этом принимаем, что в момент начала импульса капля электродного металла расположена соосно на торце электрода. Для отрыва капли электродного металла и получения направленного переноса ее в сварочную ванну выделяем два условия.

1. Действие электродинамической силы $F_{\text{эд}}$ в зоне перехода электрод—капля (соответственно твердая фаза—жидкая фаза) должно превосходить действие силы поверхностного натяжения $F_{\text{пн}}$, направленное по поверхности капли к границе твердая—жидкая фазы. Первое условие можно записать уравнением

$$F_{\text{пн}} - F_{\text{т}} \leq F_{\text{эд}} \quad (\text{сварка в нижнем положении, рис. 1}). \quad (1)$$

2. Капля электродного металла должна захватываться столбом дуги (рис. 2), т. е. площадь анодного пятна $S_{\text{ап}}$ должна быть больше 1/2 площади капли $S_{\text{к}}$:

$$1/2 S_{\text{к}} \leq S_{\text{ап}}. \quad (2)$$

Рассчитывали амплитудное значение сварочного тока для диаметра проволоки $d_{\text{эп}} = 1,2$ мм при скорости подачи электродной проволоки $v_{\text{под}} = 650$ м/ч и частоте накладываемых импульсов $f_{\text{и}}$ в пределах от 30 до 100 Гц. Полученные значения амплитуды импульса $I_{\text{и}}$ для первого условия находятся в диапазоне от 120 до 380 А, а для второго условия — от 260 до 120 А. С учетом действия сил реактивного давления паров минимальная амплитуда тока в диапазоне частот от 30 до 100 Гц должна составлять от 530 до 400 А соответственно.

Для подтверждения теоретических расчетов проводили экспериментальные исследования на указанных режимах сварки.

На лабораторном комплексе для автоматической сварки в CO_2 [3] при использовании кинопроектора КПТ-2, скоростной кинокамеры СКС-1М с максимальной скоростью съемки до 5000 кадров в 1 с, шлейфового осциллографа Н-145, светового осциллографа С8-13, схем синхронизации и управления производили скоростную киносъемку процесса каплепереноса при сварке в CO_2 с импульсным питанием длинной дугой. Исследования

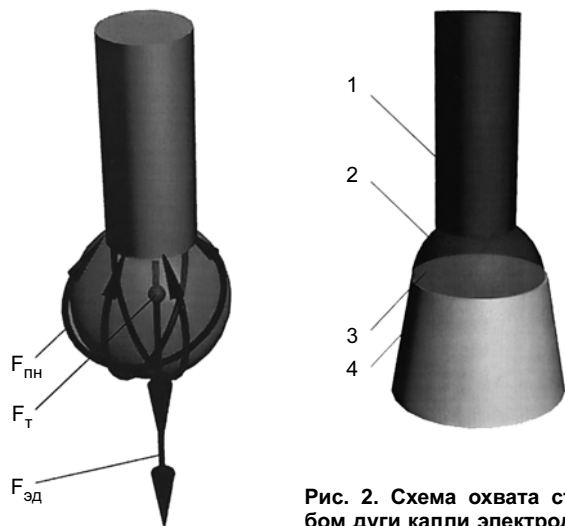


Рис. 1. Комплекс сил, действующих на каплю ($F_{\text{т}}$ — сила тяжести капли электродного металла)

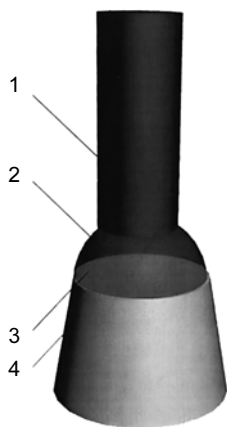


Рис. 2. Схема охвата столбом дуги капли электродного металла на интервале импульса: 1 — электрод; 2 — капля электродного металла; 3 — анодное пятно; 4 — столб дуги

проводили по следующей методике. На пластины из стали Ст3 размером $300 \times 150 \times 10$ мм наплавляли валики проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Режимы сварки поддерживали постоянными. Расход углекислого газа $Q_H = 15$ л/мин, вылет электрода $L_{эп} = 16$ мм, скорость сварки $v_{св} = 20$ м/ч, скорость подачи электродной проволоки $v_{под} = 650$ м/ч, $I_{и} = 600$ А; средний ток $I_{ср} = 140$ А, ток дежурной дуги $I_{дд} = 30$ А, $f_{и} = 60$ Гц, длительность импульсов $\tau_{и} = 4,5$ мс.

Экспериментально установили, что импульсное питание сварочной дуги благоприятно влияет на стабильность горения дуги и характер переноса электродного металла. На рис. 3 приведен наиболее характерный процесс переноса электродного металла при импульсном питании в CO_2 длинной дугой. На кадре 1 зафиксирован конец паузы. На торце электрода хорошо видна капля, образовавшаяся из электродного металла, металла, расплавленного за счет аккумулирования, и металла, расплавленного за время паузы дежурной дуги. Ток дежурной дуги составляет 30 А, поэтому реактивное давление и электродинамическая сила невелики. За период времени $t_1 - t_2$ под действием силы тя-

жести и поверхностного натяжения капля формируется на торце в виде сферы, занимающей соосное положение с электродом. Диаметр столба дуги значительно меньше диаметра капли и электрода.

С момента времени t_2 начинается увеличение тока импульса и сил, действующих на каплю. На кадрах 2, 3 показан момент нарастания сварочного тока. За счет теплонасыщения столб дуги увеличивается, принимает бочкообразную форму и стремится обхватить каплю. Нарастание тока происходит плавно, поэтому капля не смещается на боковую поверхность электрода, а продолжает занимать соосное с ним положение.

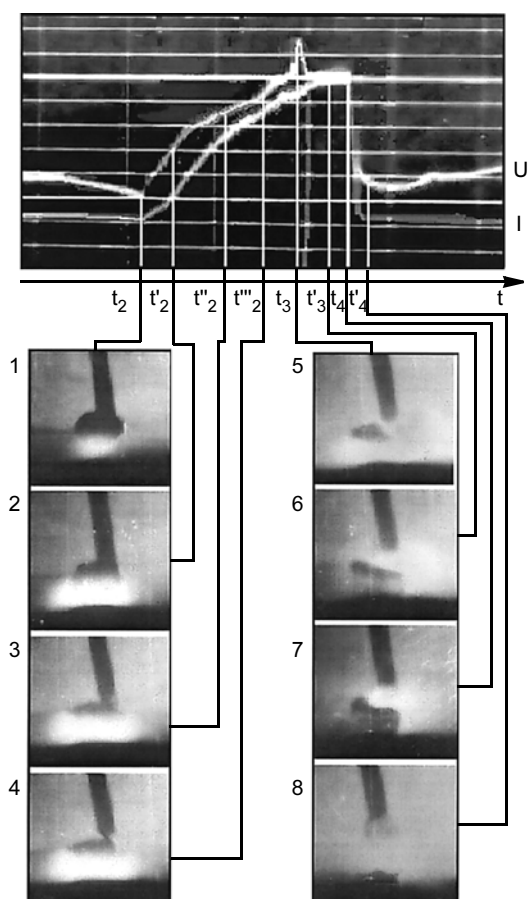
Образование шейки между электродом и каплей представлено на кадре 4. С нарастанием сварочного тока увеличивается и электродинамическая сила, под действием которой капля втягивается в столб дуги и движется в сторону ванны.

В момент времени t_3 происходит отрыв капли и ускорение ее движения в сторону сварочной ванны. На кадре 5 зафиксирована оторвавшаяся капля. После разрыва перемычки реактивное давление паров значительное, поэтому капля сильно деформирована. При взрыве шейки и отрыве капли дуга резко перемещается на электрод.

Переход капли в сварочную ванну представлен на кадрах 6, 7. С момента времени t_4 ток уменьшается и, как следствие, происходит сужение столба дуги. В отличие от сварки в аргоне капля в CO_2 не имеет шарообразной формы, но ее направленный перенос неоспорим. В интервале времени $t_4 - t_1$ осуществляется дозирование энергии, идущей на расплавление следующей капли. Момент начала дозирования определяют по всплеску напряжения дугового промежутка, который происходит в момент времени t_3 . Так как при этом не учитывается энергия данного импульса, унесенная ушедшей каплей, а только энергия, идущая на расплавление последней капли, то создаются предпосылки для точного дозирования энергии и стабильности размеров капли.

Проводили исследования процесса сварки при импульсном питании с целью определения области режимов с управляемым переносом электродного металла. На рис. 4 приведена область режимов, ограниченная кривыми 1 и 2, с управляемым переносом электродного металла.

Ограничение области режимов при малой длительности импульсов, по-видимому, связано с более интенсивным изменением характеристик плавления и переноса электродного металла. Так, увеличение амплитуды импульсов приводит к значительному изменению сил, действующих на каплю, увеличивается скорость полета и воздействие ее на сварочную ванну, что ухудшает формирование металла шва. При значениях амплитуды выше кривой 1 капли могут разрываться на электроде, при этом



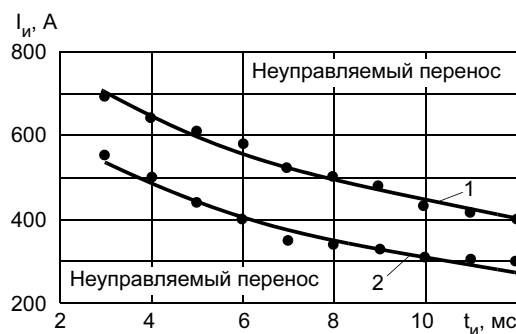


Рис. 4. Область режимов с управляемым переносом электродного металла

увеличивается разбрызгивание электродного металла. Необходимо отметить, что увеличение амплитудного значения тока приводит к резкому перемещению оставшегося на торце металла вверх по электроду. Это также может являться причиной разбрызгивания и нарушения устойчивости процесса.

При увеличении длительности и снижении амплитуды импульса перенос электродного металла приобретает более плавный характер. Влияние изменения амплитуды тока при больших длительностях менее сказывается на поведении капель расплавленного металла. Изменение параметров импульсов позволяет регулировать среднее значение

тока в широких пределах при постоянной скорости подачи электрода.

Ориентировочные режимы сварки длинной дугой в CO_2 при импульсном питании для постоянной скорости подачи электрода приведены в работе [3].

Таким образом, проведенные исследования подтвердили реальную возможность применения импульсного питания при сварке в CO_2 .

ВЫВОДЫ

1. Теоретически определены и практически подтверждены условия отрыва капли электродного металла при сварке в CO_2 с импульсным питанием длинной дугой.

2. Определена область режимов, параметры импульсов в которой обеспечивают управляемый каплеперенос электродного металла при импульсном питании дуги в углекислом газе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лещевкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
2. Бучинский В. Н., Потаповский А. Г. Выбор параметров режима импульсно-дуговой сварки стальным плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1979. № 6. С. 15—18, 25.
3. Совершенствование процесса сварки в CO_2 в щелевую разделку / А. Ф. Князьков, Н. Ю. Крампит, А. Г. Крампит, С. А. Князьков // Сварочное производство. 2004. № 1. С. 36—38.

www.MVK.ru

(495) 105-34-42

РОССИЯ, МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

30 октября – 2 ноября 2007

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ

WELDEX
РОССВАРКА

7-я Международная специализированная выставка

www.weldex.ru

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4

Дирекция выставки: тел./факс: (495) 105-34-42, e-mail: msa@mvk.ru

Региональные представительства

Выставочного холдинга MVK:

МVK-УРАЛ: тел./факс: +7 (343) 371-24-76

МVK-СИБИРЬ: тел./факс: +7 (383) 226-53-17

МVK-ЮГ: тел./факс: +7 (863) 234-52-45

МVK-ВОЛГА: тел./факс: +7 (843) 291-75-89

МVK-СЕВЕРО-ЗАПАД: тел./факс: +7 (812) 332-15-24

Организатор:

■ Выставочный холдинг MVK

При поддержке:

Министерства промышленности и энергетики РФ

Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков

При содействии:

Российский Союз разработчиков и производителей сварочной продукции

Генеральный информационный спонсор:

Журнал «Сварочное производство»

Информационные спонсоры:

Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки

До выхода из строя в результате потери чертежных размеров потеря массы крупногабаритных (более 1—2 т) деталей оборудования редко превышает 3—5 %, но для массы 2 т это составляет 100 кг металла, а для 50 т — несколько тонн (с припуском на механическую обработку, если она обязательна). Из-за больших служебных нагрузок такие детали изготавливают из среднелегированных или легированных сталей, чаще всего с содержанием углерода более 0,25 %. Большинство служебных инструкций для сварки таких материалов предусматривает предварительный и сопутствующий подогрев до 200—400 °С для предотвращения горячих и холодных трещин в металле шва и ОШЗ основного металла при нижнем положении расплавленного металла.

Для сложного ремонта крупногабаритных деталей применяют механизмы с импульсной подачей электродной проволоки. В работе [1] описан механический модулятор сварочного тока¹ (ММСТ) — механизм с системой управляемой импульсной подачи электродной проволоки, обладающий следующими основными преимуществами в сравнении с традиционным оборудованием с постоянной скоростью подачи:

- возможность выполнения сварки и наплавки во всех пространственных положениях материала, обычно применяемыми только для нижнего положения;

- использование практически любых источников питания дуги (с разными внешними ВАХ и током разного рода);

- снижение установленной мощности источников питания дуги в 1,5—1,8 раза с соответствующим уменьшением стоимости и расходов на эксплуатацию;

- экономия электроэнергии на 30—50 % на 1 кг наплавленного металла [1], что отвечает требованиям ЕС от 2001 г., хотя многие устаревшие технологии не соответствуют новым требованиям ЕС;

- облегчается обучение и переподготовка персонала (операторов-сварщиков и наплавщиков);

- существенное уменьшение массы оборудования и силовой электротехнической продукции (сварочных кабелей, коммутирующих узлов и др.),

благодаря чему масса оборудования на один пост уменьшается в несколько раз.

Необходимо отметить, что хотя теоретическое обоснование возможности применения в качестве ММСТ механизмов подачи с квазиволновыми преобразователями (КВП) было предложено давно, однако только в настоящее время авторам удалось разработать работоспособную конструкцию такого механизма в ряде вариантов [2, 3], решив при этом важную задачу профилирования зубчатой передачи с передаточным отношением 25—80. Именно такие значения передаточных отношений приемлемы для большинства практических задач с согласованными параметрами дугового процесса без использования при этом дополнительной редукции. Снижению массогабаритных показателей оборудования с механизмами на основе КВП способствовало и повышение кпд, которое для одноступенчатого КВП составляет не менее 0,8, поскольку он определяется только трением в единственной зубчатой паре. Все взаимно-вращательные перемещения в механизме осуществляются на шариковых подшипниках с 15—50-кратным запасом по радиальным нагрузкам и 2—3 порядками по критической частоте вращения. Шарикоподшипники для рассматриваемого класса механизмов подбирают при этом лишь конструктивно по диаметру вала.

При изготовлении первых вариантов КВП с передаточным числом 35—43 лекальная доводка профилей зубьев пары взаимодействующих шестерен занимала несколько десятков часов, в дальнейшем параллельно с эксплуатационными испытаниями доведенных механизмов подачи с КВП совершенствовалась расчетная база и подбор коэффициентов коррекции зубьев и смещения зуборезного инструмента. В результате почти пятилетней теоретической, экспериментальной и доводочной работы удалось уменьшить объем лекально-доводочной операции до 20—30 мин на пару шестерен КВП, а также ввести в возможный вариант КВП одну из шестерен из капролона, полиамида и подобных материалов.

В настоящее время полностью завершена работа по предсерийной подготовке выпуска КВП для сплошной порошковой электродной проволоки диаметром 1,0—3,2 мм. Успешно опробована реализация дугового процесса сплошной электродной

¹ Патент 1811664 (СССР).

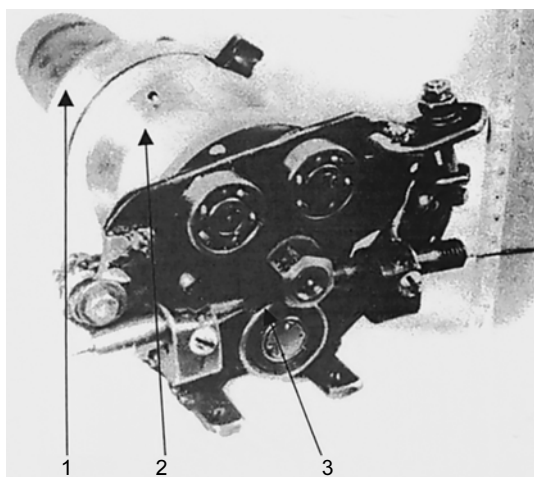


Рис. 1. Вариант конструкции механизма импульсной подачи с КВП: 1 — приводной электродвигатель; 2 — КВП; 3 — устройство прижима с разгрузкой выходного вала

проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм от источника ВС300Б при приборном токе 45—70 А.

Ниже приведены примеры применения полуавтоматов с механизмом импульсной подачи Лебедева—Мозока (ЛМ) при сложном ремонте крупнобаритных деталей оборудования непосредственно на объектах (предприятиях различных отраслей Украины). Отдельный механизм импульсной подачи с КВП приведен на рис. 1.

Восстановление "корыта" диффузионного аппарата Д-12

Диффузионный аппарат предназначен для обеспечения начальной стадии извлечения сахара из стружки сахарной свеклы. Стоимость такого аппарата производства Польши в 1985—1990 гг. составляла 1,2 млн долл. США. Аппарат представляет наклонно установленное крытое металлическое сооружение шириной около 12 м, длиной около 30 м с двумя многоопорными шнеками (с перекрытием витком на 500 мм) и приводами трубопроводов шнеков с обоих концов "корыта". Свекольная стружка подается с нижнего конца, вода течет с верхнего, шнеки подают стружку вверх до жмыхотранспортера. изнашиваемая нижняя часть аппарата подогревается паровой рубашкой, вследствие чего замена путем вырезки листов стали с повреждениями исключена, так как ребра жесткости приварены снаружи, а паровая рубашка — поверх ребер жесткости.

Ввиду ограниченности времени на ремонт (период перед пуском в работу) были организованы и задействованы две бригады по два оператора — одна с двумя полуавтоматами А547У (запас электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм — 120 кг), вторая — с полуавтоматом ПШ107И, оснащенным импульсным механизмом подачи на основе КВП типа ЛМ-65 (передаточное отношение одноступенчатого редуктора 65) с запасом электрод-

ной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,6 мм — 640 кг. Полуавтомат А547У был модернизирован так, чтобы работать по схеме с независимым питанием систем управления и регулирования. Блочно-модульная конструкция полуавтомата ПШ107В, на основе которой разработан полуавтомат ПШ107И, предусматривает вариант питания систем полуавтомата от независимого источника.

В результате работы при одинаково затраченном времени бригада с полуавтоматом А547У выполнила наплавку днища площадью 7,8 м² с минимальной толщиной до наплавки 2,8—3,2 мм, вторая бригада — площадью 40,2 м² с минимальной толщиной металла до наплавки в местах, близких к ребрам жесткости 1,5—2,0 мм. При этом второй бригаде во многих местах приходилось наплавлять на один—два слоя больше, чем первой.

