Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

Сварочное производство

5 (882)
Май
2008

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 научно-технического сварочного общества,
Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции,
Союза машиностроителей России

Редакционная коллегия:
Гл. редактор **В. А. Казаков**
Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

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

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

Электронная верстка: *Т. А. Шацкая*
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; 796 2491.**
Факс: **(495) 687 6316**.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

Журнал "Сварочное производство" переводится на английский язык издательством "Taylor & Francis" (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное производство" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала.
При перепечатке материалов ссылка на журнал "Сварочное производство" обязательна.
В случае обнаружения полиграфического брака редакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7778.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.
Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Стойкость наплавленных самофлюсующих сплавов против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах 3

Макиенко В. М., Баранов Е. М., Романов И. О., Строителев Д. В. — Порошковая проволока для наплавки высокомарганцовистой аустенитной стали 7

Лебедев В. А. — Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки 10

Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И. — Инверторный источник питания для сварки модулированным током 18

Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Севрюков О. Н., Федотов В. Т. — Применение припоев для контроля качества соединений из титановых сплавов, выполненных точечной контактной сваркой 22

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Хромченко Ф. А. — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 2. Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий 26

Николаев А. И., Петров В. Б., Плешаков Ю. В., Брусницын Ю. Д., Баранов А. В. — Характеристика сырьевой базы Мурманской области, компонентов электродных покрытий и флюсов для сварки 32

Мчедлов С. Г. — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 2. Плазменное напыление 36

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Куршаков Л. Е., Мироненко В. В. — Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики 49

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Карезин В. В. — Выбор вуза — служба занятости или центр развития карьеры? 51

ИНФОРМАЦИЯ

Штрикман М. М. — Первая международная конференция и выставка "Соединение алюминиевых конструкций" 54

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке 55

Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки 58

Рефераты опубликованных статей 61

© Издательство "Машиностроение", Издательский центр "Технология машиностроения", "Сварочное производство", 2008

Scientific, technical and production monthly journal

Svarochnoe Proizvodstvo

5 (882) May 2008

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 Scientific-Technical Welding Society,
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production,
The Union of Machine Engineers of Russia

Editorial board:

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

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

Editorial staff:

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

Electron galley: *T. A. Shatskaya*
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;
796 2491.
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 reprint is obligatory.
The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Taylor & Francis" (Great Britain).
The journal is registrated 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

Isakayev E. Kh., Mordynsky V. B. — Welded self-fluxing alloys resistance to corrosion cracking in the hydrogen sulphide-based medium ____ 3

Makiyenko V. M., Baranov Ye. M., Romanov I. O., Stroitelev D. V. — Flux cored wire to overlay high-manganese austenitic steel ____ 7

Lebedev V. A. — Problems of the electrode wire feed system dynamics ____ 10

Knyazkov A. F., Knyazkov S. A., Dementsev K. I. — Inverter power source for modulate-current welding ____ 18

Menshikov G. A., Antonov V. G., Sevryukov O. N., Fedotov V. T. — Solder alloy application to control quality of the titanium joints conducted by resistance-spot welding ____ 22

PRODUCTION SECTION

Khromchenko F. A. — Welding practice of the heat-and-power engineering pipeline system elements repair. Part 2: Repair of the 2nd—4th class pipeline elements ____ 26

Nikolayev A. I., Pleshakov Yu. V., Brousnitsyn Yu. D., Baranov A. V., Petrov V. B. — Features of the Murmansk region raw materials sources, coating materials and welding compounds ____ 32

Mchedlov S. G. — Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes: A Review. Part 2: Plasma spraying ____ 36

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Kurshakov L. Ye., Mironenko V. V. — Some aspects of the Russian machine-building complex renewal from the standpoint of domestic economy diversification ____ 49

EDUCATION & PERSONNEL TRAINING

Karezin V. V. — Choosing an institute of higher education: is it placement service or career centralization? ____ 51

BIBLIOGRAPHY

Contents of the foreign journals in the field of welding ____ 55

RF patents, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding ____ 58

Abstracts of the published articles ____ 62

УДК 621.791.052:620.193.2

Э. Х. ИСАКАЕВ, д-р техн. наук, В. Б. Мордынский, канд. техн. наук
ОИВТ РАН (Москва)

Стойкость наплавленных самофлюсующих сплавов против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах[1]

Развитие нефтегазовой и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности значительно стимулировало интерес к проблеме коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах [1—5]. Особую значимость это приобретает для запорной арматуры, предназначенной для эксплуатации в средах с содержанием до 25 % сероводорода и углекислого газа и пластовым давлением до 70—105 МПа.

Опыт эксплуатации промышленной арматуры и анализ причин ее быстрого выхода из строя показывают, что одним из основных факторов, определяющих срок ее службы, является работоспособность пары трения запорного органа, характеризуемая максимальным циклом его срабатывания (открытие—закрытие). Потеря герметичности задвижки происходит преимущественно вследствие коррозионно-механического изнашивания уплотнительных поверхностей деталей затвора (щека—плашка, шибер—седло), обусловленного высокими контактными давлениями, интенсивным гидроабразивным промывом проточной части и агрессивностью рабочих сред. Срок службы основных рабочих элементов, например фонтанной арматуры с покрытием из химического никеля, колеблется от нескольких недель на скважинах с выбросом песка до нескольких лет в благоприятных условиях, что существенно ниже гарантированного ресурса аналогичного зарубежного оборудования [2] (рис. 1). Плазменная наплавка порошками самофлюсующих твердых сплавов на никелевой основе типа ПГ-СР обеспечивает высокие эксплуатационные показатели оборудования [4, 5], однако поведение биметалла остается недостаточно изученным.

Цель данной работы — оценка стойкости наплавленных на сталь 30ХМА самофлюсующих сплавов против сероводородного коррозионного растрескивания (СКР) применительно к затворам фонтанной арматуры.

Имеется ряд принципиальных особенностей, которые необходимо учитывать при исследовании стойкости наплавленного металла против СКР. Значительные различия соединения по структуре и свойствам могут привести, как и в случае разнородных сварных швов, к преждевременному разрушению деталей и отказу оборудования [6, 7]. Изучение поведения биметалла в сероводородных средах является актуальным, так как водородная хрупкость приводит к замедленному разрушению, развивающемуся в течение времени под воздействием статического напряжения ниже предела текучести [7], и, по мнению авторов работы [3], возможность применения новых материалов в этих средах должна рассматриваться для каждого конкретного случая с учетом условий эксплуатации. Склонность конструкционных сталей к коррозии под напряжением оценивают пределом длительной коррозионной прочности (порогом напряжения), временем до

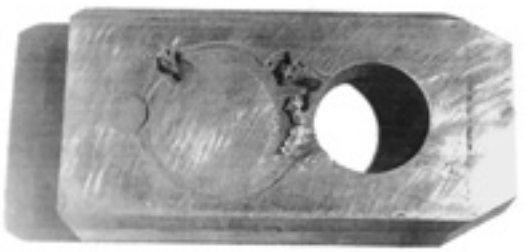


Рис. 1. Характерные дефекты на уплотнительной поверхности плашки задвижки ЗМАД-50×700, образовавшиеся вследствие интенсивного коррозионно-механического и гидроабразивного изнашивания в среде с содержанием до 7 % сероводорода и углекислого газа

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 05-08-18027).

разрушения при данном напряжении, коэффициентом интенсивности напряжений в вершине коррозионной трещины и др. [3, 7].

Анализ методов оценки склонности сварных соединений к разрушению в агрессивных средах в напряженном состоянии показывает, что методика испытаний должна воспроизводить напряженное состояние конструкций, учитывать особенности технологии получения соединений, влияние материала и других факторов на долговечность в этих условиях, обладать относительной простотой и обеспечивать достоверность результатов. Условия работы наплавленного слоя на уплотнительной поверхности шибера или плашки и схемы расчета на прочность при проектировании фонтанной арматуры позволяют выбрать для оценки СКР метод испытаний при постоянной нагрузке [7], имеющий широкое практическое применение.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительную оценку влияния различных технологических параметров процесса на стойкость против СКР проводили на образцах, которые готовили следующим образом. В пластине из стали 30ХМА (рис. 2, *а*) выполняли разделку под углом 60° на глубину 8 мм. После предварительного нагрева в печи до 200—400 °С (или плазменной дугой при токе 80 А) разделку заполняли порошками ПГ-СР3 и ПГ-СР4 в один, два или три прохода на установке УПН-303. В зависимости от числа проходов изменяли только ток дуги, который на первом слое составлял 180—140 А, а на последующих — 140—100 А, скорость наплавки 4—6 м/ч, расход порошка 2—3 кг/ч, частота колебаний 15 мин$^{-1}$, плазмообразующий, транспортирующий и защитный газ — аргон. После наплавки пластины охлаждали в сухом песке. Последующую термическую обработку проводили для снятия остаточных напряжений после разрезки пластины на заготовки размером 12 × 12 × 70 мм (рис. 2, *а*, *б*), из которых изготовляли стандартные образцы (рис. 2, *в*) для определения механических свойств и испытаний на СКР.

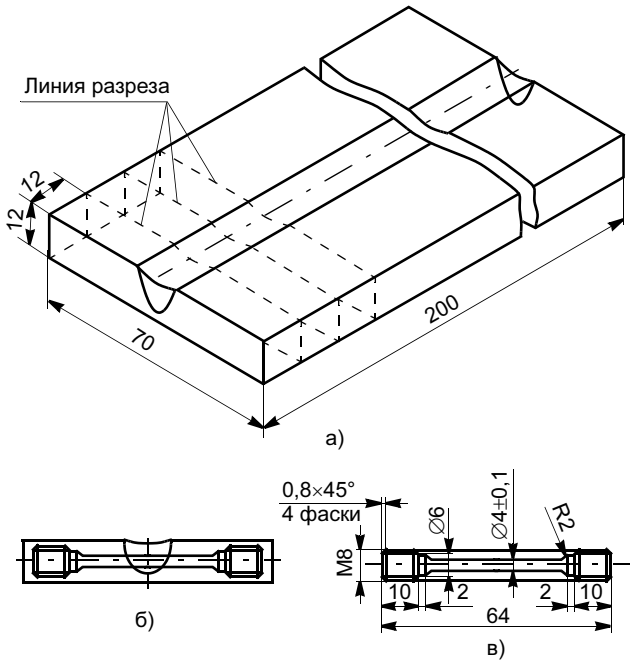


Рис. 2. Подготовка образца для испытаний на стойкость против СКР: *а* — схема разрезки пластины на заготовки; *б* — схема изготовления образца из заготовки; *в* — образец для испытаний

Раствор для испытаний готовили на дистиллированной воде с содержанием 5 % NaCl и CH_3COOH с растворенным сероводородом концентрации до 2500—3000 мг/л при атмосферном давлении и комнатной температуре (18—20 °С).

Для поддержания постоянной кислотности раствора pH = 3 и необходимой концентрации сероводорода ежедневно заменяли его на вновь приготовленный. Образцы выдерживали в печи в течение 2 ч при 550 и 650 °С, часть образцов термической обработке не подвергали.

Испытания проводили на разрывной машине ИНК-1, в которой напряжение на образце создается постоянной нагрузкой, относительная погрешность последней не превышает 1 %. В качестве основного критерия стойкости против СКР принято время до разрушения параллельно испытываемых образцов при заданном уровне напряжений. Базовое время составляло 720 ч.

На общую коррозию испытывали заготовки и плоские образцы размером 50×50×16 мм, которые вырезали из пластины размером 200×70×12 мм после наплавки на нее валика и шлифовки, при тех же условиях и времени выдержки.

Механические свойства образцов (см. рис. 2, *в*) определяли на машине ИМ-12а при скорости деформирования 2 мм/мин (для каждого варианта испытывали пять образцов; среднее значение рассчитывали по трем — два крайних не учитывали). При обнаружении на изломе пор или включений образцы отбраковывали и результаты не учитывали.

Структуры образцов при этих испытаниях определяли металлографическими исследованиями шлифов на микроскопах МИМ-8, "Неофот", фрактографическое изучение поверхности изломов — на оптическом и сканирующем Camscan-4DV микроскопах, микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3. Травление наплавленного металла производили насыщенным раствором хлорного железа в соляной кислоте, а стали — 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Испытаниям на стойкость против СКР в данной среде подвергали образцы в исходном после наплавки состоянии и после термической обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После осмотра поверхности образцов, выдержавших испытания на общую коррозию, следы коррозионного поражения наплавленных слоев не выявлены, наблюдается равномерная коррозия стали 30ХМА. В наплавленном соединении коррозионные язвы, кратеры и отслаивания не обнаружены и после разрушения образцов путем изгиба.

В результате определения механических свойств получены следующие показатели предела текучести $\sigma_т$ (в скобках указан предел прочности $\sigma_в$, МПа): в исходном состоянии — 480 (660) МПа, после отпуска при 600 °С в течение 2 ч — 410 (520) МПа, после отпуска при 650 °С в течение 2 ч — 400 (520) МПа. При последующих испытаниях на стойкость против СКР напряжения на образце задавали по значению $\sigma_т$ для конкретного варианта. Разрушение образцов при этих испытаниях происходило по границе сплавления без заметной пластической деформации и ее локализации (образование шейки) при относительном удлинении 3—10 %, причем большее удлинение характерно для образцов после отпуска. В результате металлографических исследований установлено, что разрушение начинается в зоне сплавления и происходит преимущественно по наплавленному металлу на расстоянии 3—8 мкм от стали 30ХМА, т. е. распространение трещины наблюдается по белой полоске γ-твердого раствора (рис. 3).

Данное обстоятельство и характер распространения разрушения при механических испытаниях биметаллических образцов подтверждают условность термина "граница сплавления" [6, 8], хотя в действительности зона сплавления исследуемых материалов при оптимальных режимах наплавки имеет вид четко выраженной линии (границы) раздела между подложкой и наплавленным порошком (рис. 4). Так, со стороны наплавленного металла к ней примыкает так называемая "белая полоска" толщиной 5—15 мкм, природа которой имеет кристаллизационный характер. Поэтому в ряде работ ее называют кристаллизационной в отличие от прослойки, которая формируется со стороны основного металла, получившей название диффузионной. При металлографических исследованиях она легко выявляется по повышенным параметрам микротвердости и травимости.

В работах [6, 8] показано, что температура и продолжительность отпуска влияют на ширину и свойства данной прослойки и отмечается, что вследствие ничтожно малой относительной ее толщины развитие вязких разрушений практически исключено и изломы должны рассматриваться как хрупкие, обусловленные низким сопротивлением

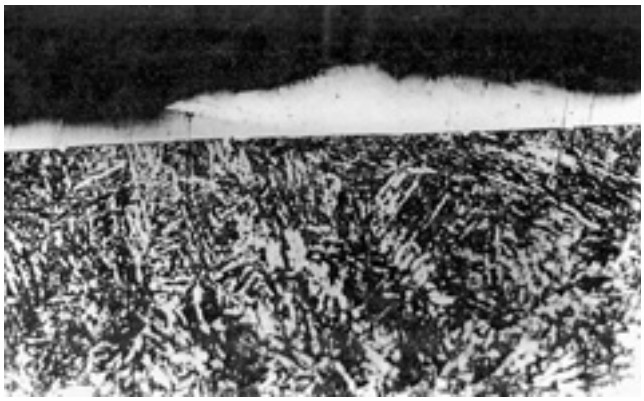


Рис. 3. Характер разрушения образцов при растяжении на машине ИМ-12 со скоростью деформирования 2 мм/мин (травление в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты). ×320

Рис. 4. Строение зоны сплавления при однослойной наплавке порошком ПГ-СР3

отрыву отдельных ее участков вследствие эффекта контактного упрочнения. Отмечается [8], что по ней происходит расслоение образцов при ударных нагрузках и разрушение при статических испытаниях на отрыв наплавленного металла, и формируется она в основном после продолжительной выдержки при 600—730 °С, когда, возможно, происходит образование борида железа Fe_2B и некоторых карбидов.

В результате испытаний на стойкость против СКР (рис. 5) установлено, что образцы не разрушаются при напряжении до 0,5—0,8$\sigma_т$, т. е. биметаллические соединения обеспечивают расчетный допустимый предел напряжений 0,4$\sigma_т$, который принимается при проектировании фонтанной арматуры, или 0,6$\sigma_т$ по ТУ на сталь. Отметим также, что термическая обработка, проведение которой после

наплавки необходимо для снятия остаточных напряжений, повышает в среднем на 28—34 % предел коррозионной прочности $\sigma_{кр}$ (см. рис. 5, кривая *2*). Следовательно, последующий отпуск приводит к выравниванию свойств зоны сплавления и обеспечивает повышение стойкости против СКР.

Как и следовало ожидать, при испытаниях на стойкость против СКР распространение разрушения начинается от кольцевой микротрещины, которая образуется по диффузионной прослойке в основном металле, с последующим переходом в наплавку. Вероятно, очагом коррозионного растрескивания являются поверхностные коррозионные повреждения стали 30ХМА, которые служат концентратором напряжений.