Расход углекислого газа для первой бригады составил 11 баллонов, а для второй — 12 баллонов, причем вторая бригада наплавляла почти в 4 раза больше металла. Таким образом, очевидно, что расход углекислого газа при применении полуавтомата с импульсным механизмом подачи на основе КВП электродной проволоки большего диаметра практически в 4 раза меньше, чем в полуавтоматах с постоянной скоростью подачи проволоки меньшего диаметра. Приборный ток на источниках питания дуги ВДУ504 и ВДУ506, которыми укомплектованы полуавтоматы А547У и ПШ107М, в обоих случаях составлял 180—200 А. Объем работы был ограничен остаточной толщиной корыта, при этом при попытке интенсифицировать работу полуавтоматом А547У с использованием электродной проволоки диаметром 1,2 мм отмечались прожоги листов толщиной менее 2,5—2,8 мм.

При приемке работы второй бригады зафиксирован налет мелкой пыли темно-серого цвета, легко удаляемый металлической щеткой. После проведения работ по восстановлению наплавкой корыта диффузионного аппарата с управляемой импульсной подачей электродной проволоки он полностью готов к эксплуатации. При проведении наплавочных работ полуавтоматом А547У требуются дополнительные затраты на удаление приваренных брызг и огарков электродной проволоки с наплавленной поверхности.

Восстановление зубьев звездочек транспортной системы диффузионного аппарата

На каждом диффузионном аппарате Д-12 установлены четыре звездочки диаметром 1900 мм, массой 4,5 т с приводом от трехрядной цепи с диаметром роликов 50 мм. В каждом ряду 65 зубьев, наклон плоскости звездочки от вертикали составляет 17°. Стоимость одной такой звездочки в Польше составляет около 16 тыс. долл. США (данные 1996 г.), транспортные расходы и строимонтаж

звездочки — 2,7 тыс. долл. США. Очень важным является временной фактор, так как для замены звездочки требуются 7—8 сут. Срок службы звездочки 5—7 сезонов. Ввиду неравномерности износа и большой стоимости работ на предприятии ограничиваются единоразовой заменой двух звездочек — по одной на каждом трубовале. Имеются попытки восстановления звездочек методами механизированной наплавки, но эта работа успешна лишь при демонтаже звездочки и наличии условий для выполнения такой операции, в том числе элементов ограничения растекания расплавленного металла жидкой ванны.

Авторы разработали технологию восстановления зубьев без демонтажа звездочки с трубовала с применением полуавтоматов типа ПШ107И при управляемой импульсной подаче электродной проволоки. В этом случае прецизионная наплавка обеспечивает равновесное управляемое состояние ванны жидкого металла. Время восстановления одной звездочки бригадой из четырех-пяти человек составляет 4—5 сут.

Восстановление корпусов дробилок

На Северном горнообогатительном комбинате (СевГОК) в Кривом Роге проведена реставрация двух корпусов дробилок массой по 48 т. На работу по наплавке затрачено по 0,6 т самозащитных порошковых электродных проволок ПП-АН7 и ПП-АН3 диаметром 2,8 и 3,0 мм соответственно. Пространственное положение швов — от нижнего до полупотолочного, толщина слоя от 2 до 25 мм. Выполнение такой наплавки стало возможным при использовании полуавтоматов ПШ107И с механизмами импульсной подачи ЛМ-50 и ЛМ-65, обеспечивающими различные величины шагов подачи электродной проволоки при одинаковой интегральной скорости в различных пространственных положениях. Приборный ток источника питания дуги ВС-632 составлял 160—180 А, т. е. существенно ниже обычно рекомендуемого для электродных проволок этого типа при постоянной скорости их подачи. Работу по наплавке проводили непрерывно круглосуточно сменами по 12 ч тремя операторами при одном полуавтомате. При этом обеспечивалась производительность наплавки 50—60 кг электродной проволоки за смену. Никаких отклонений в работе механизма импульсной подачи не обнаружено.

Восстановление зубьев крупномодульных шестерен

На Южном горнообогатительном комбинате (ЮГОК) в Кривом Роге были восстановлены зубья вал-шестерен с параметрами $z = 17$ и $z = 19$; $m = 35$ мм; $l = 480$ мм (z — число зубьев, m — модуль, l — длина зуба). Материал шестерни — сталь 40ХГН. Основная задача при наплавке таких зубьев — обеспечение восстановленных геометриче-

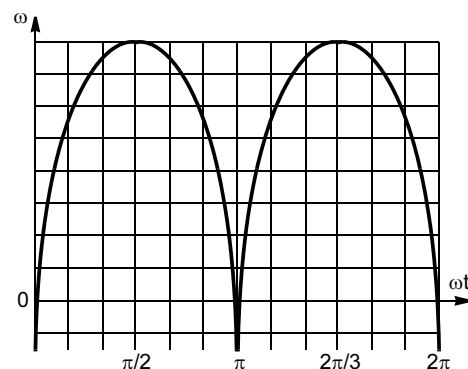


Рис. 2. Реверсивное движение электродной проволоки

ских параметров зубьев, не требующих последующей механообработки или минимальной обработки. По разработанной технологии изношенную сторону зуба наплавляли обратноступенчатым методом с импульсной подачей электродной проволоки. При этом достигалось образование валика шириной 25—30 мм и валики следовали от ножки к вершине зуба. В данном случае потребовалась точная настройка механизма импульсной подачи для обеспечения дозированного переноса электродного металла в жидкую ванну. Наиболее эффективной при использовании самозащитной порошковой электродной проволоки диаметром 3,2 мм оказалась настройка механизма с шагом подачи 2,2. Регулировка механизма обеспечила подачу с частичным реверсом (9,3 %) скорости движения электродной проволоки (рис. 2). Именно реверсивное движение электродной проволоки создает дополнительное ускорение, обеспечивающее управляемый перенос электродного металла в жидкую ванну. При реализации этой технологии использовали полуавтомат ПШ107И с импульсным механизмом подачи ЛМ-50 с модулем зубьев $m = 1,5$. При этом весьма важным оказалось комплектование полуавтомата укороченными шланговыми держателями (рис. 3). В такой компоновке форма импульса подачи, генерируемая механизмом, практически не изменяет

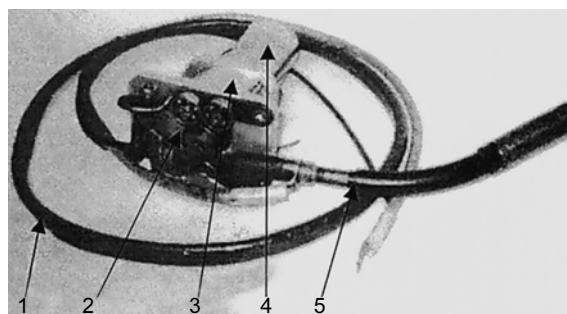


Рис. 3. Механизм импульсной подачи на основе КВП с трактами перемещения электродной проволоки: 1 — подводящий гибкий направляющий канал; 2 — прижимной узел; 3 — механизм с КВП; 4 — приводной электродвигатель ДПР-72; 5 — укороченный шланговый держатель

своей формы и весьма эффективна для управления переносом электродного металла [4]. Применяемая самозащитная порошковая электродная проволока имела следующие параметры: предел прочности 850—900 МПа, относительное удлинение 20—25 %; ударная вязкость не менее 90 Дж/см² при 20 °С. После наплавки механообработку не проводили за исключением зачистки абразивным кругом отдельных дефектов. Через 100 мото-часов работы износ наплавленных зубьев в 3,5 раза меньше, чем у ненаплавленных зубьев.

Полуавтоматы с ММСТ применяют для наплавки улиток земснарядов, узлов шахтного оборудования, деталей мощной землеройной техники и др.

Требуют некоторого пояснения вопросы, связанные с низкими значениями приборных токов и мощностей, а также снижение расхода защитного газа при сварке и наплавке с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки.

В среднем на плавление электродной проволоки дугой расходуется 30 % мощности источника сварочного тока, остальная мощность идет на излучение и нагрев проводников. С ростом тока производительность плавления электродной проволоки также растет, при этом, например, для порошковой электродной проволоки эта зависимость носит непропорционально возрастающий характер — практически квадратичная зависимость в диапазоне 300—450 (500) А. При импульсной подаче, следуя изменениям в импульсе движения электродной проволоки, будет меняться и сварочный ток в пределах, обуславливаемых параметрами импульса. Отсюда следует, что при относительно небольших значениях среднего (приборного) тока процесса коэффициент наплавки существенно выше значения, которого следовало бы ожидать при среднем значении тока.

Существенным для повышения производительности при дуговых процессах сварки и наплавки является величина вылета электродной проволоки. Особенно при наплавке порошковыми самозащитными электродными проволоками, когда вылет для проволоки диаметром 2,5—3,0 мм обычно составляет 50—70 мм, а в ряде случаев может быть увеличен до 150—180 мм. Такое увеличение вылета, как показала практика, позволяет снизить ток процесса на 30—40 % без снижения качества наплавленного слоя. При этом также отмечается снижение нагрева сварочных кабелей. Повышение эффективности процесса при применении регулируемой импульсной подачи электродной проволоки объясняется дополнительным нагревом вылета джоулевой теплоты

$$q = 0,24 I^2 R t_n, \quad (1)$$

где I — ток дугового процесса; R — электрическое сопротивление проволоки в вылете; t_n — время нагрева.

В перерывах между импульсами $t_n > t_c$ (t_c — время отсутствия горения дуги при обычной подаче электродной проволоки). При этом очевидно, что при импульсной подаче в соответствии с формулой (1) нагрев вылета будет большим, а следовательно, требуются меньшие энергетические затраты на плавление электродной проволоки.

Короткое время существования уменьшенной по размерам ванны жидкого металла в процессах с импульсной подачей электродной проволоки и ускоренное движение капель за счет инерции в импульсном движении объясняют и снижение расхода защитного газа вследствие принудительной дегазации ванны. При этом также снижается порообразование в наплавленном слое и сварном шве при любой природе порообразующего газа.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны механизмы импульсной подачи электродной проволоки на основе квазиволновых преобразователей с передаточными отношениями 17—78 и интегральными скоростями подачи 100—400 м/ч электродной проволоки диаметром 0,8—3,2 мм с мощностью приводных электродвигателей 20—200 Вт. Масса такого механизма в сборе не превышает 3 кг (без электродвигателя), что существенно ниже, чем у лучших современных полуавтоматов для подачи самозащитных порошковых электродных проволок больших диаметров (ПДГ508, ПШ107).

2. Ввиду значительно меньшего числа деталей и подшипников в механизмах с квазиволновыми преобразователями технологическая трудоемкость его изготовления значительно меньше, чем традиционных цилиндрических и червячных (ПДГ508, ПШ107, А765 и др.). Несколько более высокая отпускная цена нового оборудования обусловлена принципиально новой технологией сварки и наплавки.

3. Экономия при плавлении электродной проволоки при замене 50 % существующего (по оценке 90-х годов) парка полуавтоматов и полуавтоматов в Украине составила 2,4—3,2 млрд кВт·ч электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мозок В. М. Совершенствование технологии сварки и наплавки плавящимся электродом с применением механического модулятора сварочного тока // Автоматическая сварка. 1996. № 2. С. 57—58.
2. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 5. С. 39—44.
3. Лебедев В. А., Пичак В. Г., Смолярко В. Б. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов // Автоматическая сварка. 2001. № 5. С. 31—37.
4. Лебедев В. А. Влияние направляющего канала сварочного полуавтомата на параметры импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1999. № 2. С. 45—48.

А. В. ЛЮШИНСКИЙ, д-р техн. наук, **А. А. ЕФАНОВ**, инж.

(ФНПЦ ОАО "РПКБ", Раменское Московской обл.),

С. В. ЧУКЛИНОВ, канд. экон. наук

(ОАО «НПО "Сатурн"», Москва),

А. В. БИЛЫК, инж.

(ЗАО "АТИК", Москва),

В. В. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук, **Ю. А. СОКОЛОВ**, канд. техн. наук

(ОАО "Электромеханика", Ржев),

В. П. ПРОСВИРИН, инж., **С. Д. БРАТЧУК**, канд. техн. наук

(НИКИМТ, Москва)

Установка УДС-1 для диффузионной сварки

Одной из основных причин, сдерживающих широкое внедрение процесса диффузионной сварки в промышленное производство, является низкая производительность специализированного оборудования.

Традиционная установка для диффузионной сварки имеет одну рабочую камеру объемом $0,1 \text{ м}^3$ с двумя форвакуумными и одним диффузионным насосами [1]. В большинстве установок предусмотрен радиационный нагрев с возможностью ручного управления скоростями нагрева и охлаждения. Сварочное давление к деталям от механизма нагружения передается через сильфонный узел. Соединяемые детали находятся на рабочем столе, установленном на днище вакуумной камеры. Это один из недостатков установки, так как днище камеры воспринимает прикладываемое сварочное давление, общая величина которого может достигать тысячи паскалей.

Габаритные размеры изделий, свариваемых в установке, ограничены не только внутренними размерами рабочей камеры, но и расположенными в ней токоподводами и нагревательными элементами.

Технологический цикл сварки одного изделия включает:

- сборку изделия в специальном приспособлении в рабочей камере;
- создание вакуума (не ниже $0,665 \text{ Па}$) в рабочей камере;
- нагрев до рабочей температуры $T_{\text{св}}$, °С;
- выдержку в течение t , мин, при $T_{\text{св}}$ и сварочном давлении p , МПа;
- охлаждение до комнатной ($18\text{—}20^\circ\text{С}$) температуры $T_{\text{комн}}$;
- напуск воздуха в рабочую камеру;
- разборку приспособления и извлечение готовой детали.

Обычно технологический цикл равен 3—4 ч при сварке деталей из металлических материалов, когда нет необходимости строго контролировать и управлять скоростями нагрева и охлаждения, кото-

рые могут достигать $30\text{—}50^\circ\text{С/мин}$. При сварке узлов, сочетающих металлические и неметаллические детали, когда температурно-временной режим оказывает основное влияние на качество соединения, технологический цикл может достигать 8—10 ч и более. Даже групповая технология (сварка нескольких узлов в многоместном приспособлении) не обеспечивает крупносерийного производства.

Разработана и изготовлена установка УДС-1 нового поколения для диффузионной сварки в вакууме (рис. 1). Объем главной рабочей камеры $0,4 \text{ м}^3$ (диаметр 1 м, высота 0,5 м), вакуум ($6,65 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$) создается двумя форвакуумными насосами (на рис. 1 не показаны) и одним диффузионным.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 2.

Установка состоит из рабочей вакуумной камеры манипулятора А, системы вакуумирования и

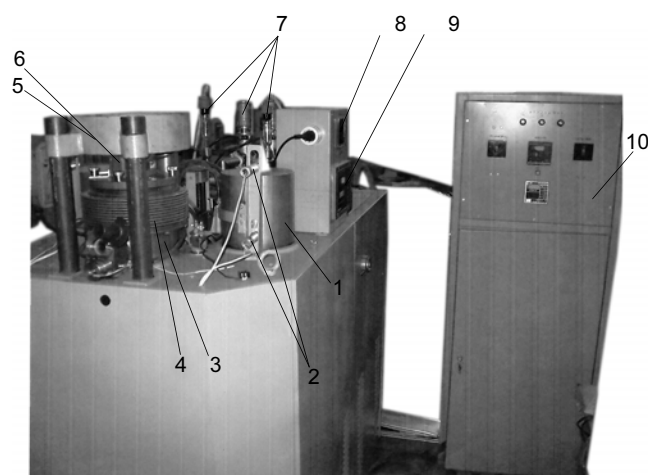


Рис. 1. Установка УДС-1 для диффузионной сварки: 1 — камера загрузки; 2 — датчики положения камеры загрузки; 3 — камера сварки; 4 — сильфонный узел; 5 — силовой упор; 6 — силовое измерительное устройство; 7 — элементы вакуумной системы; 8 — датчик температуры; 9 — терминал ТВ-003/05Д; 10 — шкаф управления

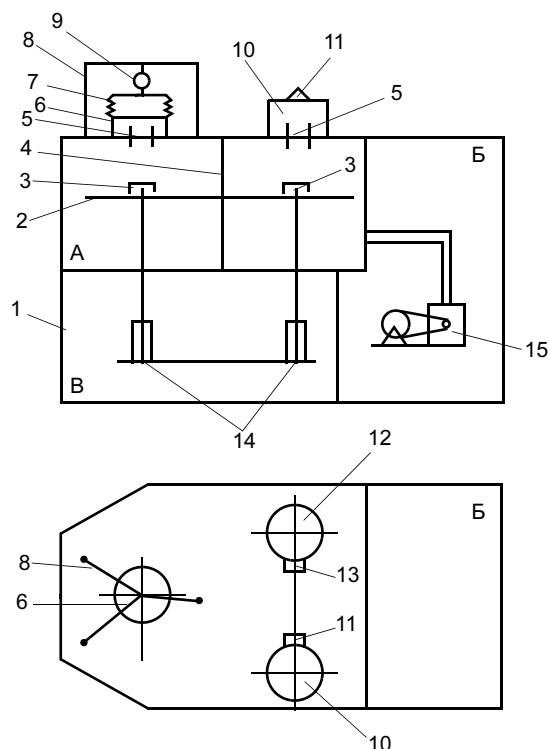


Рис. 2. Принципиальная схема установки УДС-1

устройств контроля за ее работой Б, механизмов перемещения штоков и вращения планшайбы В.

Рабочая вакуумная камера расположена внутри силовой рамы 1. Внутри камеры находится планшайба 2, которая имеет возможность вращения на оси вала 4. На планшайбе расположены четыре съемных рабочих стола 3 для сборки деталей под сварку. На одной оси с рабочими столами в рабочей камере выполнены отверстия 5 для перемещения рабочих столов из рабочей камеры в камеры загрузки, сварки, выгрузки и обратно. На внешней стороне рабочей вакуумной камеры расположены камера сварки 6 с сильфоном 7, над которой установлен силовой упор 8 с силоизмерительным устройством 9. Под углом 120° к камере сварки находятся камера загрузки 10 и камера выгрузки 12 с механизмами подъема-опускания 11 и 13 соответственно. Механизмы перемещения штоков 14 расположены на силовой раме ниже вакуумной рабочей камеры.

Установка работает следующим образом. При включении установки все рабочие столы подняты вверх до полного соприкосновения с верхними отверстиями рабочей камеры. При этом в камере начинает откачиваться воздух и создаваться вакуум. Колпак загрузочной камеры поднят, и на первый рабочий стол устанавливают приспособление со свариваемыми деталями. После установки приспособления колпак опускают и производят откачку воздуха из-под него. Когда давление в камере и под

колпаком сравняется, первый рабочий стол с деталями специальным штоком опускают на планшайбу. Стол фиксируется на планшайбе, а шток опускается ниже уровня планшайбы, чтобы не мешать ее вращению. Производят поворот планшайбы на 90° и переносят первый рабочий стол с деталями под сварочную камеру. Вторым штоком поднимают первый рабочий стол с деталями в зону сварки к нагревателю. Детали упираются в пуансон верхней крышки сварочной камеры, на которой снаружи установлено силоизмерительное устройство, контролирующее заданное сварочное давление на свариваемые детали. Специальное устройство ввода термопары обеспечивает ее касание деталей для фиксирования и регулирования температуры в зоне сварки. Включают нагрев и начинают процесс сварки.