Поверхность разрушения образцов отличается наличием характерных матовых темных участков (особенно в начальной зоне относительно медленного развития трещины) и покрыта продуктами коррозии, что делает практически невозможным исследование строения изломов методами оптической металлографии. Полный количественный и качественный анализ изломов [9] затруднен по указанным причинам и при фрактографических исследованиях на растровом микроскопе. В начальной зоне разрушения (рис. 6, *а*) отчетливо видны мелкие частицы, которые при большем увеличении (рис. 6, *б*) представляют собой гладкие покрытые продуктами коррозии образования различной формы и беспорядочного пространственного расположения, что согласуется с результатами работы [8]. Излом наплавленного слоя (рис. 6, *в*) представляет поверхность, характерную для низкоэнергоемкого межзеренного разрушения практически без заметных следов волокнистой составляющей, когда в процессе разрушения превалирует механический фактор.

Таким образом, металл зоны сплавления отличается значительной неоднородностью по структурному составу и свойствам и является слабым местом в биметаллическом соединении, где наиболее вероятна возможность появления повреждений в процессе эксплуатации. Переходная зона состоит из сильно отличающихся по своему химическому составу материалов, на границе раздела которых при технологическом процессе происходят значительные многочисленные взаимодействия в твердожидком и твердом состояниях, наблюдается изменение различных свойств.

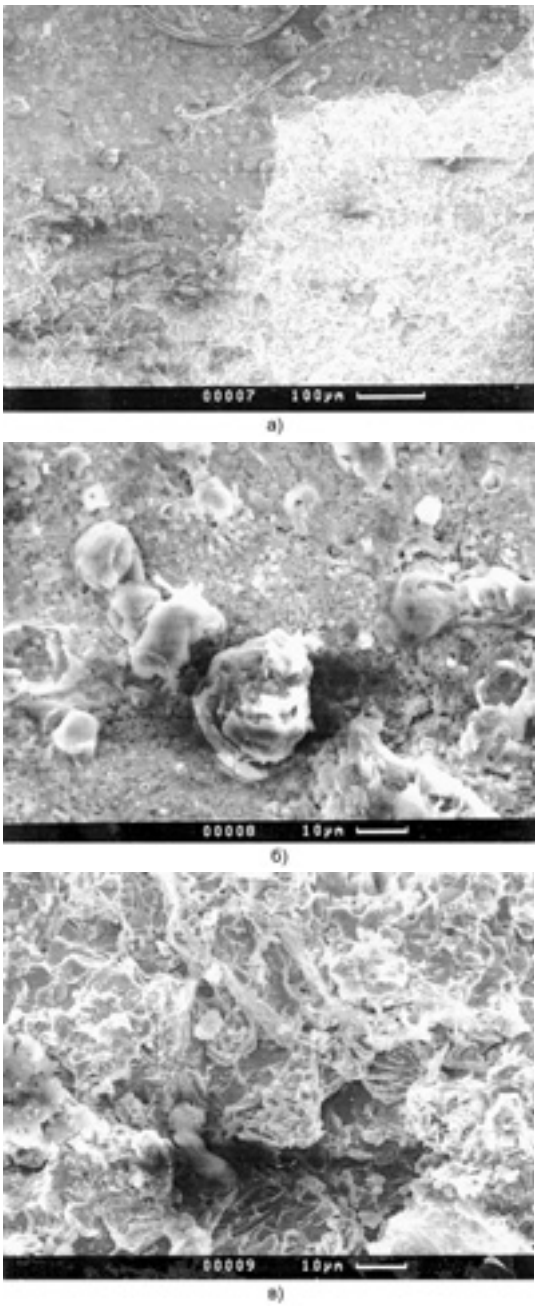


Рис. 6. Строение излома на начальном этапе медленного развития трещины в переходной области зоны сплавления (*а*), форма выделений избыточных фаз (там же) на поверхности стали 30ХМА (*б*), зона долома наплавленного слоя (*в*)

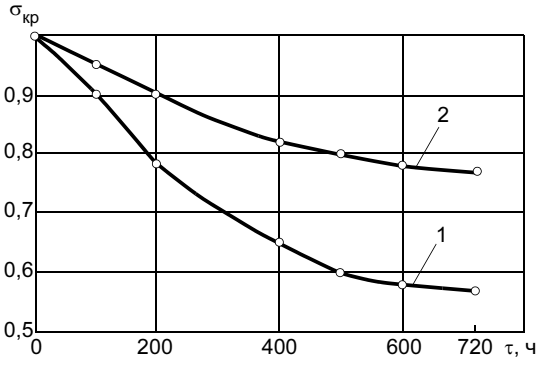


Рис. 5. Предел длительной коррозионной прочности наплавленных сплавом ПГ-СР3 образцов в исходном состоянии (*1*) и после отпуска при 600—650 °С в течение 2 ч (*2*) в водном растворе 5 % NaCl и 0,5 % CH_3COOH, содержащем 2500—3000 мг/л сероводорода

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика позволяет оценить влияние технологических параметров процессов наплавки и термической обработки на сероводородное коррозионное растрескивание (СКР) биметаллических соединений, в частности уплотнительных элементов запорной арматуры, работающих в сероводородсодержащих средах при рабочем давлении 70—105 МПа.

2. Распространение разрушения начинается от кольцевой микротрещины, которая образуется по диффузионной прослойке в основном металле, с дальнейшим переходом в наплавленный слой. Последующий отпуск при 600—650 °С в течение 2 ч приводит к выравниванию свойств зоны сплавления и обеспечивает повышение в среднем на 30 % предела коррозионной прочности при СКР.

3. Плазменная порошковая наплавка самофлюсующими сплавами обеспечивает стойкость биметаллических соединений против сероводородного коррозионного растрескивания до 0,8 предела текучести материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стеклов О. И., Алексеев А. В., Александров О. А.* Отслаивание наплавленного слоя аустенитной коррозионно-стойкой стали сосудов высокого давления, работающих в водородсодержащих средах (обзор) // Сварочное производство. 1988. № 4. С. 10—13.
2. *Бабаев С. Г.* Надежность нефтепромыслового оборудования. М.: Недра, 1987. 264 с.
3. *Коррозионная* стойкость оборудования химических производств. Нефтеперерабатывающая промышленность / Под ред. Ю. И. Арчакова, А. М. Сухотина. Л.: Химия, 1990. 400 с.
4. *Кершенбаум В. Я., Мордынский В. Б., Слободяников Б. А.* Повышение долговечности рабочих поверхностей арматуры // Долговечность трущихся деталей машин / Под ред. Д. Н. Гаркунова. М.: Машиностроение, 1990. Вып. 5. С. 269—279.
5. *Наплавка* деталей затворов фонтанной арматуры / В. Б. Мордынский, В. П. Барсуков, А. Р. Исхаков, Э. С. Комарчева и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1986. № 11. С. 35—36.
6. *Земзин В. Н.* Сварные соединения разнородных сталей. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 232 с.
7. *Стеклов О. И.* Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. М.: Машиностроение, 1976. 200 с.
8. *Гладкий П. В.* О применении Ni—Cr—Si—B—C-сплавов для наплавки деталей, работающих при повышенных температурах // Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 78—87.
9. *Гордеева Т. А., Жегина И. П.* Анализ изломов при оценке надежности материалов. М.: Машиностроение, 1978. 200 с.

УДК 621.791.92.042

**В. М. МАКИЕНКО, канд. техн. наук, Е. М. БАРАНОВ, канд. техн. наук,
И. О. РОМАНОВ, инж., Д. В. СТРОИТЕЛЕВ, инж.
Дальневосточный государственный университет путей сообщения**

Порошковая проволока для наплавки высокомарганцовистой аустенитной стали

Повышение эксплуатационной стойкости и работоспособности деталей из высокомарганцовистой аустенитной стали является важной научно-технической задачей в развитии экономики страны. Особо остро эта проблема стоит для горнодобывающих предприятий.

Вследствие интенсивного ударно-абразивного износа, а также воздействия циклических нагрузок, дражные черпаки, полувтулки современных драг и зубья ковшей экскаваторов, изготовленные из высокомарганцовистой стали 110Г13Л, выходят из строя задолго до исчерпания планового ресурса работы [1]. В значительной степени на срок эксплуатации влияют низкие температуры, поскольку сопротивление грунта резанию снижает эффективность использования горнодобывающего оборудования.