В это же время шток камеры загрузки поднимает с планшайбы второй рабочий стол до полного касания с отверстием рабочей камеры таким образом, чтобы изолировать камеру загрузки от внутреннего объема рабочей камеры. Поднимают колпак камеры загрузки и на второй рабочий стол устанавливают второе приспособление с собранными деталями под сварку. Колпак опускают и вакуумируют подколпачное пространство. Затем шток опускает второй рабочий стол на планшайбу и перемещается ниже уровня планшайбы.

За время перемещения деталей в загрузочной камере и опускания их на планшайбу в сварочной камере происходит сварка. Выключают нагрев, отводят термопару от деталей. Шток опускает первый рабочий стол со сваренными деталями на планшайбу и проворачивает ее на 90° так, чтобы первый рабочий стол располагался над штоком, который перемещает его в камеру охлаждения и выгрузки. Одновременно с этим второй рабочий стол поступает в сварочную камеру, где с ним повторяются те же операции, что и ранее с первым рабочим столом.

Параллельно на шток под камеру загрузки на планшайбе поступает третий рабочий стол. Все три штока одновременно поднимаются, и каждый из них занимает следующую позицию: в камере загрузки шток поднимает третий рабочий стол и перекрывает доступ атмосферы в рабочую камеру. В сварочной камере шток поднимает второй рабочий стол с деталями к нагревателю, в камере выгрузки детали охлаждаются в вакууме до комнатной температуры.

Затем в камере загрузки приступают к ее разгерметизации, подъему колпака и загрузке приспособления со следующей сборкой. В сварочной камере с деталями на втором рабочем столе проводят диффузионную сварку. В камере выгрузки после охлаждения деталей напускают воздух, поднимают колпак и извлекают сваренные детали. Колпак опускают, герметизируют подколпачное пространство и

перемещают шток с первым рабочим столом в нижнее положение.

В это же время в камере загрузки опускают колпак, создают вакуум и шток с третьим рабочим столом опускают на планшайбу. После проведения сварки деталей на втором сварочном столе в камере сварки выключают нагрев, отводят термопару, шток переносит стол на планшайбу. Вращают планшайбу на 90° таким образом, чтобы третий рабочий стол с деталями под сварку попал в сварочную камеру, второй стол из сварочной камеры — в камеру охлаждения, а четвертый рабочий стол — в камеру загрузки для сборки новой партии деталей под сварку.

Перемещения всех механизмов и устройств выполняются в полном соответствии с программой, заложенной в промышленном компьютере, который является неотъемлемым элементом конструкции установки. Предусмотрена работа установки и в ручном режиме, что важно на этапе отработки режимов диффузионной сварки новых материалов и изделий.

Установка оснащена в полном объеме контролирующими приборами и устройствами:

- в пяти точках вакуумной системы осуществляется контроль наличия и поддержания вакуума;
- силоизмерительное устройство измеряет и обеспечивает заданное сварочное давление на свариваемые детали;
- термопара контролирует и обеспечивает поддержание заданной температуры в зоне сварки.

Давление в различных точках вакуумной системы установки измеряется сертифицированным прибором "МЕТАКОН-562".

Вакуумная система установки состоит из двух линий: низковакуумной и высоковакуумной. Форвакуумный режим откачки обеспечивается механическим АВЗ-20 и роторным ДВН-150 насосами соответственно. Высоковакуумный режим обеспечивается диффузионным паромасляным НД-250 и механическим НВР-5 насосами.

Две линии связаны между собой посредством клапана.

Вакуумная система оснащена измерительными средствами давления ПМТ-2, а также автономной системой водяного охлаждения и контроля.

Терминал ТВ-003/05Д обеспечивает измерение сжимающего усилия (преобразованием сигнала с тензодатчика в цифровой код), отображение результатов измерения, обмен информацией с программируемым контроллером.

Система управления установки УДС-1, построенная по структуре PLC—PC, включает логический программируемый контроллер семейства DL-205 компании PCL Direct by Kooyo Inc (Япония—США) (нижний уровень) и персональный компьютер (верхний уровень).

Система управления конструктивно состоит из следующих частей: шкафа силовой автоматики;

шкафа управления нагревом, усилием сжатия и вакуумной откачкой; автоматизированного рабочего места оператора на базе персонального компьютера.

Функции распределены между контроллером и компьютером. Контроллер выполняет функции управления технологическим процессом, компьютер — только терминальную задачу управления — ввод, редактирование и запись программ диффузионной сварки, визуализацию состояния элементов технологического оборудования, хранение файлов истории технологического процесса, событий и ошибок.

Аппаратные средства системы управления позволяют реализовать закон автоматического регулирования температуры с программируемым участком ее нарастания и спада, усилия, поворота планшайбы.

На рис. 3 приведен экран с базовым окном оперативного управления. Области базового окна вакуумной установки диффузионной сварки отличаются от традиционного окна СЧПУ. Основное место экрана занимает мнемосхема установки, отображающая состояние элементов вакуумной системы, систем нагрева и усилия. Мнемосхема включает управляющие элементы (насосы и клапаны) и элементы для динамического отображения значений силы и температуры.

Цвет элемента технологической системы фиксирует его состояние: красный — клапан закрыт, насос выключен; зеленый — клапан открыт, насос включен; желтый — неопределенное положение механизма.

Область функциональной клавиатуры содержит кнопки типа "Клавиша", нажатие на которые открывает новое диалоговое окно ("Выходы", "Входы", "Программа сварки", "Регистрация", "График") и кнопки типа "Триггер", позволяющие последовательно активировать и деактивировать включение автоматического цикла сварки.

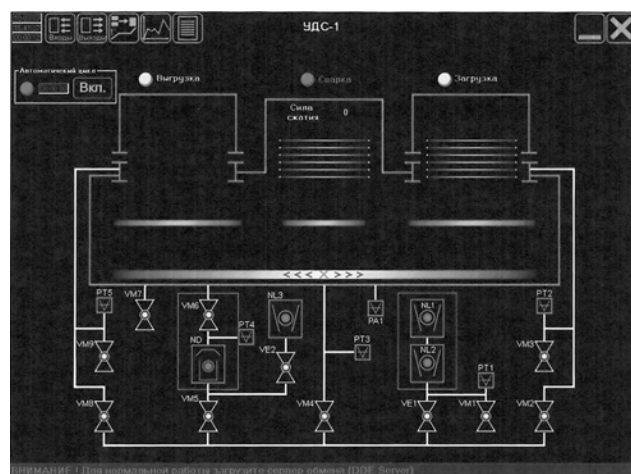


Рис. 3. Экран с базовым окном оперативного управления

Система управления во время работы производит регистрацию и хранение параметров технологического процесса с привязкой к конкретному изделию и реальному времени, контроль событий, ошибок и аварийных ситуаций с записью на электронный носитель с функциями "черного ящика" посредством создания файлов: архивного, параметров нагрева, событий, ошибок.

Запись в архивный файл происходит с заданной периодичностью. Данные хранятся в формате Excel.

Файл содержит данные о регистрации, текущую программу нагрева (если она загружена, в противном случае выводится надпись "управляющая программа не загружена!"), архивируемые данные (общее время и время от включения системы управления, вакуум, температура).

На основании файла архива, сохраненного в формате Excel, оператор строит графики основных технологических параметров для дальнейшего анализа рабочего цикла установки.

Запись в файл событий происходит в момент их происхождения: включение—выключение устройств, изменение вакуума на каждую степень, изменение температуры на каждые 100 °С и т. д.

Файл событий содержит дату запуска програм-

мы, время события (общее время и время от включения установки) и его описание.

Запись в файл ошибок происходит в момент возникновения ошибки. В этот файл фиксируют дату, время, код и описание ошибки. Файл хранится в текстовом формате.

Оператор имеет возможность в реальном масштабе времени просмотреть график температуры или усилия. Обновление данных происходит с заданной периодичностью. Задание управляющих воздействий и ввод программируемых параметров технологического процесса осуществляют с помощью клавиш.

Таким образом, автоматизированное рабочее место оператора позволяет собирать и обрабатывать информацию о процессе сварки. Полностью автоматическое управление сварочным циклом позволяет исключить влияние человеческого фактора на производственный процесс.

Представленная установка позволяет реализовать технологии диффузионной сварки различных изделий из разнообразных материалов. Ее эксплуатация наиболее эффективна на серийных заводах, при этом производительность по сравнению с ранее выпускавшимися установками повышается в 2—3 раза.



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



Оборудование для дуговых способов сварки



Установки для контактной сварки



Установки для плазменной резки



Машины для термической резки



Машины для лазерной резки

Разработка комплексных решений для Вашего производства. Демонстрационные залы. Лизинг

Санкт-Петербург: (812) 326 9246	Екатеринбург: (343) 310 0012	Самара: (846) 273 3515
Москва: (495) 642 6857	Ростов-на-Дону: (863) 299 5019	Новосибирск: (383) 211 2770
Нижний Новгород (8312) 78-54-90	Тольятти: (8482) 51-19-00	Омск: (3812) 33-83-90

Ждем Вас на WWW.DUKON.RU

Публикуется на правах рекламы

**В. А. БАБКИН, инж., А. И. ЛАВРОВ, инж., П. Б. ЛОВЫРЕВ, инж.,
М. Н. ТРУХАН, инж.**
(ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры"),
О. Г. ФИНОГЕНТОВ, инж., Н. В. КОРАБЛЕВ, инж.
(ОАО "Казаньоргсинтез"),
П. М. КОРОЛЬКОВ, инж.
(ОАО "ВНИИмонтажспецстрой")

Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства

Предприятие ОАО "Казаньоргсинтез" провело реконструкцию реактора установки для производства полиэтилена низкого давления. Одним из изменений в конструкции реактора являлась варка в корпус 36 новых технологических штуцеров различного диаметра, расположенных по высоте на 11 уровнях между отметками 1432—13 531 мм. Толщина стенок реактора в местах варки штуцеров составляла 45 и 65 мм. Материал — сталь А52РР1, отечественный аналог — сталь 09Г2С. Диаметр цилиндрической части корпуса реактора 4420 мм.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации все вновь выполненные сварные соединения должны пройти термическую обработку по режиму высокого отпуска с целью снижения уровня остаточных сварочных напряжений (ОСТ 26-291—94, ПБ 03-576—03).

Термическую обработку части корпуса реактора с вваренными штуцерами предусматривалось провести согласно техническим условиям проекта ЗАО "Петрохим Инжиниринг" путем ввода теплоносителя во внутреннюю полость реактора — способ внепечного объемного нагрева для снятия остаточных напряжений¹.

Участок реактора, подлежащий нагреву, теплоизолировали с наружной поверхности минераловатными матами М1-100 толщиной 100 мм, а часть внутреннего объема, куда подавался теплоноситель, снизу и сверху ограничивали временными теплоизолирующими перегородками. Схема нагрева реактора приведена на рисунке.

Подача продуктов сгорания во внутреннюю полость отделенного участка реактора осуществлялась через устройства ввода теплоносителя, закрепленные на фланцах штуцеров, причем конст-

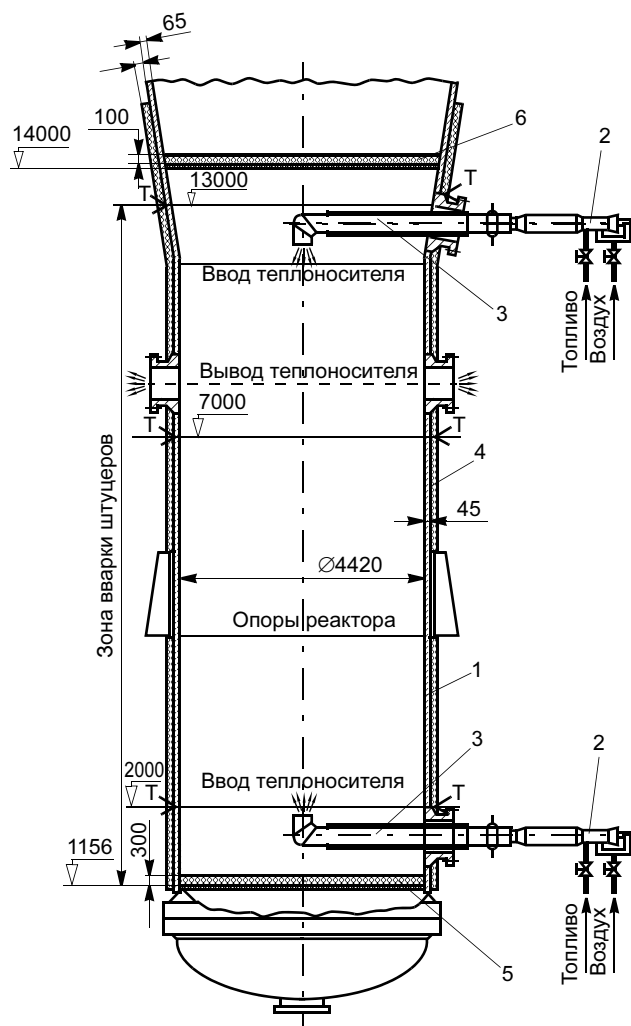


Схема термической обработки реактора (Т — термометры):
1 — корпус; 2 — теплогенератор; 3 — устройство ввода теплоносителя; 4 — теплоизоляция; 5, 6 — теплоизолирующие перегородки

¹Патент 2243242 (РФ).

рукция устройств позволяла при необходимости изменять направление тепловых потоков. Выход отработанных продуктов сгорания осуществлялся через ряд штатных штуцеров.

В качестве источников тепловой энергии использовали два жидкотопливных теплогенератора ГГЖ-1 мощностью 1 МВт каждый². Особенность конструкции применяемых теплогенераторов обеспечивает высокую скорость подачи теплоносителя во внутренний объем нагреваемого объекта, что, в свою очередь, вызывает интенсивную рециркуляцию продуктов сгорания в его внутреннем пространстве и способствует равномерному распределению температуры по всей площади нагреваемой поверхности.

Для замера температуры на наружной поверхности корпуса реактора устанавливали термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ТХА (К). Расположение термопар и их количество выбирали таким образом, чтобы контролировать температуру нагрева как по высоте, так и диаметру конструкции.

Управление процессом нагрева осуществлялось вручную путем изменения мощности теплогенераторов (интенсивности подачи теплоносителя) и изменением направления тепловых потоков.

²Свидетельство на полезную модель 29130 (РФ).

Процесс нагрева контролировался по показаниям автоматического регистрирующего потенциометра ФЦЛ 501-14 и записывался на диаграммную ленту. Скорость нагрева составляла 70 °С/ч, температура нагрева 580—600 °С, время выдержки 2,2 ч, скорость охлаждения 50 °С/ч. Перепад температур в нагреваемом объеме реактора в период выдержки превышал 20 °С. Общий цикл термической обработки без подготовительных работ составил 16 ч. Расход дизельного топлива на нагрев участка реактора массой 70 т составил 1600 л.

Термическую обработку проводили на оборудовании и по технологии ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" (РТМ 26-44—82).

Все сварные соединения подвергали 100 %-ному контролю ультразвуковой и цветной дефектоскопией. Аппарат подвергали пневматическим испытаниям в сочетании с акустико-эмиссионным контролем. Дефекты не обнаружены.

Из трех подлежащих реконструкции реакторов в 2005 г. два подвергали термической обработке.

Разработанная технология обеспечивает управление процессом на всех этапах обработки (нагреве, выдержке, охлаждении).

Применение внепечного объемного нагрева позволило значительно сократить сроки реконструкции реакторов с обеспечением качества термической обработки, соответствующего нагреву изделия в термической печи.

УДК 621.791:658.562

А. Е. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук
ИЭС им. Е. О. Патона

Процессный подход в системах менеджмента качества электродного производства по МС ISO серии 9000:2000

В основе международных стандартов ISO серии 9000:2000 и их национальных версий, действующих в России и Украине с 2001 г., лежат следующие принципы менеджмента качества: ориентация на потребителя; лидерство; вовлечение персонала; процессный подход; системный подход; постоянное улучшение; принятие решений, основанное на фактах; взаимовыгодные отношения с поставщиками [1, 2].

Семь из перечисленных принципов не отражены в явном виде в стандарте ISO 9000:2000, регламентирующем требования к системам менеджмента качества (СМК). Принцип же процессного подхода

детализирован в разделе 4.1 указанного стандарта, непосредственно касающемся общих требований к СМК, т. е. формально должен быть предметом аудита деятельности по качеству.

Действительно, стандарт ISO 9000:2000 предписывает при разработке СМК:

- определять процессы, необходимые для СМК, и их применение во всей организации;
- определять последовательность и взаимодействие этих процессов;
- определять критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности как при осуществлении, так и управлении этими процессами;

— обеспечивать наличие ресурсов и информации, необходимых для поддержания этих процессов и их мониторинга;

— осуществлять мониторинг, измерение и анализ этих процессов;

— принимать меры, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения этих процессов.

Процессный подход считают ключевым среди приведенных принципов менеджмента и по степени его реализации судят о совершенстве управления в СМК. Он коренным образом изменил концепцию стандартов ISO серии 9000, поскольку пришел на смену функциональной (элементной) концепции, на которой были основаны прежние версии стандартов менеджмента качества. Как отмечено в работе [3], все перечисленные выше принципы ISO в процессном подходе тесно взаимосвязаны: принцип процессного подхода, обусловленный принципом учета интересов внутренних и внешних потребителей, предполагает проведение анализа процесса и принятие решений на основе фактов, что, в свою очередь, способствует улучшению процесса и т. д. Другими словами, через процессный подход фактически проводят проверку действенности остальных принципов при аудите СМК. Следовательно, процессным подходом должен владеть каждый работающий в сфере менеджмента качества.

Детально перечисляя в п. 4.1 все, что должна сделать организация при разработке СМК, стандарт ISO 9000:2000, тем не менее предоставляет ей полную свободу действий в выборе конкретных путей реализации этих предписаний. Единственно четко сформулировано требование, чтобы организация, которая "решает передать сторонним организациям выполнение какого-либо процесса, влияющего на соответствие продукции требованиям, должна обеспечить со своей стороны контроль такого процесса. Управление им должно быть определено в СМК".

Процессный подход [3—7] включает несколько важных позиций:

— ориентацию на обеспечение прибыльности бизнеса организации путем удовлетворения интересов потребителей вместо тейлоровского подхода, направленного на достижение прибыли исключительно путем повышения производительности труда;

— обеспечение непрерывности управления на стыках задействованных в системе отдельных процессов при их комбинировании и взаимодействии в рамках СМК;

— создание базиса саморегулирующегося управления организацией, способного гибко реагировать на текущие требования потребителей и прогнозировать потребности потенциальных заказчиков (в условиях жесткой конкуренции гибкость

управления ослабляет давление, которому подвергается организация из-за быстро меняющихся требований заказчика, сокращения времени для реакции на запросы рынка и растущих требований собственных сотрудников);

— расширение сферы применения процессной ориентации, которая в прежних редакциях стандартов ограничивалась лишь производством, т. е. функциями жизненного цикла продукции (ЖЦП) для распространения ее на все виды деятельности, влияющие на качество;

— перевод деятельности в рамках СМК из статической (как это имело место при элементном подходе) в динамичную форму, поскольку в "процессе" всегда присутствуют переменные факторы, такие как пространство и время, а в "элементе" их нет, и создание таким образом условий для постоянного улучшения деятельности в СМК;

— оптимизацию соотношения традиционной вертикальной (иерархической, консервативной) составляющей организационной структуры управления с горизонтально ориентированной (гибкой и динамичной) составляющей с целью обеспечения наиболее благоприятных условий для повышения результативности и эффективности труда и его мотивации;

— предоставление возможности соизмерения предпринимаемых действий с затратами ресурсов на основе новой системы сбора экономической информации по каждому процессу для перехода с учета "затрат на качество" на управление экономической эффективностью менеджмента качества.

Практика показывает, однако, что использование процессного подхода вызывает немалые трудности при разработке СМК, причем не только в производстве электродов.

Ниже приведена история становления процессного подхода, что, по мнению авторов, снимет многие трудности его восприятия и обусловит создание предпосылок для становления и практического применения данного подхода в менеджменте качества электродного производства.

Зарождение процессного подхода в начале XX века связывают с именами А. Файоля, положившего начало административному менеджменту, и М. Портера, обосновавшего необходимость взаимодействия между звеньями ценностнообразующей цепи для обеспечения успешной деятельности фирмы [5, 8].

В 60-х годах XX века была создана методология описания процессов при структурном анализе и проектировании сложных систем (SADT). Ее в 70-х годах успешно апробировали вооруженные силы США при моделировании процессов в рамках ICAM (Integrated computer-aided manufacturing), затем она была оформлена как Федеральный стандарт IDEF0 [9].

В СССР в 90-х годах для поддержания кооперативных связей, которые во вред экономике рвались в перестроечный период, специалисты Госстандарта предложили подходы, основанные на сквозном механизме управления, а именно: интеграционный программно-целевой метод, информационное моделирование и модель экономических взаимоотношений. Цель такого механизма — организовать взаимодействие предприятий (или их подразделений в пределах предприятия), являющихся смежниками при создании продукции для потребителя. В программно-целевом механизме также подразумевалось, что выход одного процесса являлся входом следующего по всем технологическим цепочкам. Правда, в условиях плановой экономики указанные входы и выходы были строго регламентированы и не допускали, к примеру, свободного выбора поставщика, потребителя, уровня цен и т. д., что существенно ограничивало маневренность подхода.

Огромный всплеск интересов к процессам как форме организации бизнеса связывают с публикациями Т. Дзвенпорта, Д. Шорта, М. Хаммера, Д. Чампи и др. [5, 8, 11].

М. Хаммер стал идеологом реинжиниринга — способа развития организации путем переориентации на потребителя и перекрестно-функциональные формы менеджерской деятельности, при которой стратегические бизнес-процессы становятся ключевыми объектами управления (менеджмента). Т. Дзвенпорт сформулировал взгляд на процесс как на совокупность его структуры, направленности, способов измерений, владельцев и потребителей.

М. Портер ввел в описание процессов такие понятия, как цепочка ценностей, система ценностей и позиционирование. Ценность организации, по М. Портеру, измеряется той стоимостью, которую покупатели готовы заплатить за товары или услуги. Эти ценности создаются организацией в ходе деятельности, которую М. Портер разделил на первичные и поддерживающие процессы. К первичным видам деятельности он отнес основную технологическую и экономическую деятельность, непосредственно ориентированную на потребителя (обеспечение поставок сырья, изготовление продукции, ее сбыт, маркетинг, продажу и обслуживание), а к поддерживающим — материально-техническое обеспечение, совершенствование технологии, управление инфраструктурой и персоналом.

Системы ценностей образуются вследствие взаимодействия внутренних ценностных видов деятельности с цепочками ценностей потребителей и других организаций из внешнего окружения; в результате их оптимизации организация может создать себе преимущество.

Позиционирование — это комплекс маркетинговых действий, обеспечивающих конкурентоспособ-

ность товара, в зависимости от характера которого используют приемы, ориентирующие на:

- широту номенклатуры и обеспечение, если не всех, то по крайней мере большей части потребностей на выбранном сегменте рынка (касается товаров, которые организация может производить наилучшим образом);

- обслуживание большей части или всех потребностей отдельной группы покупателей (касается новых разработок);

- деление потребителей на сегменты в зависимости от способа доступа к ним, от географического места их расположения, численности (касается планирования поставок).

Существенное влияние на развитие процессного подхода оказали идеи отца кибернетики Н. Винера. Его схема, включающая "входы—процесс—выход", оказалась очень удобной для представления процесса, так как охватывает все сразу (и не отвлекает на детали). Он предложил называть схему процесса моделью "черного ящика".

Процессом называется действие или совокупность действий, которыми "входы" преобразуют в "выходы". "Входы" процесса — это обычно исполнители, сырье, энергия, документация и другие виды исходной информации, инструменты и оборудование, условия окружающей среды и т. п., а его "выходы" — продукция, услуги, информация о продукции, отходы и т. п.

Для инженеров, решающих практические производственные задачи получения продукции с заданными параметрами в рамках ЖЦП, процессный подход достаточно известен [12]. Суть процессного подхода в их представлении можно изложить достаточно просто. Любая деятельность имеет цель, и в соответствии с положениями МС ISO 9000 исполнитель любого процесса должен иметь возможность оценить, насколько его результат соответствует поставленной цели, и при необходимости изменить в требуемую сторону результат на выходе процесса, регулируя его входы.

Отсутствие названных двух условий чаще всего свидетельствует о том, что процесса нет. "В этом случае любые действия по идентификации процесса, определение его взаимодействия с другими процессами, мониторингу, разработке документации и т. д. бессмысленны" [12].

Осуществление технологических процессов постоянно совершенствуется во многих отраслях производства. Хорошо отработаны их входы (заготовка), технологические операции (механическая, термическая, химическая обработка и др.), и выходы (в виде детали с запланированными свойствами и характеристиками). Последние подвергаются специальным измерениям, результаты которых убеждают в достижении цели технологического процесса. Процессы многократно повторяются, разрабатыва-

ются и вводятся в действие методы управления ими, что повышает их эффективность при последующем осуществлении. Возникающие рассогласования устраняют с помощью корректировки, систематический анализ результативности дает основания для улучшений.

Ниже приведены примеры технологических процессов, применяемых в производстве сварочных электродов:

- заготовительные (изготовление стержней, порошков материалов электродных покрытий, жидкого стекла);
- подготовительные (дозирование и смешивание материалов покрытия, приготовление обмазочных масс);
- ключевые (опрессовка, термическая обработка электродов);
- вспомогательные (контроль производственных процессов, испытание готовой продукции);
- заключительные (упаковка, хранение и отгрузка продукции заказчику).

Опыт осуществления технологических процессов, накопленный в электродном производстве, обобщен в заводских и отраслевых технологических инструкциях, отраслевых стандартах, типовых технологических процессах и т. д. Известны СМК электродного производства, которые построены исключительно на технологической документации.

Новым в постановке стандартов ISO серии 9000:2000 является только сам термин "принцип процессного подхода" в применении к технологическим процессам, предписание распространить этот подход на другие виды деятельности (включая управление, социальную сферу, процессы СМК) и требование реализации этого подхода для целей сертификации.

Однако даже технологические процессы различаются по степени изученности объективной взаимосвязи между входом и выходом. Есть процессы, исполнители которых до начала его осуществления знают, каковы должны быть входы, чтобы в данных условиях с высокой вероятностью получить заданный выход.

Труднее осуществлять процесс, исполнитель которого до его начала этой взаимосвязи не знает. Все, что происходит в ходе исполнения такого процесса, можно представить в виде "черного ящика", так как нельзя проконтролировать изготавливаемый продукт в процессе его изготовления. Без предварительной подготовки управление процессом было бы похожем разве что на игру в рулетку. Только многократно повторяя его в виде цикла Э. Деминга (PDCA), можно найти желаемый результат, естественно, расходуя на это время и ресурсы. Такие процессы в соответствии с методологией стандартов ISO серии 9000:2000 относят к специальным. Их исполняют в детерминированном режиме (т. е. по за-

благовременно выбранным и отработанным предписаниям). К специальным относят все технологические процессы сварочного и многие технологические процессы электродного производства. Доля специальных процессов в общем количестве процессов, функционирующих на электродном предприятии, может колебаться в зависимости от вида продукции, технической и контрольно-аналитической оснащенности предприятия, а также от квалификации персонала. Аналогично можно рассуждать о процессах менеджмента качества, которые не входят в состав производственной (технологической) цепочки.

Таким образом, задача производителей электродов действительно состоит в том, чтобы процессные подходы были отлажены и документально оформлены не только в технологической, но и в другой деятельности, которую осуществляют в рамках СМК.

Предложено несколько видов классификации и идентификации процессов СМК.

В стандарте ISO 15504, имеющем отношение к программным средствам и информационным системам, выделены три группы процессов: основные (касаются цепочки "поставщик—потребитель"), инженерные (касаются разработки и сопровождения), а также вспомогательные и организационные (организация и управление).

На основе данного стандарта разработана трехуровневая схема процессов, ориентированная на экономическое обеспечение СМК [12]. Самый верхний (стратегический) уровень включает процессы взаимодействия с заинтересованными сторонами, которые служат для удовлетворения интересов менеджмента (процессы, управления), сотрудников (социальные процессы) и потребителя (бизнес-процессы). На втором (иерархическом) уровне, который играет тактическую роль в управлении, разветвляются процессы ЖЦП. На третьем (оперативном) уровне выделяют процессы, которые выполняются группами в рамках отдельных проектов или индивидуально отдельными сотрудниками на рабочих местах. Особое внимание уделяется бизнес-процессам, поскольку они направлены на создание ценности, всегда иницируются и финансируются извне и реализуются после решения руководства о целесообразности их осуществления. В процессах управления, которые в координации с бизнес-процессами обеспечивают создание ценности, вырабатывается стратегия организации. Среди управленческих выделяют так называемые вспомогательные процессы, которые запускаются по мере необходимости (ремонт, обслуживание оборудования, подготовка персонала и др.).

Этот подход развит в работе [13], в которой классифицируют процессы как объекты, выбираемые для улучшения. При этом стремятся получить ответы на вопросы:

— какие процессы функционируют в организации (составляется реестр процессов);

— какие из процессов наиболее значимы для организации (создают ценности, возможности для их создания и играют поддерживающую роль);

— какова "степень зрелости" процессов, т. е. насколько они хорошо функционируют с точки зрения результативности, эффективности и гибкости.

Результативность как синоним качества характеризует степень соответствия результата нуждам и ожиданиям потребителей, экономичность определяет, какой ценой результат достигнут, т. е. характеризует такой важный внутренний показатель, как прибыльность процесса; гибкость отражает чувствительность процесса и способность реагировать на изменение внешних условий.

Принципиально новый подход к классификации процессов менеджмента качества предложен в работах [6, 8]. Рассматривая, как это требуют стандарты ISO серии 9000:2000, процессы с точки зрения добавленной ценности и для потребителя и для организации, авторы этой работы отнесли все процессы, функционирующие в СМК, к бизнес-процессам. При этом имеется в виду, что, во-первых, добавленная ценность — это совокупность факторов, свидетельствующих о повышении удовлетворенности одной или нескольких заинтересованных сторон; добавленная ценность может иметь денежное выражение (увеличение стоимости того или иного объекта) или не иметь его (повышение моральной удовлетворенности), а во-вторых, бизнес-процессами в менеджменте качества называют процессы, порождаемые потребителями [12, 14]). Исходя из степени влияния на получение добавленной ценности все бизнес-процессы организации поделены на:

— основные (базовые), непосредственным результатом которых является выпуск продукции или оказание услуг (как правило, это процессы ЖЦП);

— обеспечивающие, результатом которых является создание необходимых условий для осуществления базовых процессов;

— процессы менеджмента (управления), результатом которых является повышение результативности и эффективности базовых и обеспечивающих процессов.

Следует учитывать, что базовые процессы выдают выходные (конечные и промежуточные) результаты, повышающие стоимость продукции и влияющие на удовлетворенность потребителей, поэтому стратегически важны для успешного бизнеса организации. Наряду с этим, они, пронизывая всю производственную деятельность организации по горизонтали, объединяют весь бизнес. Процессы управления, напротив, объединяют организацию по вертикали. Базовые процессы замыкаются на реализацию и послепродажное обслуживание

продукции. Через базовые процессы как через задающие реализуется миссия организации. Будучи по своей природе консервативными, т. е. в меньшей мере и медленнее других групп процессов подвергающимися изменениям, они образуют базис организационной структуры предприятия, в рамках которой создаются каналы обратной связи между группами процессов, важные для улучшения этой структуры. Базовыми процессами определяется состав и структура обеспечивающих и управляющих процессов, которыми решаются тактические и оперативные задачи менеджмента качества. Очень важно, что структура бизнес-процессов в работах [6, 8] дается в привязке к разделам стандарта ISO 9000:2000.

Предложенные подходы развиты в работах [15—18].

Определение (выделение и идентификация) процессов СМК в работе [15] также сделано на основе стандарта ISO 9000:2000. Если прочитать комментарии, то станет ясно, что в п. 4.1 рекомендуются четыре укрупненные группы процессов СМК, которые в привязке к разделам 5—8 стандарта ISO 9000:2000 имеют следующий вид: управленческая деятельность (п. 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6; 4.2а и 4.2б); обеспечение ресурсами (п. 6.2; 6.3; 6.4); ЖЦП (п. 7.1—7.6); измерения, анализ и улучшение (п. 8.2—8.5).

Эти группы процессов можно расположить в последовательности, которая вытекает из управленческого цикла Э. Деминга (PDCA).

Этот вариант лучше, однако и в нем процессы создания самой СМК полностью включены в первую группу. Ясно, что это минимальный набор процессов, который диктуется предприятию стандартом ISO 9000:2000. Он достаточен для составления перечня процессов, необходимого для сертификации СМК. Остальные процессы, которые потребуются для расширения работ по качеству и для их улучшения, можно дополнить, опираясь на разделы стандарта ISO 9004:2000. Следует иметь в виду, что формирование перечня процессов — явление, повторяющееся и обновляющееся по мере развития организации.

В работе [16] тоже отмечается, что процессный подход следует приложить к организации управления, организации деятельности и развертыванию бизнес-цепочек. Процессы организации деятельности, определенные и идентифицированные на основе четырех разделов стандарта ISO 9000:2000, подразделяются при необходимости на subprocessы, определяющие действия исполнителей на разных уровнях управления. Перечень четырех групп процессов, определенных в стандарте, включает:

— процессы реализации функций высшего руководства;

— процессы менеджмента ресурсов (управление информацией, документацией, оборудовани-

ем, закупаемым сырьем и комплектующими элементами, персоналом, производственной средой и инфраструктурой, финансами);

— процессы ЖЦП (определение и анализ требований к продукции, проектирование, производство, эксплуатация);

— процессы измерения, анализа и улучшений.

В требованиях ISO 9000:2000 можно найти упоминания примерно 20 процессов применительно к организации, которые регламентируют действия персонала в отношении:

— формирования и реализации политики и целей в области качества;

— разработки, актуализации и обращения всех видов документации;

— технического обслуживания технологического и энергетического оборудования;

— обеспечения точности измерений;

— закупок;

— обеспечения производственной среды;

— поддержания компетенции персонала;

— определения и анализа требований потребителя;

— проектирования (разработки продукции);

— осуществления действий по управлению несоответствующей продукцией;

— поставки и др.

В результате дальнейшего разукрупнения или объединения можно получить 40—45 процессов. Примерно такое же количество управленческих функций выделялось в системах качества, которые создавались по стандартам ISO серии 9000:1994. Это наводит на мысль, что многие, если не большая часть процедур, которые разрабатывались в виде стандартов предприятия (СТП, СТО) в прежних СК, должны быть переработаны в виде процессных процедур организации (ППО).

Следует помнить, что стандарт ISO 9000:2000 требует при сертификации по крайней мере наличия шести обязательных документов, касающихся процессных процедур.

Опыт зарубежных менеджеров качества свидетельствует о том, что в ряде видов деятельности можно обойтись только двумя глав-

ными процессами: поставкой товара, состоящей из производства и распределения, и получением денег за товары. Можно назвать третий, относящийся к развитию новых направлений. В телекоммуникациях эти два процесса представляют процессы "время до потребителя" и "время до рынка". В первом случае важнейшими являются скорость и точность выполнения заказа, а во втором, т. е. в процессе производства совершенно нового товара, главное — быть первым на рынке с новым продуктом, пусть еще и не совсем совершенным [4].

Недостаток приемов классификации процессов менеджмента качества, предложенных в работах [15, 16], заключается в пренебрежении ролью исполнителя (хозяина) процесса в идентификации процесса как самостоятельного вида деятельности. Это в какой-то мере отражает традиционное

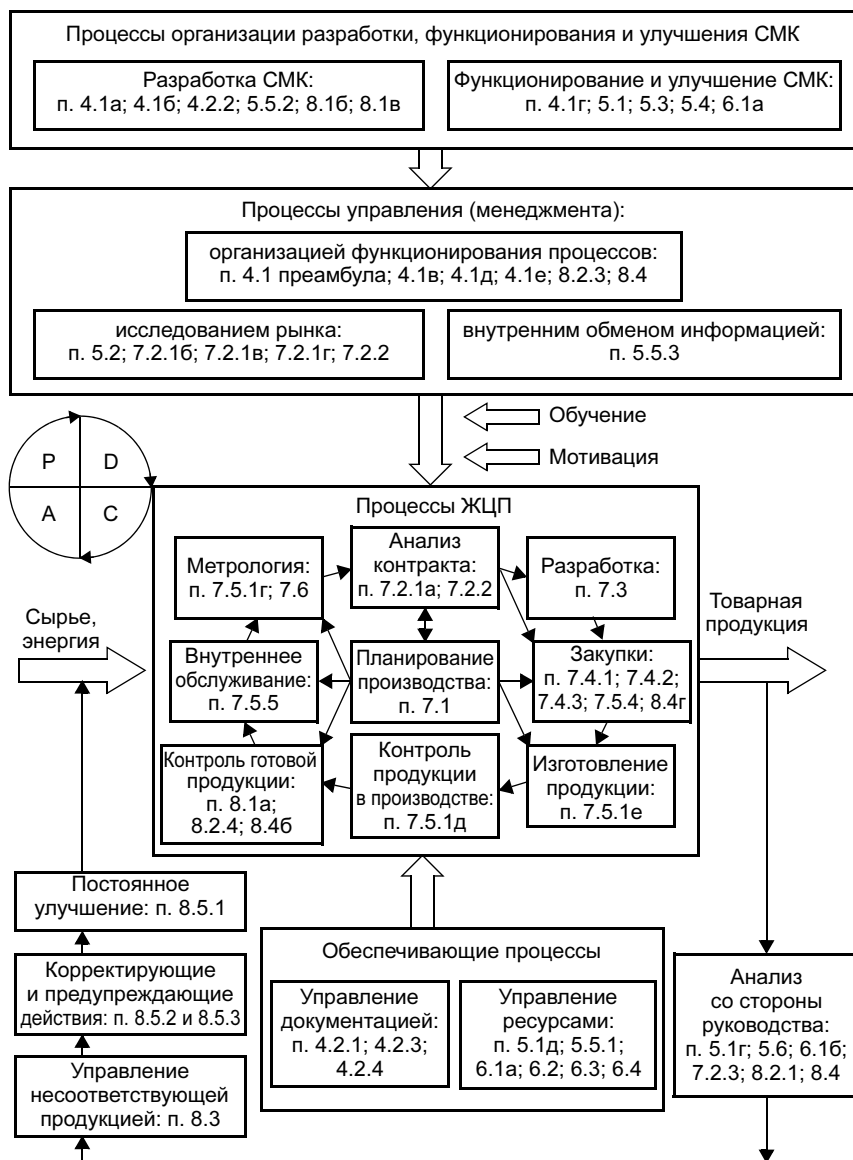


Схема процессов менеджмента качества по ДСТУ ISO 9000:2001

отношение руководства организации к функциональному подразделению как к главной своей иерархической ячейке. Процесс, по сути, нарушает границы между подразделениями, каждое из которых отвечает за какую-то частную сторону процессной деятельности, и может оказаться, что никто не отвечает за процесс в целом.