Одним из путей увеличения сроков службы деталей является электродуговая наплавка порошковыми проволоками. Однако при наплавке высокомарганцовистых сталей происходит угар углерода и марганца, что понижает их износостойкость, а термический цикл приводит к охрупчиванию вследствие образования карбидов. Высокое содержание марганца, обязательное для глубокой десульфурации (с целью устранения горячих трещин), повышает общий уровень стабильности ненаклепанного аустенита. Кроме того, марганец является раскислителем сварочной ванны и его содержания может быть недостаточно для карбидообразования при фазовом наклепе. Структура аустенитной стали также зависит от содержания углерода и марганца: с увеличением данного соотношения растворимость карбидов снижается. Таким образом, наплавленный на изделие слой должен содержать 0,8—1,2 % углерода и 9—14 % марганца [1].

Поверхность изделий высокомарганцовистой стали имеет множество литейных или сварочных дефектов, которые, являясь концентраторами напряжений,

приводят к развитию поверхностных усталостных трещин. Это является одной из причин понижения трибометрической стойкости стали 110Г13Л. Известно, что с уменьшением величины зерна уменьшается и скорость распространения трещины, так как резко увеличивается суммарная протяженность межзеренных границ, по которым проходит усталостный межкристаллитный излом. Измельчение структурных составляющих способствует росту пластичности и хладостойкости.

В настоящее время для наплавки деталей из высокомарганцовистой стали разработан ряд порошковых проволок (Пп-Нп-90Г13Н4, Пп-Нп-200Х15СГРТ, Пп-Нп-250Х10Б2С2Т и др.). При этом для компенсации несовершенства защиты металла от воздействия окружающей среды при наплавке в шихту добавляют стандартные нитридообразующие компоненты (ферротитан, алюминиевый порошок) [2]. В этом случае азот не удаляется из расплавленного металла, а устранение пористости происходит за счет связывания азота в твердые химические соединения. Однако увеличение содержания титана в металле шва приводит к повышению прочности и снижению пластичности. При легировании алюминием прочность и пластичность изменяются незначительно. Содержание титана и алюминия в металле шва свыше 0,2 и 0,6 % соответственно резко снижает ударную вязкость при низких температурах. Кроме того, применение ферротитана и алюминиевого порошка значительно повышает себестоимость порошковой проволоки.

В данной работе исследована возможность наплавки стали Гадфильда порошковыми проволоками, разработанными с использованием минерального сырья Дальневосточного региона. Отличительной особенностью данных проволок является применение в качестве нитридообразующего компонента циркониевого концентрата (бадделеита) Алгоминского месторождения. Целесообразность применения циркония обусловлена его влиянием на свойства наплавленного металла. Обладая высоким сродством к кислороду, цирконий образует оксид, который растворяется в жидком металле и способен связывать кислород. Установлено, что десульфурационное действие циркония подобно действию марганца, т. е. данный компонент эффективно рафинирует металл. Кроме того, цирконий образует нитридные соединения, связывая атмосферный азот и исключая азотную пористость. Он повышает механические свойства металла, так как препятствует росту зерна аустенита, что благоприятно влияет на ударную вязкость при низких температурах. Установлено, что при введении циркония в сварочные материалы снижается разбрызгивание металла. Бадделеит является шлакообразующей добавкой, что повышает защиту расплавленного металла от воздействия атмосферных газов. Понижение температуры плавления шлака достигается путем образования карбидно-силикатных эвтектик, образующихся одновременно с растворением углерода в шлаке. Недостаточность доли шлака и шлаковой защиты при этом компенсируется газовой защитой, так как избыток графита при горении создает восстановительную атмосферу монооксида углерода[1]. Это подтверждено исследованиями по газовой хроматографии.

Наличие восстановительной атмосферы дуги снижает концентрацию оксидов марганца в воздухе рабочей зоны, которая составляет всего 0,037 мг/м^3 при ПДК, равной 0,1 мг/м^3.

В табл. 1 приведены примеры состава шихты порошковых проволок, в табл. 2 — содержание компонентов в наплавленном металле и его характеристики, где

Таблица 1

Номер состава	Состав шихты порошковой проволоки, %		
	Ферромарганец	Графит	Циркониевый концентрат
1	54	27	19
2	44	8	48
3	83	3	14

Таблица 2

Номер состава	Содержание, %			Твердость, *HB*	Коэффициент трибометрической стойкости
	Марганец	Углерод	Цирконий		
1	10—15	0,85—0,9	0,15—0,175	220—250	1,4—1,5
2	9—10	0,75—0,85	0,125—0,15	150—200	1,0—1,1
3	15—20	0,9—0,95	0,1—0,125	250—300	1,1—1,3

Таблица 3

Номер точки	Фазовый состав, %				
	Fe	Zr	N	Si	Mn
1(нитрид)	35,29	60,85	3,86	—	—
2 (интерметаллид)	90,92	14,67	—	1,5	7,58
3 (аустенит)	89,37	—	—	1,01	9,62

[1] Свидетельство на полезную модель 60888 (РФ).

Таблица 4

Сварочный материал	Производительность, кг/ч	Ток, А	Напряжение, В	Вылет, мм	Положение шва	Потери металла при наплавке, %
ПП-Нп-90Г13Н4ЦС (разработанная порошковая проволока)	8,1	250—300	26—30	20—23	Нижнее	6—8
ПП-Нп-90Г13Н4 (прототип)	6—7	220—240	20—22	15—20	«	17—20
Электрод ЭА-395/9 (диаметр 4 мм)	1,2—1,5	110—150	22—26	—	Во всех положениях (кроме вертикального способом сверху вниз)	10—12

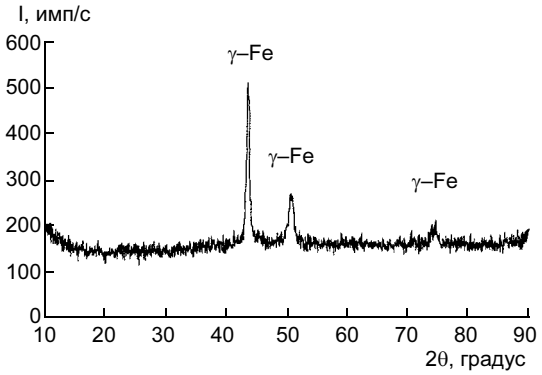


Рис. 1. Дифракционная картина рентгеноструктурного анализа

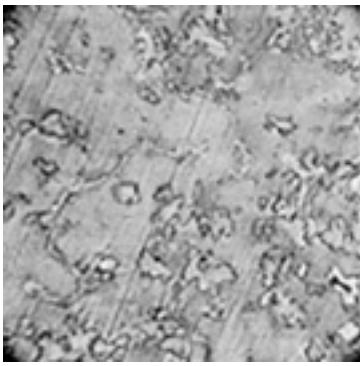


Рис. 2. Микроструктура наплавленного слоя. ×630

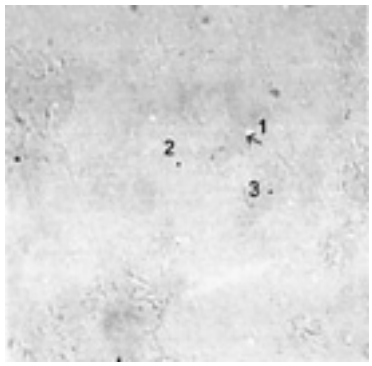


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла в отраженных электронах. ×800

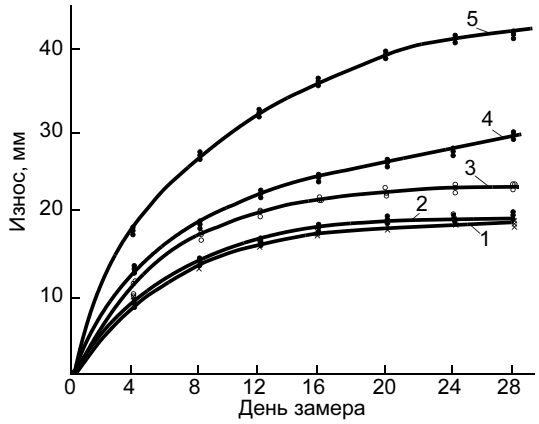


Рис. 4. Изменение износа поверхности зуба ковша экскаватора: *1—3* — износ металла, наплавленного разработанной проволокой, порошковой проволокой ПП-Нп-90Г13Н4 и электродами ЭА-395/9 соответственно; *4*, *5* — износ зуба ковша, изготовленного из сталей 110Г13Л и 70 соответственно

коэффициент трибометрической стойкости — отношение потерь массы эталона (сталь 110Г13Л) и наплавленного слоя — составляет 1,0—1,5.