Новая версия стандарта ISO 9000:2000 тем и замечательна, что выделяет "собственника" процесса, который может не касаться задач, решаемых отдельными подразделениями, а должен сосредоточиться на реализации процесса в целом. Он отвечает за разработку, документирование, измерение функционирования процесса, подготовку необходимого для него персонала и за взаимодействие лиц, участвующих в выполнении процесса. Это, по мнению авторов работы [13], "не должность и не деятельность, которой необходимо заниматься полный рабочий день. Это роль, которая в первую очередь связана с возможностями процесса в целом, а не с повседневным выполнением производственного задания, за которое продолжают отвечать функциональные менеджеры". Поэтому структура процессов СМК, в принципе, не всегда представляет точную кальку со структуры разделов стандарта ISO 9000:2000.

С учетом вышеизложенного в работе [17] предложена идентификация, выделяющая из блоков 4.1 и 8 стандарта ISO 9000:2000 процессы, связанные соответственно с организацией СМК и проводимыми в ней измерениями, анализом и улучшениями.

Именно данная идентификация с максимальным приближением к оригиналу графически воспроизведена в виде цикла PDCA как блок-схема процессов (см. рисунок) и рекомендована [18] предприятиям, изготавливающим сварочные электроды, для управления производством при разработке СМК в зависимости от фактических объемов и принятой структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П. Восемь принципов, которые меняют мир // Стандарты и качество. 2001. № 5. С. 49—61.
2. Марченко А. Е. Стандарты ИСО серии 9000:2000 — базис для улучшения качества сварочных электродов // Автоматическая сварка. 2002. № 11. С. 30—37.
3. Аронов И. З. Исчерпаны ли возможности тейлоризма? // Методы менеджмента качества. 2002. № 5. С. 10—13.
4. Самуэльссон А. Саморегулирующийся бизнес или как сориентировать процессы на требования заказчиков // Методы менеджмента качества. 2002. № 4. С. 18—21.
5. Маккормак К. Ориентация на бизнес-процессы: есть ли она у вас // Стандарты и качество. 2002. № 2. С. 86—89.
6. Свиткин М. З. Стандарты ИСО серии 9000 версии 2000 года: новые шаги в практике менеджмента качества // Стандарты и качество. 2000. № 12. С. 56—60.
7. Рахлин М. С. Сущность и содержание процессного подхода // Стандарты и качество. 2001. № 1. С. 45—47.
8. Свиткин М. З. Процессный подход при внедрении систем менеджмента качества в организации // Стандарты и качество. 2002. № 3. С. 74—77.
9. Корольков В. Ф., Брагин В. В. Процессный подход к управлению организацией // Стандарты и качество. 2001. № 9. С. 80—82.
10. Версан В. Г. Управление качеством на новом витке // Стандарты и качество. 2000. № 7. С. 44—49.
11. Шадрин А. Д. Владелец процесса должен быть мастером // Методы менеджмента качества. 2002. № 5. С. 24—25.
12. Адлер Ю. П., Щепетова С. Е. Процессное описание бизнеса — основа основ системы экономики качества // Стандарты и качество. 2002. № 2. С. 66—69.
13. Гарднер Р. Преодоление парадокса процессов // Стандарты и качество. 2002. № 1. С. 82—88.
14. Всеобщее управление качеством. Total Quality Management (TQM) / О. П. Глудкин, Н. М. Горбунов, А. И. Горин, Ю. В. Зорин. М.: ЛБЗГ-Телеком, 2001. 600 с.
15. Терехова Т. В. Новое — хорошо забытое старое // Методы менеджмента качества. 2002. № 5. С. 21—25.
16. Гончаров Э. Н. Как разработать систему менеджмента качества в соответствии с процессным подходом // Стандарты и качество. 2003. № 12. С. 64—68.
17. Шадрин А. Д. Некоторые аспекты практической реализации процессного подхода // Стандарты и качество. 2002. № 3. С. 52—57.
18. Марченко А. Е. Технология как объект и инструмент менеджмента качества в производстве сварочных электродов // Автоматическая сварка. 2005. № 12. С. 33—41.

Реклама Вашей продукции в нашем журнале — один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал "Сварочное производство" читают руководители и специалисты всех предприятий машиностроительного комплекса, он распространяется более чем в 30 странах мира.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- ❖ найти партнеров, заинтересованных в совместных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области сварочного производства;
- ❖ установить контакты с организациями и фирмами в стране и за рубежом;
- ❖ наладить обмен информацией.

Наш журнал не имеет аналогов в России и распространяется только по подписке.

Это надежная гарантия того, что Ваше рекламное объявление будет прочитано именно специалистом или заинтересованным лицом, т. е. попадет точно в цель.

**Наш адрес: 129626, Москва, проспект Мира, 106. Для корреспонденции: 129626, Москва, а/я 78,
ОАО «Издательство "Машиностроение"» (для журнала "Сварочное производство").
Тел.: (495) 682 3856, тел./факс: (495) 687 6316.**

УДК 621.791:338.4

А. Е. ФАТЕЕВ, д-р экон. наук

Межотраслевой институт проблем технологии коммуникации и управления

Предпринимательские возможности научных и производственных структур инновационной сферы в новой экономической среде

Восстановление научной и промышленно-экономической мощи страны является основной задачей. Уровень научного и промышленно-экономического развития страны в значительной мере зависит от эффективности работы непосредственно научных, опытно-конструкторских и производственных структур. Результативность их работы в свою очередь зависит от управляемых и управляющих структур и процессов, обеспечивающих получение заданных результатов. В рамках той или иной системы управления важнейшим фактором являются формы и методы мотивации и стимулирования, играющие важную роль в решении научных и производственных задач при вхождении отечественной экономики в мировую рыночную среду.

Рассмотрим вопросы организации научных и производственных процессов в сложившейся ситуации в целях успешной адаптации отечественных предприятий к новой экономической среде.

Научные и производственные задачи инновационной сферы в различных экономических системах

Одной из важнейших особенностей переходного периода является необходимость анализа дореформенной системы организации работ и управления в сфере высоких технологий обрабатывающих отраслей промышленности с целью использования накопленного ранее опыта. Максимально возможная преемственность в любых процессах, а тем более в научной и промышленной сфере высоких технологий, является важнейшим условием результативности работ при вхождении в новую экономическую среду. Такого рода проблемы наиболее эффективно решаются в рамках построения и анализа моделей, отображающих эти процессы.

В общем виде такая модель может быть представлена следующей схемой: "цель—ресурсы—проведение НИОКР—производство—эксплуатация и сопровождение—утилизация". Базовым в этом процессе является звено, определяемое понятием "ресурсы".

Традиционная модель производственного процесса, связанная с ресурсами, в наиболее общей форме может быть представлена в виде трех факторов производства — "земля, труд, капитал", в последние годы общепризнанным стал еще и четвертый фактор — "предпринимательство". Эти факторы являются бесспорными, однако их эффективное функционирование связано с большим количеством других факторов.

Все это особенно ярко проявилось в динамике экономического развития в прошлом столетии, когда были четко обозначены и противостояли друг другу так называемые "капиталистическая" и "социалистическая" общественно-экономические системы, когда факторы "земля, труд и капитал" при эквивалентном физическом и материальном содержании в этих двух системах проявлялись существенно по-разному, и когда предпринимателю в социалистической экономике в какой-то мере соответствовал директор предприятия.

Рассматриваемые инновационная и инвестиционная сферы деятельности в условиях научно-технической революции в разных системах — капиталистической и социалистической — имели в своей структуре как определенные общие черты, так и существенные различия.

Общие черты проявлялись в том, что период бурного развития научно-технического прогресса совпал с периодом начала и последующего апогея "холодной войны", развернувшейся между двумя великими державами и их союзниками. Она сопровождалась так называемой "гонкой вооружений",

которая проявлялась в двух направлениях: росте объемов производимого вооружения и военной техники и постоянным их совершенствовании. Поскольку потребителем вооружения и военной техники является государство, то, естественно, все расходы покрывались за счет государственного бюджета.

В СССР эта проблема однозначно решалась в рамках централизованной организации производства и полностью определяемых руководством страны статей государственного бюджета, в США — на базе роста государственного бюджета и формирования в нем новых статей расходов.

Бюджетные деньги в противостоящих системах расходовались как на вооруженные силы и производство вооружения, так и на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, которые в беспрецедентном научно-техническом соревновании обеспечивали динамичное развитие вооружения и военной техники.

В рамках этих затрат создавалась так называемая "продукция двойного назначения", т. е. товары и услуги, которые при определенных изменениях использовали не только в военном деле, но и в обеспечении жизнедеятельности страны.

Таким образом, общим в этих процессах было то, что огромные средства на науку и высокие технологии формировались в рамках государства, а достижения научно-технического прогресса в значительной мере происходили в системе "государственное финансирование—производство". Существенная разница заключалась в стимулах и методах мотивации, которые определялись социально-экономической структурой этих систем.

Кроме содержательных, качественных оценок таких процессов важными являются абсолютные количественные и относительные характеристики затрачиваемых ресурсов, т. е. как общее количество затрат на оборону, так и их удельный вес в общем объеме ресурсов страны.

Эти исходные положения особенно важны для определения направлений, методов и средств поддержания должного уровня безопасности в нашей стране в новых условиях, поскольку в ходе реформирования произошли существенные изменения в исходных ресурсах производства вооружения и военной техники.

Структура обеспечения научных, опытно-конструкторских и производственных задач и направления их решения

В сложившейся ситуации проявляются две четко выраженные стратегии поведения производственных предприятий, существенно зависящие от инноваций и инвестиций. Это прежде всего касается предприятий обрабатывающих отраслей промыш-

ленности и оборонно-промышленного комплекса, наиболее пострадавших от хозяйственных преобразований, использовавших "шоковую терапию".

Первая стратегия — работа каждого предприятия происходит в направлении приспособления к объективным реалиям в уже созданной макроэкономической среде, полагая, что эта среда будет самопроизвольно совершенствоваться. В такой ситуации, как показывает опыт последних 15 лет, только малая часть предприятий высоких технологий адаптируется к сложившейся экономической обстановке в режиме выживания, не обеспечивая развития национального производства в темпах мирового научно-технического прогресса.

Вторая стратегия — разработка концепции развития предприятий реального сектора экономики при активном воздействии субъекта реформ — государства, обеспечивающего микроэкономическую составляющую активной макроэкономической поддержкой. Весь мировой опыт преодоления всеохватывающего кризиса 30-х годов прошлого столетия и восстановления послевоенной разрухи в странах-победителях и в побежденных странах имел именно такую направленность. Более того, и последующий постиндустриальный период опирается именно на такую стратегию, обеспечивая как высокие темпы промышленного развития, так и социальную ориентацию экономики страны.

Естественно, что на практике эти две стратегии пересекаются. Однако важна тенденция, которая проявляется в действиях многих предприятий, определяющая общую составляющую поведения всей совокупности структур. Несмотря на то, что теоретически кажется очевидным якобы целесообразность второй стратегии, пока что на протяжении длительного периода в стране преобладает первая. Анализ причин такого положения является актуальной задачей.

Исходя из поставленных целей, сформулируем, какие в нашем контексте внешние макроэкономические факторы влияют на работу научных и производственных структур в сложившейся экономической среде:

- хозяйственное законодательство;
- промышленно-экономическая политика государства;
- государственный аппарат (конкретные должностные лица — чиновники), которому подконтрольны вопросы истолкования хозяйственного законодательства и другие институциональные положения, позволяющие влиять на производственный процесс;
- макроэкономическая обстановка (сложившаяся в стране структура капитала, его распределение по отраслям, процедуры влияния на формирование хозяйственного законодательства и

воздействия государственного аппарата на производство и др.);

- конкурентная среда;
- уровень профессиональной подготовки предпринимателей;
- наличие кадров специалистов всех направлений и уровней, система их подготовки и воспроизводства;
- массовое общественное сознание.

Принимая возможности научных и производственных предприятий за некоторую постоянную величину, определим вероятные источники финансирования предприятий инновационной сферы в сложившейся экономической ситуации. Это прежде всего:

- государство;
- предприятия добывающих отраслей;
- собственные средства предприятий, входящих в сферу инновационных технологий;
- другие потребители.

В созданной в стране неупорядоченной рыночной среде инвестиционные средства формируются преимущественно в добывающих отраслях и государственном бюджете.

В рассматриваемых проблемах исключаем рост производства и накоплений за счет малого и среднего бизнеса, если он не является инфраструктурой крупного инновационного бизнеса.

Можно утверждать, что в таком контексте важнейшее значение в интенсификации производства имеют макроэкономические процессы, на формирование которых может воздействовать прежде всего государство, определяя промышленную политику, воспринимаемую рыночной средой и обеспечивающую развитие отечественной экономики на базе совершенствования хозяйственного законодательства.

Причем при рассмотрении такой совокупности вопросов следует исходить из того, что современная рыночная среда не анархична, а жестко управляема, подчинена, с одной стороны, экономическим законам рынка, а с другой — хозяйственному законодательству государства, всегда обеспечивающему в высокоразвитых странах определенную национальную экономическую политику.

Весь исторический опыт развития рыночной экономики, не говоря уже о плановой социалистической, характеризуется тем, что различные экономические тенденции всегда ограничиваются рамками экономической политики государства и формируемым им хозяйственным законодательством.

Именно в такой связи рассмотрим вопросы взаимодействия экономических процессов и государственного законодательства, совокупность которых должна создать условия возрождения национальной экономики с учетом обеспечения безопасности страны и социальной стабильности в обществе.

Формирование новой хозяйственной среды, результаты которого отражаются в макроэкономических показателях, происходило в обстановке неподготовленности как власти, функционирующих в тот период структур гражданского общества (партий, профсоюзов, молодежных организаций, различных организаций специалистов), так и массового общественного сознания. Обсуждение в такой обстановке социально-экономических проблем происходило в рамках двух основных положений, каждое из которых являлось эфемерным и популистским.

Первое, представленное властью, — это "социализм с человеческим лицом", который воспринимался в массовом общественном сознании как "то же самое, но без репрессий".

Второе — переход к рынку, что в устах "оппозиции" и ее обращения к массовому общественному сознанию соотносилось с тем, что все будет примерно так, как в индустриально развитых странах.

Рассмотрение направлений использования сформировавшегося в послереформенный период капитала через призму роста национального производства является важнейшим вопросом в процессе восстановления и дальнейшего развития индустриальной мощи страны.

Обеспечение конкурентной среды внутри страны и поддержка отечественного производства в сложившихся условиях переходного периода также являются важнейшей задачей макроэкономической политики государства. Она не должна нивелироваться лозунгом, что "надо просто делать лучше, чем за границей". Использование огромных капиталов преимущественно в личных целях, созданных, однако, из общественной собственности специфическими условиями приватизации, и структура использования трудовых ресурсов, когда сложилась обстановка нецелесообразности работы непосредственно на производстве, также вписываются в проблему, которая должна решаться одновременно как на микро-, так и на макроэкономическом уровне.

Сформированное в этот период высшими структурами власти хозяйственное законодательство при существенном лоббировании со стороны олигархических структур также, как показывает практика, не отвечает требованиям интенсификации всех сфер отечественного производства.

Рассматривая вопросы выработки действенной микроэкономической политики как важнейшего условия ее успешной реализации, необходимо определить коммуникационную среду — формы и методы взаимодействия между государством, структурами, существенно влияющими на макроэкономическую составляющую, и структурами, представляющими реальный сектор экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для интенсификации отечественной обрабатывающей промышленности необходимо решение следующих задач, обеспечивающих совершенствование организационно-экономического и финансового механизмов:

— провести систематизацию вопросов, связанных с взаимодействием микро- и макроэкономических проблем, определив меры по их решению с позиций реального сектора экономики, сосредоточив внимание на развитии сферы высоких технологий;

— определить в каждом спектре обрабатывающей промышленности путем совместных действий бизнеса и власти соотношение затрат на исследовательские и опытно-конструкторские работы по направлениям, по которым с учетом реструктуризации следует обеспечить выпуск продукции, сформировав предложения по источникам инвестирования. Разработать финансово-экономические механизмы, способные обеспечить реализацию этих задач в условиях сложившейся ситуации;

— сосредоточить внимание на анализе взаимодействия макро- и микроэкономических процессов с позиции роста отечественного производства, определив в рамках отечественной программы промышленного развития ответственность как государственных, так и предпринимательских структур.

Эти работы в исходный момент должны быть выполнены на уровне структур реального сектора экономики с формулированием предложений к государственным институтам, которые формируют макроэкономические показатели, определив процедуры их взаимодействия.

К сожалению, дореформенная практика вертикального управления путем команд сверху, как и процессы реформирования, происходившие также сверху, определили практику, менталитет и традиции, когда нижние звенья производственных структур только выполняют команды или протестуют. Принципы рыночной экономики и предпринимательства требуют иных, совместных, скоординированных методов взаимодействия в рамках макро- и микроэкономических процессов.

Только рассуждая о том, что необходимо поддерживать отечественный бизнес, решить комплекс стоящих вопросов невозможно. Общие пятнадцатилетние дебаты о рынке и прямой действительности его механизмов пока что не дали результатов. Современная рыночная экономика — это прежде всего система, которая основывается на институционализации хозяйственных процессов, формировании иерархической системы моделей, дающих возможность проявлению предпринимательства и обеспечивающих упорядоченное управление экономическими процессами.



СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

ФОРСАЖ

INVERTER

НА ТОК

125A 160A 250A 315A 500A

- ★ РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА (ММА)
- ★ МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА (MIG/MAG)
- ★ АРГОДУГОВАЯ СВАРКА (TIG)

производим поставку оборудования, аттестованного НАКС

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РЯЗАНСКИЙ
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД



390000, Рязань,
ул. Семинарская, 32. ГРПЗ
тел.: (4912) 29-84-53 (многоканальный)
факс: (4912) 29-85-16
e-mail: info@grpz.ru
www.grpz.ru



реклама

ТЕХНОЛОГИЯ сварки XXI века

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.72:621.375.826

Е. УШАКОВА

Фирма "Скансоник" (Берлин)

Инновационные технологии фирмы "Скансоник" в области соединений лазером — новая глава в развитии лазерной техники

Интегрированная сенсорика для автоматизации контроля поверхности шва при лазерной сварке

Новый "Гольф V" является одним из немногих типов автомобилей, в производстве которых применяют самые современные технологии. Широкое применение лазерной техники повышает продуктивность и обеспечивает высокую прочность соединения отдельных деталей кузова, что в свою очередь существенно повышает жесткость конструкций в целом (рис. 1). Лазерная техника помогает также дизайнерам осуществлять их идеи и внедрять в производство самые сложные и разнообразные контуры кузовов.