Рентгеноструктурный анализ (рис. 1) и результаты исследований показали, что микроструктура наплавленного металла аустенитная (рис. 2), что обеспечивает фазовый наклеп в процессе эксплуатации. Микрорентгеноспектральный анализ (установка JEOL) установил наличие интерметаллидов и нитридов в микроструктуре наплавленного металла (рис. 3, табл. 3), что способствует упрочнению аустенита в процессе деформации.

Эксплуатационные исследования (рис. 4) показали, что износостойкость зуба ковша экскаватора, наплавленного разработанной проволокой ПП-Нп-90Г13Н4ЦС-Т-С-2,8, превышает износостойкость металла, наплавленного электродами ЭА-395/9, применяемыми для наплавки на Корфовском каменном карьере, в 1,2—1,3 раза и сопоставима с износостойкостью порошковой проволоки ПП-Нп-90Г13Н4.

Наличие пор и трещин оценивали на рентгеновском аппарате АРИНА-3. Проведенные исследования показали возможность замены металлических нитридообразующих компонентов минеральным сырьем, что снижает себестоимость проволок.

Сварочно-технологические характеристики разработанной порошковой проволоки определяли в соответствии с ГОСТ 26101—84 (табл. 4).

ВЫВОД

Применение разработанной порошковой проволоки эффективно при восстановлении высокомарганцовистых аустенитных сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черняк С. С., Ромен Б. М.* Высокомарганцевая сталь в драгостроении. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 1996. 384 с.

2. *Пацекин В. П., Рахимов К. З.* Производство порошковой проволоки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1979. 265 с.

УДК 621.791.75.039—229.61

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук
ИЭС им. Е. О. Патона

Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки

Повышение требований к точности размеров и формы сварного шва, широкое внедрение автоматизации, включение в состав систем управления и регулирования обусловливают необходимость учета динамических явлений в системах сварочного аппарата.

В дуговых аппаратах для сварки плавящимся электродом важную, и во многих случаях даже определяющую, роль играет система подачи электродной проволоки. Устойчивое движение проволоки в зону горения дуги предполагает отсутствие заклиниваний или скачкообразного, неравномерного перемещения. В данной работе исследован ряд динамических явлений в системе подачи проволоки при сварке.

Система подачи проволоки включает, как правило, электропривод, подающий механизм, направляющий канал и токоподводящий наконечник. Она достаточно хорошо изучена в аналитической форме [1, 2] и экспериментально [3, 4] с точки зрения определения усилия сопротивления подаче проволоки по гибкому направляющему каналу, мощности приводного электродвигателя [5, 6], рациональных конструкций токоподвода [7], подающего механизма [8, 9] и направляющих каналов [10].

Динамическим явлениям посвящены лишь работы [11, 12], которые в настоящее время требуют уточнения с позиций накопленного опыта. Важность учета динамических явлений обусловлена многочисленными наблюдениями отклонений от требуемого устойчивого движения проволоки в направляющем канале, в частности при больших длинах шлангового держателя и больших скоростях подачи [13]. Учет динамических явлений важен при организации нестационарных режимов работы дугового механизированного оборудования, связанных со скоростью или периодичностью движения проволоки, например, программируемые режимы возбуждения дуги и заварки кратера, с модуляцией параметров дугового процесса и сварки коротких швов (электрозаклепок). В этом же ряду реализация технологий сварки и наплавки с импульсной подачей проволоки. И, наконец, знание динамики процесса подачи проволоки позволяет сделать правильный выбор приводного электродвигателя, конфигурацию движителей и рационально построить систему подачи в целом.

На систему подачи влияют следующие факторы: силовые режимы дугового процесса, характеристики трения и др., вызывающие как отклонения от требуемого (установленного) режима сварки, так и нежелательные процессы в электроприводе и токопередачи в токоподводе. В системе подачи проволока, представляющая упругий элемент, взаимодействует с направляющим каналом, токоподводом, электроприводом, а через посредство токоподвода и со сварочной цепью.

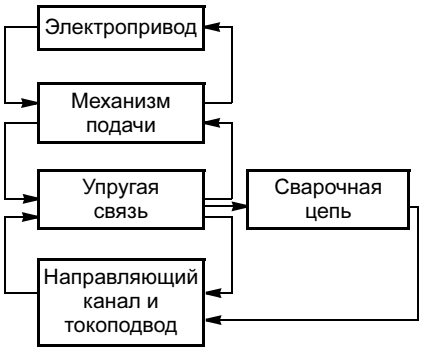


Рис. 1. Взаимодействия в системе подачи электродной проволоки

Суть взаимодействия состоит в периодическом прихватывании электрода с токоподводом с последующим отрывом или без него [13]. Здесь следует отметить, что предполагается прямое или опосредованное взаимодействие всех элементов системы подачи (рис. 1). Например, кроме воздействия на проволоку сварочной цепи через токоподвод, на нее влияет и режим дугового процесса, обусловливающий определенную (заданную) скорость подачи проволоки.

В работе [11] выполнен анализ ряда динамических явлений в системе подачи проволоки. Однако он не дает ответа на некоторые вопросы, касающиеся, в частности, режимов подачи с резонансами колебаний, взаимодействия вынужденных и автоколебаний скорости, вводимых, например, при импульсной подаче. Очевидно, что требуется другой подход к анализу динамических явлений, который позволит получить более полное описание процесса подачи. Исследование динамических явлений невозможно без результатов статического анализа системы подачи электродной проволоки. В данной работе воспользуемся результатами анализа, выполненного в работах [1, 2]. Согласно работе [11], запишем уравнение движения проволоки в удобном для исследования виде

$$m\frac{d\Delta v}{dt} = -F_{т} + c\int_{0}^{t}\Delta v dt - f_{y}\left(\int_{0}^{t}\Delta v dt + \Delta l_{н}\right), \qquad (1)$$

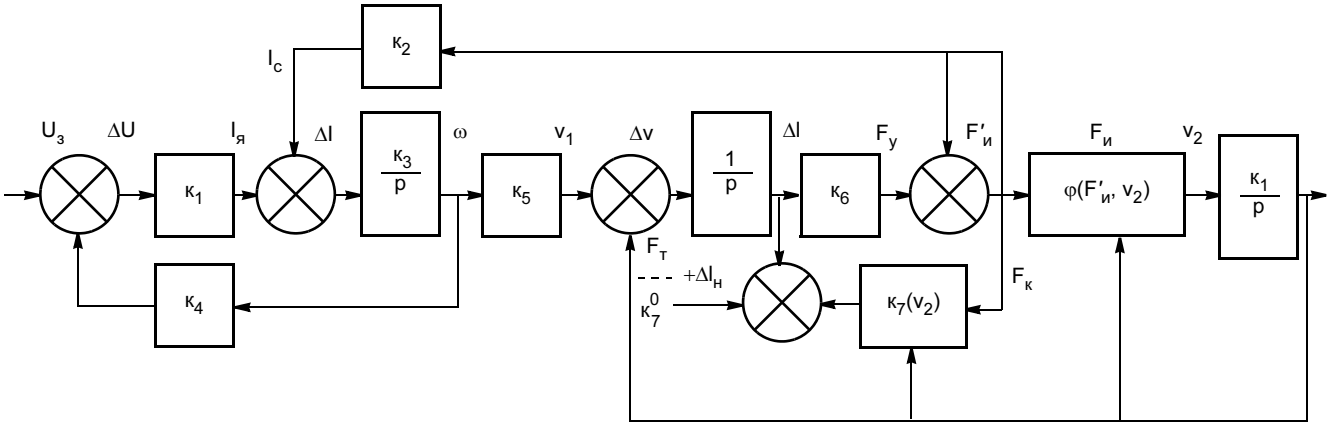


Рис. 2. Схема системы подачи электродной проволоки по длинному гибкому направляющему каналу

где m, c, $\Delta l_н$, f_y — масса, жесткость, превышение длины, усредненный коэффициент трения проволоки в канале; $F_т$, Δv — сопротивление и приращение скорости подачи проволоки.

На рис. 2 приведена структурная схема системы подачи проволоки в соответствии с уравнением (1). Все коэффициенты структурной схемы сведены в табл. 1, в которой приняты следующие обозначения: C — постоянная приводного электродвигателя; $r_я$ — сопротивление якоря; ω — частота вращения вала электродвигателя; $J_{пр}$ — приведенный момент инерции; $M_н$ — номинальный момент на валу электродвигателя; $I_н$ — номинальный ток якоря электродвигателя; J — момент инерции сечения проволоки; r — радиус образующего цилиндра винтовой линии; G — модуль сдвига; $J_р$ — полярный момент инерции сечения проволоки; R — начальная кривизна проволоки; m — масса проволоки длиной $L + \Delta l_н$; $U_з$ — напряжение задания частоты вращения вала приводного электродвигателя. При этом звенья с передаточными функциями k_1, k_2, k_3/p, k_4, k_5 описывают явления, происходящие в приводном электродвигателе, редукторе и механизме подачи, а звенья $1/p$, k_6, k_7 (v_2), $\varphi(F'_и, v_2)$ — явления в направляющем канале. Существенно, что звено k_7 (v_2) является нелинейным вследствие нелинейного характера сухого трения и зависимости его от скорости, выражающейся в отличии трения покоя от трения движения. Численные данные рассчитаны для стальной электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, подаваемой механизмом подачи полуавтомата А825 М по шланговому держателю длиной 2,5 м со стандартными параметрами направляющего канала. Зависимость k_7 (v_2) в соответствии с работой [14] приведена на рис. 3.