Более трети всех лазерных головок, применяемых в производстве автомобилей в Вольфсбурге, произведены на предприятии "Скансоник" в Берлине.

Достаточно молодое, инновационное предприятие, основанное в 2000 г., за короткий срок быстро достигло столь серьезных успехов в довольно непростой области наукоемких технологий.

С самого начала зарождения предприятия был взят курс на интенсивные поиски новых методов со-

единений деталей. Применение в производстве лазерной техники, с одной стороны, давало очень хорошие и желаемые результаты, но с другой, практическое применение этой техники в автоматизированном промышленном процессе постоянно сталкивалось с различными проблемами. Так, например, было сложно запрограммировать управление роботом так, чтобы лазерный луч повторно проходил место соединения детали при каждом новом элементе конструкции. Поэтому приходилось ограничиваться простыми сварными швами в досягаемых местах конструкции.

Новшество — применение дополнительной проволоки в качестве управляемого узла

В 1999 г. группой инженеров во главе с И. Хашке был разработан новый способ, позволяющий существенно расширить область применения методов лазерного соединения деталей в промышленном производстве. Ключевым пунктом было точное ведение лазерного луча с помощью так называемой проволоки, которая, с одной стороны, является связующим материалом для пайки двух листов, а с другой — служит управляющим механизмом (щупом) для точного направления лазера в место соединения.

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

Произведенные молодым инновационным предприятием приборы лазерной оптики с адаптивным управлением шва (АЛО 1) подтвердили техническую эффективность. Поступило множество заказов и уже в 2001 г., имея всего 17 сотрудников, предприятие достигло торгового оборота в 1,5 млн евро.



Рис. 1

Способ и аппаратура, разработанные для лазерной пайки, были успешно перенесены и доработаны для лазерной сварки.

Дополнительная проволока как механический щуп — адаптивная лазерная оптика (АЛО)

Типичная постановка задачи от промышленного производства: два листа стали необходимо соединить под углом 90° с помощью лазерного луча. Качественно это удастся выполнить только тогда, когда лазерный луч расплавляет присадочную проволоку точно в месте углового соединения обоих листов. То же можно отнести и к другим формам стыка деталей (рис. 2).

При сварке присадочная проволока дополнительно выполняет роль щупа со значительным зазором между отдельными деталями. Происходит безошибочное соединение двух деталей, лазерный луч должен расплавлять проволоку точно в месте их соединения (стыка).

Ранее это было наисложнейшей проблемой управления процессом. С одной стороны, было сложно запрограммировать точное прохождение луча по трехмерным контурам, с другой — программирование проводили на заданную, определенную форму и величину. Робот выполнял только конкретно запрограммированную задачу, несмотря на возможно встречающиеся отклонения. Такие отклонения могут возникать из-за неточного закрепления деталей, но небольшие отклонения от идеальной формы возможны уже при выходе деталей из-под пресса.

Такие отклонения приводили ранее к тому, что фокус лазера располагался не точно в месте стыка деталей. Как следствие этого — некачественные швы.

Фирма "Скансоник" решила эту проблему! Лазерная головка управляется не программированием, а проволокой. Присадочная проволока-щуп и лазерная оптика представляют в этом случае единое целое. Это функционирует следующим обра-

зом: при отклонении стыка в элементе конструкции проволока меняет свое положение; фокус лазера следует точно за проволокой к новой позиции, абсолютно не влияя при этом на сам процесс соединения. Таким образом, лазерный луч направляется точно в зону стыка деталей.

Как результат: равномерное формирование без типичных дефектов.

Разнообразие дизайна благодаря применению метода "Скансоник"

Лазерные головки "Скансоник" применяют кроме прочего в таких конструкциях, где необходимо соединять детали на видимой поверхности конструкций. Теперь сварные швы деталей, которые ранее необходимо было зачищать, уменьшать и покрывать специальными средствами, благодаря применению АЛО выполняют настолько чисто и аккуратно, что не нуждаются в последующей обработке. Хорошим примером является применение на протяжении нескольких лет этого метода для лазерной сварки частей крыши и боковин, а также сложной дизайнерской конструкции задней двери в производстве кузовов некоторых марок автомобилей.

Применение присадочной проволоки в качестве механического щупа лазерной головки приносит предприятиям, использующим головки "Скансоник", ряд следующих преимуществ:

- применение АЛО позволяет выполнять сложные, нетрадиционные швы, например при трехмерных контурах, которые ранее были сложно или почти не выполнимы из-за дорогостоящего программирования роботов. Благодаря методу управления траекторией шва присадочной проволокой появились дополнительные новые области применения и возможности внедрения современного промышленного дизайна;
- использование АЛО позволяет обрабатывать малые радиусы конструкций. Это свидетельствует о том, что лазерная техника получила возможность использования в тех областях промышленности, где ранее ее применение технически было невозможно;
- отсутствует необходимость компенсации опережения, имеющая место при применении оптических датчиков;
- процесс механического тестирования присадочной проволокой высоко устойчив к различным помехам: загрязнению, высоким температурам и неровностям обрабатываемых поверхностей, которые обычно являются нарушениями факторами при оптическом управлении шва;
- возможность визуального слежения за прохождением и обработкой шва.



Рис. 2

Заключение

В настоящее время никакой другой метод не может сравниться с качеством угловых и кромочных швов, без применения дорогостоящего программирования роботов, какое дает техника "Скансоник". И это качество достойно оценивается различными предприятиями. Спрос на продукцию "Скансоник" высок. Многие производители систем управления автоматизированных производственных процессов применяют продукцию "Скансоник" в своих установках.

Фирма "Скансоник" является кооперационным партнером таких известных предприятий, как "KU-KA сварочная аппаратура" (рис. 3), Thyssen Krupp Drauz, "FFT техника автоматизации", EDAG, TMS, COMAU и др. Интенсивная совместная работа с этими предприятиями ведет к тому, что продукция "Скансоник" еще на ранней стадии планирования различных сложных комплексов аппаратуры для автоматизации промышленного производства становится неотъемлемой частью технологического процесса.

С помощью техники "Скансоник" собраны такие марки автомобилей, как VW Golf 5, VW Touran, VW Caddy, VW Beetle, Audi A3, Skoda Octavia, Seat, Mercedes SL, Renault. Поскольку эти автомобили производят в настоящее время не только в Германии, предприятие "Скансоник" имеет мировую известность. Лазерные головки "Скансоник" успешно работают в Сао Пауло и Куритибе (Бразилия), Пуэбле



Рис. 3

(Мексика), Познани, Братиславе, Брюсселе, Китае, Южной Африке и Корее.

Инженеры предприятия "Скансоник" постоянно работают над расширением возможностей применения методики. На протяжении ряда лет фирма "Скансоник" сотрудничает с австрийским предприятием "Инокон", производящим сварочную аппаратуру на основе плазмотрона. Метод управления формированием присадочной проволокой "Скансоник" при сварке и пайке успешно применяют в промышленном производстве не только с лазерными головками, но и плазмотроном.

Киев, Украина, Национальный Комплекс "Экспоцентр Украины"



**7-ая специализированная
выставка с
международным участием**

**KIEV
TECHNICAL
TRADE SHOW
2007**

**31.10.2007
-
02.11.2007**

ОРГАНИЗАТОРЫ ВЫСТАВКИ:

- Общество сварщиков Украины
- Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
- ТДС - ЭКСПО
- СП Торговый Дом "Сварка"
- Metal Network Korea

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:

- Министерство промышленной политики Украины

Оргкомитет: ТДС-ЭКСПО, тел./факс: (+380 44) 526-93-76, 526-91-84, www.weldexpo.com.ua, e-mail: olga@welding.kiev.ua, seva@welding.kiev.ua



Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий¹

DAC

digital-to-analog converter

цифроаналоговый преобразователь (ЦАП)

DB

dip brazing

высокотемпературная пайка погружением

DB

diffusion brazing

диффузионная высокотемпературная пайка

DB

diffusion bonding

диффузионная сварка

DC

direct current

постоянный ток

DCRP

direct current of reversed polarity

постоянный ток обратной полярности

DCSP

direct current of straight polarity

постоянный ток прямой полярности

DFB [DB]

diffusion brazing

диффузионная высокотемпературная пайка

DFT

discrete Fourier transform

дискретное преобразование Фурье (ДПФ)

DFW [DB]

diffusion welding

диффузионная сварка

DPH

diamond pyramid hardness

твердость по Виккерсу

DRW

deformation resistance welding

деформационная контактная сварка

DS

dip soldering

низкотемпературная пайка погружением

DW

die welding

кузнечная сварка

EBB

electron beam brazing

электронно-лучевая высокотемпературная пайка (ЭЛП)

EBC

electron beam cutting

электронно-лучевая резка (ЭЛР)

EBT

emitted-ballast transistor

транзистор с балластным сопротивлением в цепи эмиттера

EBW

electron beam welding

электронно-лучевая сварка (ЭЛС)

EBW-HV

high-vacuum electron beam welding

электронно-лучевая сварка в высоком вакууме (ЭЛС ВВ)

EBW-MV

medium-vacuum electron beam welding

электронно-лучевая сварка в среднем вакууме (ЭЛС СВ)

EBW-NV

non-vacuum electron beam welding

вневакуумная электронно-лучевая сварка (ВВ-ЭЛС)

ECCC

European Collaborative Committee on Creep

Европейский комитет по сотрудничеству в области ползучести

EDM

electric (al) discharge machining

электроимпульсная обработка

EDXS

energy-dispersive X-ray spectrometry

энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия

EGW

electrogas welding

газоэлектрическая сварка

EIS

electrochemical impedance spectroscopy

спектроскопия электрохимического импеданса (полного сопротивления)

EL

elastic limit

предел упругости

EMS

environment management system

система менеджмента (управления) окружающей средой (СУОС)

EPA

Environmental Protection Agency (U.S.)

Агентство по охране окружающей среды (США)

EPERC

European Pressure Equipment Research Council

Европейский совет по научным исследованиям в области оборудования, работающего под давлением

EPRG

European Pipeline Research Group

Европейская группа исследования трубопроводов

EPMA

electron probe microanalysis

микрорентгеноспектральный анализ

ESCM

electroslag crucible melting

электрошлаковая тигельная плавка (ЭШТП)

ESR

electroslag remelting

электрошлаковый переплав (ЭСП)

ESS

electroslag surfacing

электрошлаковая наплавка

ESS LM

electroslag surfacing with liquid metal

электрошлаковая наплавка жидким металлом (ЭШН ЖМ)

EST

electroslag technology

электрошлаковая технология (ЭШТ)

ESW

electroslag welding

электрошлаковая сварка (ЭШС)

EW

European Welding Federation

Европейская сварочная федерация (ЕСФ)

EXB

exothermic brazing

экзотермическая высокотемпературная пайка

EXBW

exothermic braze welding

экзотермическая сварка-пайка

EXW [EW]

explosion welding

сварка взрывом

EW [EXW]

explosion welding

сварка взрывом

EW

European Federation for Welding, Joining and Cutting

Европейская Федерация по сварке, соединению и резке

FAFPH

ferroalloy furnace with plasma heating

ферросплавная печь с плазменным нагревом (ФСПП)

FATT

fracture appearance transition temperature

температура перехода в хрупкое состояние

FB

furnace brazing

печная высокотемпературная пайка

¹Продолжение. Начало — см. "Сварочное производство". 2007. № 5. С. 57.

FCAS
flux cored arc surfacing
 дуговая наплавка порошковой проволокой

FCAW
flux cored arc welding
 дуговая сварка порошковой проволокой [сварка трубчатым электродом]

FCAW-G
gas-shielded flux cored arc welding
 дуговая сварка порошковой проволокой в защитном газе

FCAW-S
self-shielded flux cored arc welding
 дуговая сварка самозащитной порошковой проволокой

FCC
face-centered cube
 гранецентрированный кубический (о кристаллической решетке)

FGHAZ
fine-grained heat-affected zone
 мелкозернистая зона термического влияния

FFT
fast Fourier transform
 быстрое преобразование Фурье (БПФ)

FLB
flow brazing
 высокотемпературная пайка заливкой жидкого припоя в зазор

FLOW
flow welding
 сварка заливкой жидкого металла в разделку

FLSP
flame spraying
 газопламенное напыление

FMA
Fabricators and Manufacturers Association
 Ассоциация производителей машиностроительных и металлообрабатывающих отраслей

FNNC
fuzzy neural network controller
 контроллер на нейронных сетях с размытой (нечеткой) логикой

FOC
flux oxygen cutting
 кислородно-флюсовая резка

FOW
forge welding
 кузнечная сварка

FPI
fluorescence particle inspection
 контроль люминесцентный

FRW
friction welding
 сварка трением

FS
flame spraying
 газопламенное напыление

FSSW
friction spot stir welding
 точечная сварка трением с перемешиванием

FSW [STIR process]
friction stir welding
 сварка трением с перемешиванием [СТП; СТВИ — сварка трением вращающимся инструментом]

FTET
fracture transition elastic temperature
 температура перехода к хрупкому разрушению

FTPT
fracture transition plastic temperature
 температура перехода к вязкому разрушению

FVU
filter-ventilation unit
 фильтро-вентиляционный агрегат (ФВА)

FW
flash welding
 сварка оплавлением

GAWDA (USA)
Gases and Welding Distributors Association
 Ассоциация дистрибьюторов газов и сварочных изделий и услуг (США)

GCAW [CAW-G]
gas carbon arc welding
 дуговая сварка угольным электродом в защитном газе

GCWF
gaseous component of welding fume
 газообразная составляющая сварочного аэрозоля (ГССА)

GMAC
gas metal arc cutting
 дуговая резка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе

GMAS
gas metal arc surfacing
 дуговая наплавка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе

GMAW
gas metal arc welding
 дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе

GMAW-P
pulsed gas metal arc welding
 импульсно-дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе

GMAW-S
gas metal arc welding in the short-circuiting transfer mode
 дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе с переносом металла с короткими замыканиями

GMMAS
gas mixture metal arc surfacing
 дуговая наплавка металлическим (плавящимся) электродом в смеси защитных газов

GMMAW

gas mixture metal arc welding
 дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в смеси защитных газов

GOST
State Committee of the Russian Federation for Standardization and Metrology
 Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии (ГОСТ)

GSSW
gas-shielded stud welding
 приварка шпилек в защитном газе

GTAC
gas tungsten arc cutting
 дуговая резка вольфрамовым электродом в защитном газе

GTAS
gas tungsten arc surfacing
 дуговая наплавка вольфрамовым электродом в защитном газе

GTAW
gas tungsten arc welding
 дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитном газе

GTAW-P
pulsed gas tungsten arc welding
 импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитном газе

GWS
German Welding Society
 Немецкое общество сварки и родственных технологий (DVS)

HAZ
heat-affected zone
 зона термического влияния (ЗТВ)

HCS
high-carbon steel
 высокоуглеродистая сталь

HCWF
hard component of welding fume
 твердая составляющая сварочного аэрозоля

HFPD
high-frequency pulse detonation
 импульсная высокочастотная детонация

HIC
hydrogen-induced cracking
 водородное растрескивание

HIPROTIG
high-productivity TIG welding
 высокопроизводительная сварка вольфрамовым электродом в защитном газе

HPDL
high-power diode laser
 мощный диодный лазер

HPW
hot pressure welding
 сварка давлением с подогревом

HRSEM
high-resolution scanning electron microscope
 растровый электронный микроскоп с высоким разрешением

HR
hot-rolled (metal)
горячекатаный (металл)

HSLA
high-strength low-alloy (steel)
высокопрочная низколегированная (сталь)

HT
heat-treated (metal)
термообработанный (металл)

HVAF
high-velocity air fuel (spraying)
сверхскоростное газопламенное напыление

HVOF
high-velocity oxy-fuel (spraying)
сверхскоростное газопламенное напыление

HW
hammer welding
кузнечная сварка

IAB
International Authorization Board (IIW)
Международный орган по аккредитации (МОА, МИС)

IB
induction brazing
высокотемпературная пайка с индукционным нагревом [индукционная пайка]

ICHAZ
intercritical heat-affected zone
межкритичная зона термического влияния

ICP
inductively coupled plasma
индукционно-связанная плазма

ICPMS
inductively coupled plasma mass spectrometry
масс-спектрометрия индукционно-связанной плазмой

IEC
International Electrotechnical Commission
Международная электротехническая комиссия

IGBT
isolated gate bipolar transistor
биполярный транзистор с изолированными затворами

IIW
International Institute of Welding
Международный институт сварки [МИС]

IM
induction melting
индукционная плавка

IMP
intermetallic phase
интерметаллическая фаза

INS
iron soldering
низкотемпературная пайка паяльником

IRB
infrared brazing
высокотемпературная пайка инфракрасным излучением

IS
induction soldering
низкотемпературная пайка с индукционным нагревом [индукционная пайка]

ISG
International Steel Group, Inc.
Группа международных производителей стали

ISO
International Organization for Standardization
Международная организация по стандартизации

IW
induction welding
индукционная сварка [сварка с индукционным нагревом]

IWE (IIW)
International Welding Engineer
международный инженер-сварщик (МИС)

IWP (IIW)
International Welding Practitioner
международный специалист-практик по сварке

IWS (IIW)
International Welding Specialist
международный специалист-сварщик (МИС)

IWT (IIW)
International Welding Technologist
международный технолог-сварщик (МИС)

JISC
Japan Industrial Standard Committee
Японский комитет по промышленным стандартам

JWES
Japan Welding Engineering Society
Японское сварочное инженерное общество

LAAPS
laser-assisted atmospheric plasma spraying
плазменное напыление с лазерным нагревом

LAC
limiting allowable concentration
предельно допустимая концентрация (ПДК)

LAL
limiting allowable level
предельно допустимый уровень (ПДУ)

LAMMS
laser microprobe mass spectrometry
лазерная масс-микроспектрометрия

LAN
local area networks
локальные (вычислительные сети)

LBC
laser beam cutting
лазерная резка

LBC-A
laser beam air cutting
воздушно-лазерная резка

LBC-EV
laser beam evaporative cutting
лазерная резка с испарением

LBC-IG
laser beam inert gas cutting
лазерная резка в инертном газе

LBC-O
laser beam oxygen cutting
лазерная резка с использованием кислорода

LBM
laser beam machining
лазерная обработка

LBW
laser beam welding
лазерная сварка

LCF
low-cycle fatigue
малоцикловая усталость

LCS
low-carbon steel
низкоуглеродистая сталь

LCVD
laser-induced chemical vapor deposition
химическое осаждение из паров с лазерным нагревом

LOC
lance oxygen cutting
резка кислородным копьём

LOM
light optical microscopy
световая оптическая микроскопия

LPPS
low pressure plasma spray
распыление плазмой низкого давления

LSS
large-sized structure
крупногабаритная конструкция (КГК)

LTS
large-sized truss structure
крупногабаритная ферменная конструкция

LWB
laser welding bonding
лазерная сварка

LWS
lightweight structure
легкая конструкция (ЛК)

Алексей Александрович Алов (1907—1982 гг.) — профессор, д-р техн. наук, основатель кафедры "Технология сварочного производства" МАТИ им. К. Э. Циолковского, выдающийся ученый в области металлургии сварки и теории сварочных процессов. После окончания в 1930 г. электромеханического факультета Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина А. А. Алов работал инженером в сварочной лаборатории "Оргаметалла", а затем в сварочной лаборатории Московского электромеханического института инженеров транспорта. В 1935 г. поступил в аспирантуру Московского механико-машиностроительного института им. Н. Э. Баумана и с 1938 г., защитив кандидатскую диссертацию на тему "К вопросу о природе сварочной дуги", работал в сварочной лаборатории ЦНИИТМАШ. В феврале 1943 г. в Московском институте стали защитил докторскую диссертацию на тему "Шлаковые включения и газовые поры при дуговой сварке малоуглеродистой стали".

В 1943 г. по инициативе А. А. Алова и при активной поддержке одного из наиболее авторитетных специалистов в области сварки К. В. Любавского в МАТИ была организована кафедра "Технология сварочного производства". Первый выпуск инженеров-сварщиков по специальности "Горячая обработка металлов в авиастроении" состоялся в 1947 г. С 1952 г. кафедра начинает выпускать инженеров по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" по индивидуальному учебному плану, впервые предусматривающему присвоение квалификации инженера-металлурга. Опыт кафедры послужил основой для образования в ряде вузов страны новой сварочной специальности "Металлургия и технология сварочного производства".

А. А. Алов руководил кафедрой в течение двадцати лет (1943—1964 гг.), им разработаны методологические основы и учебные планы подготовки инженеров-сварщиков, курс лекций "Основы теории процессов сварки и пайки".

Создание кафедры "Технология сварочного производства" послужило основой формирования научной школы А. А. Алова. Свои идеи в области металлургии сварки и пайки он развивал вместе с многочисленными учениками, многие из которых в последующем стали преподавателями кафедры. Под его научным руководством работали известные ученые и специалисты — В. М. Никитин, Г. Д. Никифоров, С. Ф. Гусев, Ю. С. Долгов, В. С. Виноградов, Г. В. Бобров, Е. А. Булгачев и др.

Первые исследовательские работы А. А. Алова посвящены анализу металлургических процессов при дуговой сварке сталей: переносу металла при сварке покрытыми электродами, выбору и интенсификации действия ионизирующих, легирующих и шлакообразующих компонентов электродных покрытий, созданию новых материалов для сварки и наплавки сталей. Так, в 1942 г. в электродной лаборатории ЦНИИТМАШ под руководством А. А. Алова были выполнены работы по замене дефицитных компонентов электродных покрытий. В 1943 г. были разработаны электроды типа ЦШ для восстановления и изготовления новых штампов, а затем электрод ЦМ-7, широко применявшийся при сварке низкоуглеродистых сталей.

А. А. Алов внес значительный вклад в разработку металлургических основ сварки, в частности термодинамического анализа, с помощью которого были исследованы условия и вероятное направление протекания основных реакций при сварке покрытыми электродами и под флюсом.

В работах Алова А. А. представлена теория образования пор в сварных швах в результате реакции окисления углерода при сварке низкоуглеродистых сталей.

Современные представления об образовании неметаллических включений и их влиянии на свойства швов также базируются в значительной степени на работах А. А. Алова.

Большое внимание А. А. Алов уделял изучению первичной кристаллизации металла при сварке плавлением и выяснению природы образования слоистой структуры металла шва.

А. А. Алов внес большой вклад в развитие металлосварки, исследование структуры сварных и паяных соединений, свариваемости металлов и самому понятию свариваемости. Он подчеркивал, что содержание понятия свариваемости не является неизменным. Технологическая свариваемость является проявлением не только свойств металлов и сплавов, но и особенностей технологического процесса сварки. Свариваемость он подразделял на тепловую (отношение металлов к тепловому воздействию) и металлургическую (отношение металлов к плавлению, металлургической обработке и последующей кристаллизации).

Другой фундаментальной научной проблемой, неразрывно связанной с оценкой свариваемости, являлось определение механизма образования соединений при сварке и пайке. Различные аспекты этой проблемы постоянно решались во многих научно-исследовательских работах А. А. Алова.

В дальнейшем в работах Г. Д. Никифорова и других сотрудников кафедры понятие свариваемости металлов получило дальнейшее развитие.

Идеи Алова А. А. о природе образования соединений и определении понятия свариваемости материалов положили начало большому числу исследований по теории сварки и пайки как на кафедре МАТИ, так и в других организациях и вузах страны.

Под руководством А. А. Алова сотрудники кафедры и аспиранты проводили исследования по широкому кругу вопросов природы образования сварных соединений и технологии сварки. Изданы три монографии, два учебных пособия, более 50 статей и других печатных работ, защищены 10 кандидатских и одна докторская диссертация.

Научная школа, созданная А. А. Аловым, постоянно находилась в творческом развитии. Наряду с традиционными формировались новые научные направления, ориентированные на решение актуальных задач прикладной науки.

**Кафедра "Технология сварочного производства"
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского,
ОАО НПО "ЦНИИТМАШ"**

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL
(Vol. 51, Third Quarter, 2006, Австралия)

Международная система обучения и аттестации персонала в области сварки. Р. 22—26.

Менеджмент в области аттестации и сертификации. Р. 28—31.

Универсальная МИГ-сварка — наиболее рентабельный процесс. Р. 52—56.

**BIULETYN INSTITUTU SPAWALNICTWA
W GLIWICACH**
(Roc. 50, N 6, 2006, Польша)

Mikno Z. Анализ процесса сварки давлением — двухмерная модель. Р. 26—29.

Stachurski M. Ультразвуковой контроль тонкостенных элементов и их соединений. Р. 29—36.

Klimpel A. et al. Лазерная сваркопайка кузовной оцинкованной стали. Р. 39—43.

Weglowski M. Использование электромагнитного излучения для контроля процесса сварки. Р. 43—48.

Slania J., B. Slazak B. Сравнительные исследования высоколегированных покрытых электродов ERWS 19-9 L, изготавливаемых с использованием нового жидкого стекла, модифицированного оксидом лития. Р. 48—53.

**BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURĂ
ȘI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE — BID ISIM**
(N 1, 2006, Румыния)

Dogan B. et al. Значение зарождения трещины ползучести при оценке дефектов. Р. 3—10.

Pascu D.-R. et al. Анализ ухудшения структуры при эксплуатации труб из стали 16Mo3 в тепловом контуре среднего давления и температуры. Р. 11—14.

Fleser T. et al. Оценка эксплуатационной надежности промышленных установок на основе неразрушающих исследований. Р. 21—28.

Mistodie L. et al. Оптимизация синергетических режимов при импульсной МИГ-сварке. Р. 29—35.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN
(N 2, 2006, Германия)

Гибкая технология резки листов. S. 66—67.

Машина для ультразвуковой сварки и сварки трением. S. 68.

Сварка трением с перемешиванием открывает новые возможности техники охлаждения. S. 68—69.

Dilthey U. et al. Ползучесть сваренных лазером P92 листов в разных состояниях после обработки и сварки при 600 °C. S. 72—78.

Aust E., Elsässer M. Применение водяной струи высокого давления для обработки композитов легких металлов. S. 79—83.

Bach F.-W. Совершенствование высокотемпературной пайки с помощью ледебуритных припоев. S. 84—90.

Sitte G. Модуляция усилия при шовной контактной сварке. S. 91—93.

Конференция DVS "Прочность соединенных деталей" в июне 2005 г. (Брауншвайг, Германия). S. 93—100.

Рабочая группа ISO/TC 44 "Аттестация сварщиков" на грани крушения. S. 100—103.

(N 10, 2006, Германия)

Hackl H. Настраиваемые резонансные инверторы для ручной дуговой сварки. S. 514—515.

Научная премия 2006 г. — Полирование инструментальной стали лазерным излучением. S. 515—517.

Эффективная защита сварщика при монтаже судов. S. 518.

Staubach M. и. а. Измерение и минимизация вызванных сваркой деформаций стыковых соединений с T-профилем. S. 520—525.

Stelling K. и. а. Характеристика затвердевания и свариваемость аустенитных сталей при лазерной и гибридной сварке. S. 526—534.

Esderts A. и. а. Экономическое изготовление легких конструкций сваркой трением с перемешиванием. S. 536—541.

Jenicek A., Cramer H. Улучшение несущей способности разнородных соединений шпилек. S. 542—549.

Ahrens T. и. а. Стекланный контрольный образец для автоматического оптического контроля в производстве электронных элементов. S. 550—558.

Ответы на вопросы относительно применения DIN EN 10204:2005. S. 559—561.

Обучение согласно директивам Германского общества сварочной техники (DVC) и Международного института сварки (МИС) и аттестация в соответствии со стандартами DIN EN в Германии. S. 559—574.

¹ Раздел подготовлен по материалам библиографического указателя "Сигнальная информация. Сварка и родственные технологии" (по вопросу получения полной версии материалов обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

Сварка по-европейски австралийской алюминиевой яхты. Р. 9.

Стандартизация в области сварки приобретает интернациональный характер. Р. 16—18.

Вклад цифрового моделирования в оптимизацию процессов сварки и повышение качества сварных соединений. Р. 23—31.

Стыковые соединения из сплава алюминия: влияние дефектов сварки и изготовления на их усталостную прочность. Ч. 2. Экспериментальные результаты. Р. 32—38.

(Vol. 59, N 11/12, 2005, Франция)

Обзор DVS, посвященный тенденциям развития способов сварки и резки, повышающих производительность и качество. Р. 10—22.

Влияние оксида углерода на ухудшение слуха сварщиков. Р. 26—36.

Измерение показателя феррита. Ч. 2. Окончательный отчет по результатам сравнительных испытаний МИС. Р. 37—42.

Орбитальная сварка в производстве трубчатых теплообменников. Р. 43—47.

Луккари Ю. Орбитальная сварка — большие возможности для сварки труб. С. 3—6.

Луккари Ю. Малая механизация "ЭСАБ" облегчает и удешевляет процесс сварки. С. 7—9.

Пашольд Р., Дирксен Д. Сварка деталей, применяемых для опор морских ветряных энергоустановок. С. 12—16.

Викстрем Н., Салми Т. Лазерная система слежения фирмы Перманова. С. 17—19.

Кьеллстрем П., Ольссон Б. В. Модернизация автоматических систем. С. 20—21.

Виджери Д. Дж. Механизация сварки трубопроводов. С. 22—25.

Андерсон Т. Увеличение производительности автоматической сварки алюминиевых конструкций. С. 26—27.

Технология резки в судостроении. С. 28—31.

Новая технология автоматической ремонтной наплавки валов МНЛЗ. С. 32—33.

Пономарев М. Орбитальная сварка — о сложных вещах просто. С. 34—35.

УДК 621.791(088):16

Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки*

Припой для соединения монокристаллов алмаза с металлами содержит серебро, медь, олово, титан. Отличается тем, что он дополнительно содержит карбид титана и карбид кремния при следующем соотношении компонентов (%): 14,4—18,4 меди; 14,4—18,4 олова; 14,4—18,4 титана; 4,5—15,6 карбида титана; 0,3—0,7 карбида кремния; 38,0—43,0 серебра при соотношении серебра, меди, олова и титана 3,1:1,2:1,2:1,2. 2270743 (С2). М. И. Самойлович (RU), А. В. Ивахин (RU), В. Н. Пастушенко (RU), В. С. Крапоши (RU). [6].

Ручной резак для кислородной резки металла содержит рукоятку с каналами для подвода кислорода и горючего газа, прикрепленную к корпусу, смесительную ка-

меру, вентили для подачи кислорода и горючего газа в смесительную камеру, трубку для подвода смеси кислорода и горючего газа в головку с мундштуком, трубку с вентилем для подачи кислорода в головку. Отличается тем, что смесительная камера установлена с возможностью контакта частью своей наружной поверхности с корпусом и закреплена в последнем герметично сварным швом. 51548 (U1). М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU), И. М. Захаров (RU), В. И. Маслов (RU). ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [6].

Резак для кислородной резки включает сопло, головку, корпус, в котором расположены трубки подогревающего кислорода, режущего кислорода, газовые, на поверхности внутренней полости головки, контактирующей с торцевой поверхностью сопла, выполнены две кольцевые проточки. Отличается тем, что на поверхности внутренней полости головки, контактирующей с торцевой поверхностью сопла, выполнена дополнительная третья кольцевая проточка, радиус которой больше максимального радиуса двух других. 51549 (U1). М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU), И. М. Захаров (RU). ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [6].

Устройство для сварки включает раму с кронштейнами для присоединения к подвеске трактора, продольные и поперечные швеллеры, натяжное устройство, сварочный генератор, выполненный с возможностью вращения от вала отбора мощности трактора, с регулирующим

* Приведены наименование и номер патента (авторского свидетельства), автор и заявитель, а в квадратных скобках — номер специального бюллетеня "Изобретения. Полезные модели" за 2006 г., в котором опубликована Формула изобретения. Запросы для получения более подробных сведений следует направлять по адресу: 121867, Москва, Бережковская наб., д. 24. Патентная библиотека. Тел.: (495) 240 5008.

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке; А1 и А2 — авторское и дополнительное авторское свидетельства СССР, ранее не публиковавшиеся; U1 — свидетельство РФ на полезную модель.

элементом, карданный вал, кинематически связанный через ось с ведущим шкивом клиноременной передачи, ведомый шкив которой кинематически связан с валом сварочного генератора. Отличается тем, что два продольных швеллера и четыре поперечных швеллера расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, при этом поперечные швеллеры с одного торца жестко закреплены на раме, а с другого торца к ним приварены пластины с отверстием для натяжного устройства, которые выполнены в виде шпильки с резьбой и гайкой с одной стороны и приваренной пластины с отверстием с другой стороны, в средней части стенок продольных швеллеров выполнены отверстия в виде щели для стяжного болта для крепления к нему продольного швеллера через натяжное устройство, причем на продольные швеллеры, размещенные параллельно раме вдоль ее длины, устанавливается сварочный генератор. 51550 (U1). А. А. Захаров (RU). [6].

Способ дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах, при котором несколько газов или их смесей подают поочередно импульсами, при этом в каждом последующем импульсе используют газы или смеси, которые отличаются потенциалами ионизации от потенциалов ионизации газов или смесей предыдущего импульса, и осуществляют периодическое изменение дугового промежутка, синхронное с импульсами подачи газов или смесей. Отличается тем, что устанавливают базовое напряжение дуги, равное оптимальному напряжению в газе или смеси с минимальным потенциалом ионизации, а разницу между максимальным и минимальным значениями напряжения дуги в периоды предыдущего и последующего импульсов подачи газов или смесей устанавливают в пределах 1—7 В. 2271266 (C2). Э. П. Радько (RU), О. М. Новиков (RU), А. С. Носков (RU) и др. ОАО "ДУКС" (RU). [7].

Способ электрошлаковой наплавки крупногабаритных торцов в вертикальном положении включает наведение шлаковой ванны в объеме, ограниченном наплавляемой поверхностью и секционным кристаллизатором, содержащим токоподводящую и формовочную секции, поддержание температуры поверхности кристаллизатора выше температуры резкого повышения вязкости используемого шлака, вращение шлаковой ванны, поддержание нижнего уровня шлаковой ванны на расстоянии не более толщины наплавляемого слоя от нижнего края токоподводящей секции и заданной величины сварочного тока. Отличается тем, что в процессе наплавки используют систему неплавящихся электродов, подключенных к независимому источнику питания, состоящую, по меньшей мере, из двух полых электродов, каждый из которых выполнен со сферической полостью на рабочей части, при этом их число определяют расчетным путем. 2271267 (C1). И. В. Зорин (RU), Г. Н. Соколов (RU), В. И. Лысак (RU), С. Н. Цурихин (RU). ВолгГТУ (RU). [7].

Устройство для сварки секционных отводов трубопроводов содержит смонтированный на станине основания поворотный шпиндель, кинематически связанный с узлом для закрепления отвода, выполненным в виде корпуса и обоймы с зажимами, установленной в корпусе с возможностью поворота вокруг оси, ориентированной под углом к продольной оси шпинделя, смонтированные на шпинделе и обойме узлы с электропроводными элементами для подключения к отводу сварочного напряжения источника электротока, опорный узел с подвижным

по высоте верхним корпусом и роликоопору, ролик которой смонтирован с возможностью регулируемого усилия взаимодействия с секцией отвода, геометрическая ось которой соосна со шпинделем, при этом узел для закрепления отвода выполнен обеспечивающим соосность шпинделя с геометрической осью секции отвода, закрепленного в обойме. Отличается тем, что оно снабжено трубчатой балкой, жестко связанной одним концом с поворотным шпинделем, а другим — с корпусом узла для закрепления отвода, а подвижный по высоте верхний корпус опорного узла с закрепленной на нем площадкой смонтирован в опорах нижнего корпуса с возможностью взаимодействия с закрепленной на трубчатой балке опорной площадкой при остановке вращения шпинделя. 2271268 (C2). Н. Д. Засульский (RU). [7].

Установка для пайки режущих пластин к заготовкам дисковых пил содержит смонтированные на основании подвижный узел электрода для закладки режущих пластин, узел вращения диска пилы, выполненный в виде вала, вращающегося в опоре, токоподводы к вращающемуся валу и подвижному узлу электрода, ножной привод с педалью для рабочего отвода и подвода подвижного узла электрода, пульт управления, систему охлаждения, электрооборудование с силовым трансформатором. Отличается тем, что подвижный узел электрода размещен на тележке, перемещающейся при помощи маховика через винтовую пару, а на валу узла вращения диска пилы жестко закреплен храповой механизм поворота с набором храповых колес и механизм отвода собачки двухшарнирного рычага, один шарнир которого закреплен на станине, а второй соединен с вилкой механизма отвода собачки и маховика. 51923 (U1). А. Е. Хабаров (RU), В. К. Тарасов (RU), В. Н. Дружинин (RU). ОАО "ГАЗ" (RU) [7].

Установка для изготовления пластинчатых теплообменников и способ ее работы. 1. Установка для изготовления пластинчатых теплообменников содержит устройства для их подогрева и транспортировки. Отличается тем, что для повышения качества изготовления установка дополнительно снабжена вибростендом и размещенным над ним грузовым столом, оснащенный подвижной верхней рамой, соединенной через упругий элемент с основанием стола и при помощи жесткой связи с крепежной плитой вибростенда, и на подвижной верхней раме вертикально размещены два контейнера, имеющие клинообразные днища с отверстиями, снабженными зажимными с эксцентриковыми зажимами. 2. *Способ работы установки* для изготовления пластинчатых теплообменников путем предварительного подогрева собранного теплообменника и нанесения на его элементы порошкового припоя отличается тем, что припой наносят путем поочередного заполнения двух контейнеров, в одном из которых размещают порошок припоя, а в другом — теплообменник, затем нагревают оба контейнера и устанавливают контейнер с теплообменником на подвижную верхнюю раму грузового стола, а сверху контейнер с порошком, после чего пересыпают порошок из верхнего контейнера в нижний в условиях вибрации. 654071 (A1). А. В. Барсуков, В. М. Дедехин, И. А. Зернов и др. [8].