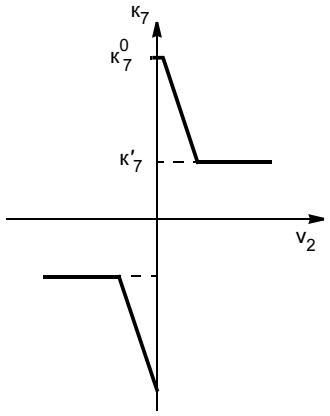


Рис. 3. Характеристика трения проволоки в канале (k_7^0, k_7' — коэффициент, соответствующий трению покоя и скоростному трению соответственно)

Как следует из структурной схемы, система является нелинейной динамической системой третьего порядка. Аналитическое исследование подобных систем представляет определенные трудности. Поэтому на первом этапе систему смоделировали на ЦВМ. Нелинейный элемент k_7 (v_2) представлен в соответствии с аппроксимацией рис. 3. Графики переходных процессов по результатам моделирования приведены на рис. 4: поз. *а* — переходный процесс в системе по рис. 2. Это автоколебательный

Таблица 1

Параметр	Формула	Величина	Размерность
k_1	$C/r_я$	0,26	А · с
k_2	v_1/ω	0,001	м
k_3	$1/J_{пр}$	250	
k_4	$C = M_н/I_н$	0,08	В · с
k_5	k_2	0,001	м
k_6	$c = EI/r^2L$	6500	Н/м
k_7	f, $2GJ_р/r^2L$	1000	Н/м
k_8	$1/m$	35	$кг^{-1}$
$\Delta l_н$	$\frac{LEI}{rGJ_р}\frac{r^2}{R^2}\left(\frac{GI_р}{EI}-1\right)$	0,0017	м
$F_т$	—	50	Н
$U_з$	—	24	В

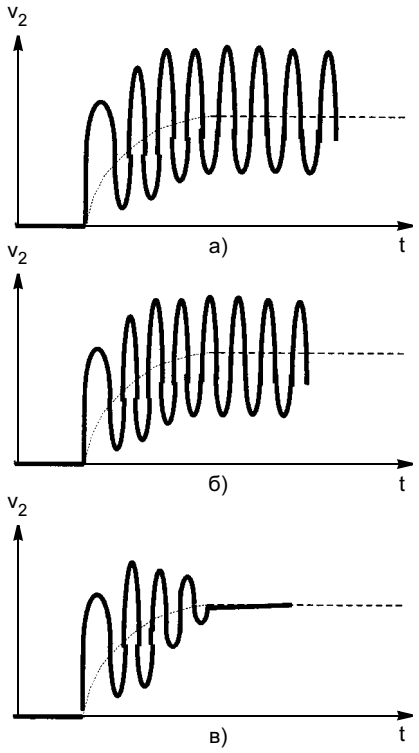


Рис. 4. Переходный процесс при подаче проволоки

процесс на фоне апериодической составляющей. На рис. 5 приведена часть системы по рис. 2, преобразованная для упрощения аналитического исследования. Правомерность такого представления следует из сравнения процессов на рис. 4, *а* и *б* для исходной и преобразованной систем. Автоколебания в системе можно подавить введением отрицательной обратной связи по скорости v_2. Переходный процесс в такой системе представлен на рис. 4, *в*. Исключим из рассмотрения процессы начала движения и нелинейное звено φ (F' и v_2). Окончательная структурная схема для исследования системы подачи проволоки по направляющему каналу будет иметь вид, приведенный на рис. 6. Аппроксимируем функцию $f(v_2)$ по рис. 3 в виде

$$f(v_2) = \begin{cases} k_7^0 \Delta I_н + F_т, \text{ при } 0 \le |v_2| < b; \\ k_7' \Delta I_н + F_т k_7' / k_7^0, \text{при } b \le |v_2|, \end{cases} \quad (2)$$

где b — скорость переключения (начало участка скоростного трения).

Считаем усредненный статический момент неизменным, т. е. $k_2 = 0$. Тогда можно отдельно записать передаточную функцию направляющего канала с проволокой по участкам линейности зависимости $f(v_2)$. При этом введем условие неотрицательности скорости движения $v_2 \geqslant 0$. Это условие основано на результатах моделирования на ЦВМ, приведенных на рис. 4. Искомая передаточная функция $W_к(p)$ подобна той, которая получена в работе [11] и имеет вид

$$W_к(p) = \begin{cases} \dfrac{(k_6 - k_7)k_8}{p^2 - k_8 k_9 p + (k_6 - k_7)k_8}, \\ \text{при } 0 \le |v_2| < b; \\ \dfrac{(k_6 - k_7)k_8}{p^2 + (k_6 - k_7)k_8}, \\ \text{при } v_2 > b. \end{cases} \quad (3)$$

Из соотношений (3) можно сделать вывод об устойчивости системы по виду коэффициентов при p. Система неустойчива при $0 \leqslant v_2 < b$ и находится на границе устойчивости при $v_2 > b$. Этот вывод позволяет качественно построить переходный и установившийся процессы в системе.

Физический смысл автоколебаний скорости подачи проволоки в направляющем канале можно выразить следующим образом. В области, близкой к силам трения покоя, характеристика трения имеет падающий характер (см. рис. 3). Это практически равносильно наличию положительной обратной связи. В системе возникают расходящиеся колебания. Когда проволока разгонится до скоростей, соответствующих горизонтальному участку характеристики трения, колебательный процесс не нарастает, но и не затухает в силу консервативности системы при $v_2 > b$.

В нелинейной системе имеют место автоколебания, что позволяет воспользоваться для ее аналитического исследования методом гармонической линеаризации [15]. В этом случае полученные результаты будут тем точнее, чем ближе периодический сигнал на входе нелинейного звена к гармоническому. Результаты моделирования системы на ЦВМ свидетельствуют о том, что колебания в системе можно точно аппроксимировать синусоидой (см. рис. 4, *а*, *б*). В соответствии с методикой работы [15] и рис. 7 рассчитаем коэффициенты гармонической линеаризации q и смещение центра колебаний F^0, предварительно обозначив $v_2^0 - b = B$.

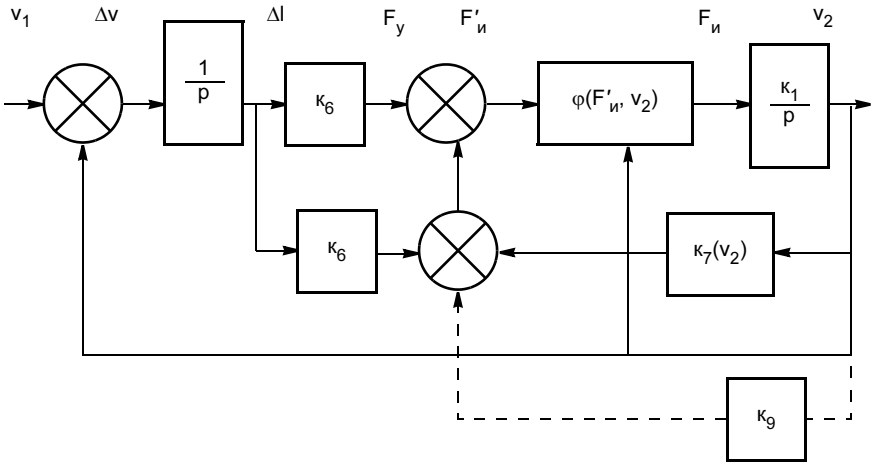


Рис. 5. Схема системы подачи проволоки после преобразования (штриховая линия — демпфирующая обратная связь, отрицательная по скорости)