Устройство для закрепления теплообменных труб в трубной доске теплообменника содержит оптический квантовый генератор с фокусирующей системой. Отличается тем, что для повышения надежности путем создания прочного сварного соединения при использовании активных материалов, например титана, оно допол-

нительно содержит камеру, установленную на трубной доске в зоне торцевых отверстий труб, подключенную к источнику инертного газа, например гелия, и имеющую щель в виде воронки с внутренней отбортовкой, направление которой совпадает с осью лазерного луча. 624503 (A1). А. И. Волков, М. М. Милько, Ф. К. Косырев, С. Ф. Морщев. [8].

Установка для крепления теплообменных труб в трубной доске содержит лазер с оптической системой, включающей фокусирующие линзы, расположенные по оси труб, укрепленных в отверстиях трубных досок, размещенных внутри камеры. Отличается тем, что для повышения эксплуатационной надежности камера имеет прозрачную крышку из оргстекла, а оптическая система выполнена в виде расположенных над крышкой наклонных зеркал, под которыми размещены фокусирующие линзы, вынесенные за пределы камеры. 635773 (A1). В. А. Газин, М. М. Милько. [8].

Установка для электронно-лучевой сварки содержит соединенную с системой вакуумирования и установленную на основании неподвижную рабочую камеру для сварки, в которой равномерно по окружности установлены герметичные камеры, образующие систему шлюзования, поворотный загрузочный барабан, расположенный вне рабочей камеры соосно окружности, по которой расположены камеры системы шлюзования, и имеющий вакуумные вводы по числу этих камер. Отличается тем, что снабжена транспортером, устройством установки и снятия технологических заглушек в открытый конец изделия и системой управления. Транспортер установлен на общем с рабочей камерой основании под загрузочным барабаном вдоль него и снабжен механизмом загрузки и выгрузки изделий, а устройство установки и снятия технологических заглушек в открытый конец изделия, состоящее из комплекта технологических заглушек в количестве не меньше количества вакуумных вводов поворотного загрузочного барабана и механизма автоматической установки и снятия технологических заглушек, расположено с торца транспортера и функционально связано с установкой через систему управления, причем механизм автоматической установки и снятия технологических заглушек размещен на приводе, установленном с возможностью перемещения указанного механизма между позициями установки и снятия технологических заглушек, а каждая из технологических заглушек содержит эластичное уплотнение, диаметр которого в свободном состоянии меньше диаметра ее заходной части, размещаемой в изделии. 2271906 (C1). В. И. Васильков (RU), Н. В. Онучин (RU), А. А. Кислицкий (RU) и др. ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU). [8].

Способ крепления кремниевой пластины к стеклянной подложке отличается тем, что проводят механическую обработку и химическую очистку поверхностей кремниевой пластины и стеклянной подложки, покрывают их слоем алюминия, затем предварительно подвергнутую химической очистке алюминиевую фольгу накладывают на слой алюминия кремниевой пластины и приваривают ультразвуковой сваркой, устанавливая кремниевую пластину с наваренной алюминиевой фольгой на стеклянную подложку с предварительно нанесенным на нее слоем алюминия, после чего выступающие края алюминиевой фольги наваривают на алюминиевый слой стеклянной подложки ультразвуковой сваркой. 2271907 (C2).

А. В. Неудачин (RU), Н. А. Зотов (RU), В. Л. Фролов (RU). ФГУП НИИ "Волга" (RU). [8].

Способ лазерной сварки трением с перемешиванием соединения деталей включает прижатие соединяемых боковых поверхностей деталей друг к другу, в результате чего образуется зона соединения; перемещение сварочного зонда с вращательным движением вдоль зоны соединения и облучение лежащего перед сварочным зондом материала деталей лазерным излучением так, что в результате лазерной энергии и энергии трения между сварочным зондом и деталью материал деталей вдоль зоны соединения пластифицируется и позади сварочного зонда затвердевает, и удаление сварочного зонда из зоны соединения, прежде чем материал детали полностью затвердеет. Отличается тем, что боковые поверхности выполняют таким образом, что в прижатом состоянии они соприкасаются в зоне корня стыковочного профиля, а в средней зоне между боковыми поверхностями имеется зазор, расположенный со стороны зонда и лазерного излучения. 2271908 (C2). Ф. Пальм (DE). "ЭАДС ДОЙЧЛАНД ГмбХ" (DE). [8].

Способ сварки давлением, при котором к деталям прикладывают начальное давление, нагревают их V-образным электродом, а затем прикладывают добавочное давление. Отличается тем, что в процессе начального давления на V-образный электрод дополнительно подают ультразвуковые колебания, а при добавочном давлении амплитуду колебаний уменьшают до нуля. 2271909 (C2). В. В. Зенин (RU), Ю. Е. Сегал (RU), Ю. Л. Фоменко (RU) и др. Воронежский ГТУ (RU), ООО КТЦ "Электроника" (RU). [8].

Устройство для дуговой многоэлектродной сварки содержит неплавящиеся электроды, закрепленные в общей горелке и соединенные с общим токоподводом, причем каждый электрод снабжен соленоидом, торец сердечника которого расположен против рабочего конца электрода, а соленоиды закреплены в общих держателях и подключены к источнику их питания через устройство программной коммутации тока. Отличается тем, что между электродами установлены экраны, выполненные из теплоустойчивого неэлектропроводного магнитомягкого ферромагнетика или металла, на поверхность которого с обеих сторон нанесен слой теплоустойчивого неэлектропроводного магнитомягкого ферромагнетика. 2272699 (C2). Ю. В. Казаков (RU), А. А. Акимов (RU). ФГУП НКБ "Парсек" (RU). [9].

Состав порошковой проволоки, включающей стальную оболочку и порошковую шихту, содержащую рутиловый концентрат, марганец, никель, хром, мрамор и фторсодержащий компонент. Отличается тем, что состав дополнительно содержит ферросиликоцирконий и ферротитан, а в качестве фторсодержащего компонента — криолит при следующем соотношении компонентов (%): 5—8 рутилового концентрата; 6—14 марганца; 6—9 никеля; 11,5—18,0 хрома; 1—2 мрамора; 1—6 ферросиликоциркония; 1—2 ферротитана; 0,5—0,8 криолита; остальное — стальная оболочка. 2272700 (C1). А. Н. Балин (RU), А. В. Березовский (RU). ЗАО "Завод сварочных материалов" (RU). [9].

Порошковая проволока для наплавки открытой дугой деталей железнодорожного транспорта состоит из стальной оболочки и порошкообразной шихты, содержащей рутиловый концентрат, ферромарганец, ферротитан. Отличается тем, что в состав шихты дополнительно

но введены мрамор, плавиковый шпат, алюминиевый порошок, ферросилиций и кремнефтористый натрий при следующем соотношении компонентов в ней (%): 1—3 мрамора; 3—5 рутилового концентрата; 3—5 плавикового шпата; 0,3—1,0 ферромарганца; 3—5 ферротитана; 0,1—1,0 ферросилиция; 0,1—0,8 алюминиевого порошка; 0,3—1,0 кремнефтористого натрия; остальное — стальная оболочка. 2272701 (C1). С. А. Шамин (RU). ОАО "Череповецкий сталепрокатный завод" (RU). [9].

Универсальный ручной резак содержит трубопроводы с вентилями для подачи кислорода и горючего газа в смесительную камеру, трубку для подвода смеси кислорода и горючего газа в головку с мундштуком, трубку с вентилем для подвода режущего кислорода в головку. Отличается тем, что после последнего вентиля на трубках для подвода смеси кислорода и горючего газа, а также режущего кислорода установлен защитный экран, а трубка для подвода режущего кислорода после вентиля режущего кислорода выполнена разного диаметра, причем участок большего диаметра выполнен со стороны головки и снабжен скребком. 52354 (U1). В. Г. Кузнецов (RU), М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU), И. М. Захаров (RU). ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [9].

Механизм подачи сварочной проволоки содержит неподвижный корпус, смонтированные в нем на осях с возможностью вращения подающие, прижимной и приводной ролики, имеющие насечки на рабочей поверхности, и раму, на которой закреплены оси роликов. Отличается тем, что снабжен парой калибрующих роликов, расположенных на соответствующих частях рамы по ходу движения проволоки, один — с прижимным, другой — с кинематически с ним связанным приводным роликом. 52355 (U1). В. Т. Федько (RU), О. Г. Брунов (RU), Л. Е. Колмогоров (RU), С. А. Солодский (RU). Томский политехнический университет (RU). [9].

Устройство для контактной сварки панелей содержит станину, закрепленные на ней подвижный верхний, неподвижный нижний электроды и механизм поджа-

тия пакета свариваемых деталей. Отличается тем, что указанный механизм выполнен из двух разъемных частей с пазами в них, образующими полость с размещенной в ней эластичной оболочкой, соединенной с источником давления. 2273554 (C2). В. А. Тарасов (RU), В. И. Максименков (RU). ФГУП НИАСПК (RU). [10].

Устройство для контактной сварки панелей содержит станину, закрепленные на ней подвижный верхний, неподвижный нижний электроды и механизм поджатия пакета свариваемых деталей. Отличается тем, что указанный механизм выполнен из двух разъемных частей, поверхности соприкосновения которых выполнены под углом, меньшим угла трения материала частей, при этом одна из частей связана жесткой тягой с приводом ее перемещения. 2273555 (C2). В. А. Тарасов (RU), В. И. Максименков (RU). ФГУП НИАСПК (RU). [10].

Припой на основе меди содержит никель, марганец, кобальт. Отличается тем, что он дополнительно содержит кремний, железо, бор, фосфор и титан при следующем соотношении компонентов (%): 28,0—30,0 никеля; 27,0—30,0 марганца; 4,0—6,0 кобальта; 0,8—1,2 кремния; 1,0—1,5 железа; 0,15—0,25 бора; 0,1—0,2 фосфора; 0,05—0,12 титана; остальное — медь. 2273556 (C1). В. Н. Каблов, В. И. Лукин, В. С. Рыльников и др. ФГУП "ВИАМ". [10].

Установка для диффузионной сварки содержит сварочную камеру, привод давления, неподвижную и подвижную траверсы и шток. Отличается тем, что для повышения качества сварки за счет обеспечения заданной деформации свариваемых деталей она снабжена дополнительной неподвижной траверсой и стойками с регулируемой по высоте упорами, причем дополнительная неподвижная траверса установлена между подвижной траверсой и сварочной камерой, стойки расположены на ней симметрично относительно штока, а подвижная траверса выполнена с отверстиями, в которые вставлены стойки. 862476 (A1). В. М. Дробчик, А. И. Исаев, В. Г. Ломоносов и др. [10].

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791:669.295

Комплексное легирование и термическая обработка титановых сплавов. Хорев А. И. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 5—10.

Работа посвящена исследованию перспективных титановых сплавов в изделиях авиакосмической техники. Приведены системы легирования, механические и технологические свойства титановых сплавов, разработанных в ФГУП "ВИАМ". Показана эффективность их применения в штамповарных конструкциях. Ил. 3. Библиогр. 7.

УДК 621.791.75.037

Влияние состава защитного газа на тепловые условия работы неплавящихся электродов. Савинов А. В., Атаманюк В. И., Лапин И. Е. и др. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 10—14.

Рассмотрены тепловые условия работы неплавящихся электродов трех типов: с конической заточкой ра-

бочего участка, полостью на торце, а также биметаллических композиционных при сварке постоянным током прямой полярности в смесях аргона и гелия. Исследовано влияние соотношения концентрации компонентов аргонгелиевой смеси и конструкции рабочего участка электродов на их работоспособность. Выявлены зависимости критического тока для электродов с конической заточкой рабочего участка от содержания гелия в защитной смеси. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК 621.791.3

Особенности восстановления высоконагруженных деталей с поверхностными дефектами. Макаренко Н. Г., Вивденко Ю. Н., Резин С. А. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 15—18.

На основе анализа размерных технологических цепей и использования положений механики разрушения установлены закономерности подготовки восстанавливаемых поверхностей деталей с поверхностными дефек-

тами к нанесению восстановительного слоя, нанесение этого слоя и его размерной обработки. Получены данные для минимизации удаляемых и наносимых слоев в технологиях восстановления деталей машин. Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 6.

УДК 621.795.75—52

Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов. Алпеева Т. В., Емельянов В. М., Котельников А. А. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 19—22.

Разработаны математические модели сварных швов при соединении трубчатых элементов. Проведена проверка точности полученных уравнений линии пересечения поверхностей свариваемых деталей. Для практической реализации полученных зависимостей координат x , y , z предложена механическая манипуляционная система сварочного робота с дискретным (шаговым приводом), работающим в прямоугольной системе координат. Библиогр. 2.

УДК 621.791:621.643.1/2

Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 1. Сварные соединения трубопроводов I категории. Хромченко Ф. А. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 22—27.

Приведены способы контроля с комплексом работ, проводимых при техническом диагностировании сварных соединений трубопроводов пара и горячей воды, отработавших парковый ресурс, а также критерии работоспособности сварных соединений и качества основного металла. Табл. 5. Ил. 4.

УДК 621.791.65

Управление процессом каплепереноса при сварке в CO_2 длинной дугой. Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 28—30.

Теоретически определены и практически подтверждены условия для отрыва капли электродного металла при сварке в CO_2 с импульсным питанием длинной дугой. Установлена область режимов, параметры импульсов в которой обеспечивают управляемый каплеперенос электродного металла. Применение импульсного питания позволило осуществить управляемый перенос при сварке в CO_2 длинной дугой. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791:004.67

Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной

проволоки. Мозок В. М., Лебедев В. А. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 31—34.

Приведены новые механизмы импульсной подачи самозащитной порошковой электродной проволоки на основе квазиволновых преобразователей для наплавки и сварки крупногабаритных деталей, обеспечивающие управляемый перенос электродного металла и значительную экономию сварочных материалов и электроэнергии. Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 621.791.4.03:539.378.3

Установка УДС-1 для диффузионной сварки. Люшинский А. В., Ефанов А. А., Чуклинов С. В. и др. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 35—38.

Разработана установка для диффузионной сварки в вакууме нового поколения с полностью автоматическим управлением сварочным циклом. Производительность труда при работе на таких установках повышается в 2—3 раза по сравнению с ранее применявшимися. Эксплуатация наиболее эффективна на серийных заводах. Ил. 3.

УДК 621.791.09:621.785

Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства. Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б. и др. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 39—40.

Описано проведение термической обработки способом внутреннего нагрева реактора установки производства полиэтилена низкого давления в условиях реконструкции действующего производства. Применение данного способа термической обработки позволило значительно сократить сроки реконструкции. Ил. 1.

УДК 621.791:658.562

Процессный подход в системах менеджмента качества электродного производства по МС ISO серии 9000:2000. Марченко А. Е. — Сварочное производство. 2007. № 6. С. 40—46.

Изложены принципы процессного подхода в системах менеджмента качества, и в частности в электродном производстве. Приведены определение и суть процессного подхода, история его становления и развития в определяющих работах по управлению и менеджменту. Предложена идентификация процессов менеджмента качества по ДСТУ ISO 9000:2001. Ил. 1. Библиогр. 18.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2007, N 6

Complex alloying and heat treatment of titanium alloys. Khorev A. I. P. 5—10.

Research on perspective titanium alloys in production of aeronautical engineering is considered. Alloyage systems, as well as mechanical and processing characteristics for titanium alloys, developed at the VIAM, FGUP are given. Effectiveness of the alloys application in stamped constructions is shown.

Shielding gas composition influence on the thermal conditions of non-consumable electrodes at dc-arc welding. Savinov A. V., Atamanyuk V. I., Lapin I. Ye., Lysak V. I., Markin A. B. P. 10—14.

Thermal operation conditions for non-consumable electrodes of three types are considered, such as of funnel shaped electrodes, butt-caved and bi-metallic composite ones at direct polarity dc argon-helium welding. Effect of cor-

relation between argon-helium mixing and electrode effective area construction on their workability is studied. Dependencies of funnel shaped electrodes critical current on the helium content in the protective mixture.

Recondition of heavy-loaded surface blemished parts. Makarenko N. G., Vivdenko Yu. N., Rezin S. A. P. 15—18.

Blemished parts surface preparation mechanism for pre-layer application, as well as this layer application and its dimensional machining is established, basing on the analysis of dimensional process sequence and usage or regulations of fracture mechanics. Data to minimize eliminated and applied layers in machine parts repair processing is obtained.

Displacement design steps for tubular robotized welding. Alpeyeva T. V., Yemelyanov V. M., Kotelnikov A. A. P. 19—22.

Mathematical models of welds at tubular joining are developed. Accuracy check of the obtained equations for the welded parts surfaces intersection line is carried out. Aimed at putting into practice obtained dependences of the x, y, z coordinates, a mechanical manipulation system of a discrete Cartesian coordinate welding robot is suggested.

Pipeline welded joints technical diagnostics. Part 1. Welded joints of the 1st class pipelines. Khromchenko F. A. P. 22—27.

Check techniques and work package, carried out at technical diagnostics of steam and hot water pipelines welded joints, worked out resources, regulated by standard requirement, are covered.

Drop transfer process control at carbon-dioxide-shielded long-arc-welding. Knyazkov A. F., Krampit N. Yu., Krampit A. G. P. 28—30.

Electrode metal droplet detachment conditions at carbon-dioxide-shielded long-arc-welding are theoretically determined and justified in practice. Feasible area is established, in which impulse parameters ensure controlled electrode metal drop transfer. Switch-mode supply usage

enables to put into practice controlled transfer at carbon-dioxide-shielded long-arc-welding.

Unique repair using electrode controlled pulse feeding. Mozok V. M., Lebedev V. A. P. 31—34.

New self-protective powder electrode pulse-feeding machines based on quasi-undulatory commutator for large-scale pieces building-up and welding are considered. These machines ensure electrode metal controlled transfer, welding materials significant economy and energy saving.

The УДС-1 diffusion welding installation. Lyushinsky A. V., Yefanov A. A., Chooklinov S. V., Bilyk A. V., Konstantinov V. V., Sokolov Yu. A., Prosvirin V. P., Bratchook S. D. P. 35—38.

A vacuum diffusion welding installation of new generation is designed, which has completely automatic control system for welding cycle. Labor productivity is 2—3 times higher on such installations as compared to those used earlier. Most effective use of these installations is at line production plants.

A reactor 3D heat treatment by internal heat in the live plant renovation conditions. Babkin V. A., Lavrov A. I., Lovyrev P. B., Trukhan M. N., Finogentov O. G., Korabliov N. V., Korolkov P. M. P. 39—40.

Reactor internal heat treatment of a polythene-production low pressure plant is described in the live plant renovation conditions. Application of this heat treatment technique ensured to reduce renovation period considerably.

Electrode manufacturing quality management system process approach according to MC ISO 9000:2000. Marchenko A. Ye. P. 40—46.

Quality management systems process philosophy is covered, and in electrode industry in particular. Definitions and essence of the process philosophy, its formation and development history are given by major works on management. Recognition of quality management states according to DSTU ISO 9000:2001 is suggested.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 17.04.2007. Подписано в печать 18.05.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 10,17. Заказ 11/07.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

70807 в каталоге Агентства "Роспечать"; 27860 в Объединенном каталоге "Пресса России"; 60256 в каталоге "Почта России".