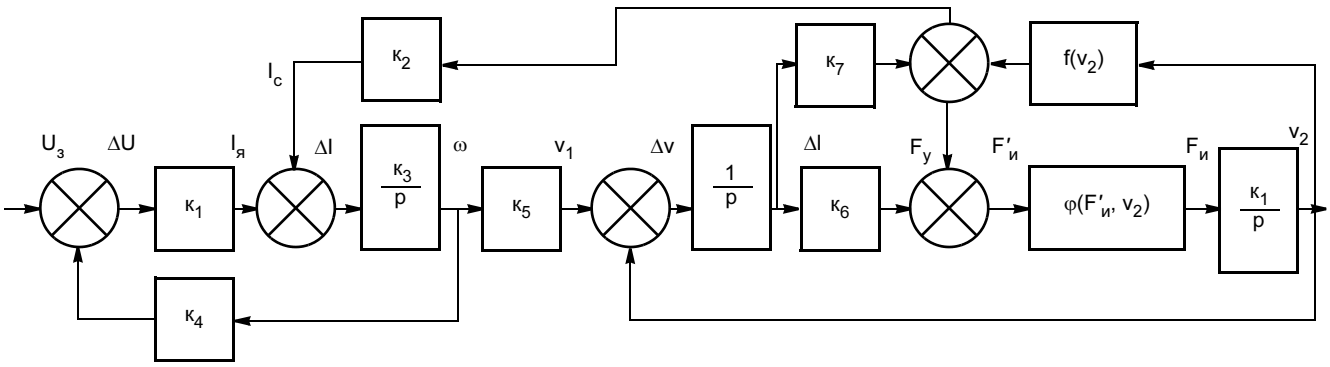


Рис. 6. Упрощенная схема системы подачи электродной проволоки

Тогда

$$F^0(A,\ v_2^0) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(x^0 + A\sin\psi)d\psi =$$

$$= F'_т + \frac{k_9}{\pi}(v_2^0 - b)\arcsin\frac{B}{A} -$$

$$- \frac{k_9(v_2^0 + b)}{2} + \frac{Ak_9}{2\pi}\left(2\frac{B^2}{A^2} - 1\right); \quad (4)$$

$$q(A,\ v_2^0) = \frac{1}{\pi A}\int_0^{2\pi} f(v_2^0 + A\sin\psi)d\psi =$$

$$= \left(2\frac{B^2}{A^2} - 1\right) \times$$

$$\times \frac{k_9 v_2^0 - F'_т - k_9 B\sqrt{1 - B^2/A^2}}{\pi A} -$$

$$- \frac{k_9}{\pi}\arcsin\frac{B}{A} - \frac{k_9}{2}, \quad (5)$$

где v_2^0 — установившееся значение постоянной составляющей скорости v_2; A — амплитуда колебаний; $\psi = \omega t$; $F'_т$ — сила трения покоя, равная $F_т + \Delta I k_7^0$.

Заменяя нелинейное звено $f(v_2)$ гармонически линеаризованным с коэффициентом q, получим передаточную функцию системы подачи в следующем виде:

$$W_к(p) = k(ap^3 + a(bq + c)p^2 +$$

$$+ (a^2 + abcq + dk_7)p +$$

$$+ dk_6 bq + ca^2), \quad (6)$$

где $a = k_8(k_6 - k_7) > 0$, $b = k_8 > 0$, $c = k_1 k_2 k_3 > 0$, $d = k_2 k_3 k_5 > 0$ и $k = k_1 k_3 k_5 (k_6 - k_7)^2 k_8^2 > 0$. Здесь $(k_6 - k_7) > 0$, что следует из физического условия начала движения проволоки из состояния покоя.

Подставляя в характеристическое уравнение $p = j\omega$ и приравнивая к нулю действительную и мнимую части, получим систему уравнений, из которых определим частоту ω.

Воспользовавшись табл. 1, определим $\omega = 458$ с$^{-1}$ [14], а период колебаний

$$T = 2\pi/\omega = 0{,}0137 \text{ с}.$$

Установившееся значение постоянной составляющей скорости определим по уравнению (6). Оно составляет 0,3 м/с и расчетным путем получим значение амплитуды $A = 0{,}223$ м/с.

Сравнивая параметры автоколебаний по результатам моделирования на ЦВМ ($A = 0{,}224$ м/с, $T = 0{,}014$ с) и полученные методом гармонической линеаризации, определим ошибку по амплитуде и частоте: $\Delta A = 0{,}45$ % и $\Delta\omega = 2{,}1$ % соответственно. Эти результаты подтверждают правомочность использования метода гармонической линеаризации. Поскольку амплитуда колебаний весьма близка к величине $v_2^0 - b = 0{,}22$ м/с, для ее определения с точностью до 1,5 % используем простое соотношение

$$A = v_2^0 - b. \quad (7)$$

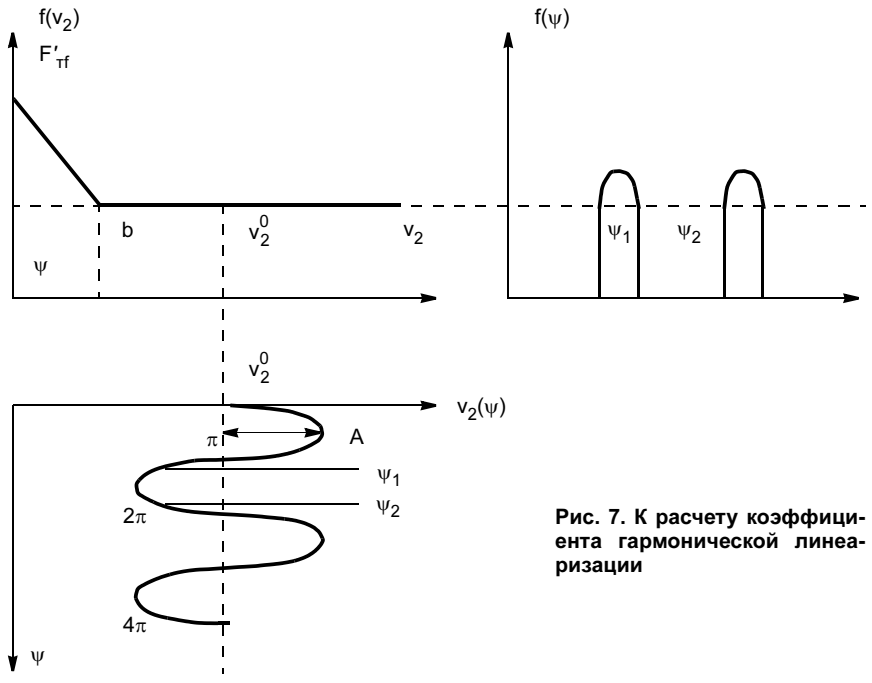


Рис. 7. К расчету коэффициента гармонической линеаризации

Исследуем устойчивость найденного колебательного процесса [15]:

$$\left(\frac{\partial X}{\partial A}\right)^*\left(\frac{\partial Y}{\partial \omega}\right)^* - \left(\frac{\partial X}{\partial \omega}\right)^*\left(\frac{\partial Y}{\partial A}\right)^* > 0, \quad (8)$$

где "звездочка" означает подстановку найденных значений A, ω.

Подставив в полученное выражение необходимые значения, получим

$$\partial q/\partial A \to -\infty < 0. \quad (9)$$

Таким образом, критерий (9) выполняется и автоколебания в системе устойчивы. Условие наличия скользящего режима для рассматриваемой системы подачи имеет вид

$$|v_2^0 - b| < A < v_2^0 + b. \quad (10)$$

Проверим это условие, учитывая, что

$$A = v_2^0 - b + \varepsilon, \quad (11)$$

где ε — малая величина, равная 1,5 %.

Очевидно, что левая половина выражения удовлетворяется. Для правой запишем

$$v_2^0 - b + \varepsilon < v_2^0 + b \quad (12)$$

и $\varepsilon < 2b$, что также удовлетворяется ввиду малости ε. В системе осуществляется скользящий режим [15].

Автоколебания в системе приводят к вибрационному сглаживанию нелинейной характеристики трения для медленных по отношению к автоколебаниям сигналов. При этом, согласно работе [14], характеристика коэффициентов трения, соответствующая рис. 3, *в*, сгладится. Поскольку в исследуемой системе выполняется условие $v_2 \geqslant 0$, сглаженную характеристику можно с определенной точностью аппроксимировать функцией $f(v_2) = \text{const}$. При этом систему рассматриваем как линейную по отношению к медленно меняющимся сигналам и переходный процесс строим с использованием методов теории линейных систем. На переходный процесс накладываются автоколебания с параметрами, которые определены выше. Имеется возможность устранить эти автоколебания введением обратной связи по скорости v_2 (см. рис. 5). При этом система подачи из консервативной превращается в колебательную. Устойчивость и качество системы определяются величиной коэффициента обратной связи k_9. Физически такая обратная связь может представлять специальный элемент подающего канала, например с жидкостным трением, которое может играть роль демпфера. Эти выводы подтверждают результаты моделирования на ЦВМ (см. рис. 4, *в*).

При дуговом процессе с импульсной подачей проволоки или с модуляцией важен вопрос о вынужденных колебаниях в системе. На систему подачи проволоки могут действовать колебания по каналу задания и в виде возмущений. В первом случае речь идет, как правило, об искусственно вводимых колебаниях скорости подачи (импульсная подача). Во втором — это вредные колебания силы сопротивления подаче, например в токоподводе, где они обусловлены мгновенными прихватками проволоки, происходящими в моменты коротких замыканий.

Для простоты рассуждений допустим, что нагрузка на электродвигатель механизма подачи неизменна, т. е. $I_c = (k_2 = 0)$. Тогда можно рассматривать направляющий канал независимо от электродвигателя механизма подачи. При этом передаточная функция канала

$$W_к(p) = a/(p^2 + bqp + a). \quad (13)$$

На входе в направляющий канал действует сигнал

$$v_1 = v_1^0 + B\sin\omega t, \quad (14)$$

где v_1^0 — постоянная составляющая; B, $\omega_в$ — амплитуда и частота гармонической составляющей входного сигнала.

Тогда, в соответствии с работой [15]

$$A_в/W_к(j\omega) = Be^{-j\varphi}, \quad (15)$$

где $A_в$ — амплитуда вынужденной гармонической составляющей на входе в направляющий канал; φ — сдвиг по фазе.

После подстановки и алгебраических преобразований получим

$$A_в = \frac{Ba}{\left[\sqrt{\omega_в^4 + (b^2q^2 - 2a)\omega_в^2 + a^2}\right]}. \quad (16)$$

Выражение (16) имеет явную форму благодаря тому, что q, согласно численному расчету, не зависит от A и хорошо аппроксимируется выражением $q = 4170v_2^0 - 3500$. Предположим, что существует резонансная частота $\omega_{вр}$, тогда из выражения (16) получим

$$\omega_{вр} = \sqrt{(-b^2q^2 + 2a)} \pm \pm bq\sqrt{b^2q^2 - 2a}/2. \quad (17)$$

Так как $\omega_{вр}$ должна быть действительной величиной, то $b^2q^2 - 2a > 0$, но тогда подкоренное выражение в формуле (16) является биквадратным уравнением с положительными коэффициентами и соответствующая $\omega_{вр}$ — комплексная величина. Налицо противоречие, которое свидетельствует о том, что действительной резонансной частоты не существует. Этот вывод противоречит результатам исследований, приведенным в работе [11], но подтверждается результатами экспериментальных работ по использованию импульсных механизмов подачи проволоки. Осциллографирование скорости подачи проволоки на входе и выходе из направляющего канала при импульсной подаче с целью вы-

явления эффекта резонанса не подтверждает его наличие. Очевидно, что получение резонансных частот в результате аналитического описания системы подачи проволоки связано с неадекватностью использованного метода исследования. Однако это не означает, что в других случаях данное исследование не может быть признано правильным. Результаты работы [11] по другим параметрам автоколебаний довольно близки к экспериментальным.

Отсутствие резонанса системы позволяет не принимать его во внимание при разработке механизмов импульсной подачи проволоки, а также выборе режимов дугового процесса и условий управления переносом электродного металла (частоты и амплитуды импульсов подачи).

Анализ результатов данного исследования показывает, что параметры автоколебаний на выходе канала практически не зависят от параметров вынужденных колебаний на входе в канал. Физически это означает, что колебания на входе не выводят систему за пределы зоны устойчивости автоколебаний на выходе. Это подтверждают представленные на рис. 8 осциллограммы скорости импульсной подачи проволоки на выходе из направляющего канала с явно выраженными автоколебаниями, накладываемыми на скорость движения проволоки, полученные при экспериментальной сварке в CO_2 тонкими проволоками.

Исследуем влияние колебаний силы сопротивления подаче. В качестве источника таких колебаний выберем токоподвод, а точнее процессы токопередачи в нем. Рассматривая точку приложения этой силы как вход, имеем передаточную функцию

$$W_т(p) = b/(p^2 + bqp + a). \quad (18)$$

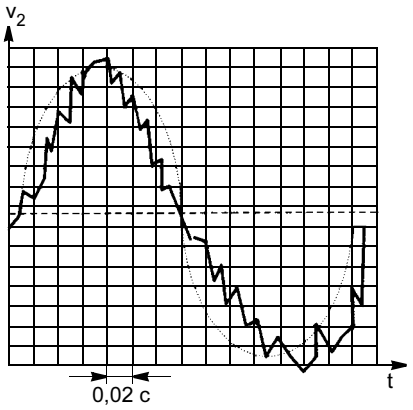


Рис. 8. Осциллограммы процесса импульсной подачи проволоки

Отсюда следует

$$A_в = B/[\sqrt{q^2 + (\omega_в^2 - a)^2/b\omega^2}]. \quad (19)$$

Зависимость имеет резонансный характер с резонансной частотой, определяемой в виде

$$\omega_{вр} = \sqrt{a} = \sqrt{k_8(k_6 - k_7)}. \quad (20)$$

Вычисления показывают, что для вышеуказанных условий подачи проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм $\omega_{вр}$ = 437 $с^{-1}$. Эта круговая частота соответствует обычной частоте 70 Гц. Очевидно, если режим сварки обеспечивает короткие замыкания с частотой, близкой $\omega_{вр}$, а короткие замыкания вызывают прихватки проволоки, то колебания скорости подачи в зоне дуги резко возрастают. Это явление нежелательно, так как неуправляемо. В работах [11, 13] экспериментально исследованы колебания скорости подачи проволоки в зоне горения дуги. Зависимость амплитуды колебаний от сварочного тока имеет ярко выраженный максимум при токе около 220 А для проволоки диаметром 1,2 мм. Оценим частоту коротких замыканий для этого режима. В работе [17] приведены данные о частоте коротких замыканий для проволок диаметром 0,8 и 2,0 мм: 90 и 12 $с^{-1}$ соответственно. Грубая аппроксимация для проволоки диаметром 1,2 мм дает частоту порядка 60—65 $с^{-1}$, что соответствует круговой частоте $\omega_в$ = 377÷408 $с^{-1}$. Полученная оценка близка к резонансной частоте: $\omega_в$ растет с увеличением сварочного тока [17]. Очевидно, что при определенном его значении частота автоколебаний достигнет резонансной. Из этого следует, что для обеспечения равномерной подачи проволоки в зону горения дуги необходимо избегать режимов с частотами коротких замыканий, близких к собственной резонансной частоте направляющего канала с проволокой $\omega_{вр}$; для данного (заданного) диапазона режимов выбирать шланговый держатель с параметрами, обеспечивающими движение проволоки с частотами $\omega_{вр}$ вне диапазона частот коротких замыканий; использовать импульсные механизмы подачи проволоки, исключающие появление неуправляемых резонансных явлений в системе подачи.

Остается не до конца решенным вопрос о прихватках проволоки в токоподводящем наконечнике. Для выяснения особенностей этого явления определяли связь между короткими замыканиями дугового промежутка и изменениями в характере движения проволоки. Исследования проводили со специально доработанным шланговым держателем. Параметры направляющего канала и режимов сварки в CO_2 выбирали с тем теоретическим расчетом, чтобы обеспечить возникновение резонансных автоколебаний. В непосредственной близости от токоподводящего наконечника (рис. 9) устанавливали устройство регистрации скорости подачи проволоки. Проволока *1*, перемещаясь по направляющему каналу *2* шлангового держателя *3*, приводит в движение ролик *4* малоинерционного тахогенератора *5*. Проволока поджата к измерительному ролику прижимным роликом *6*. Далее проволока через токоподводящий наконеч-

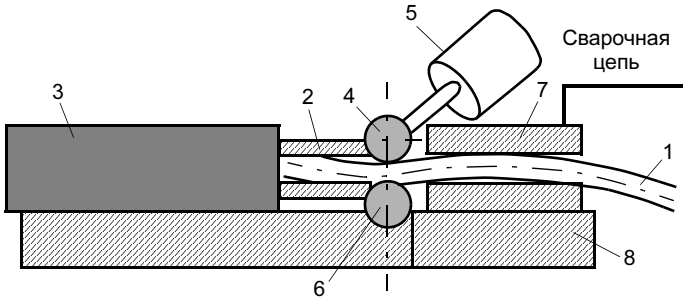


Рис. 9. Схема измерения скорости подачи проволоки вблизи токоподвода

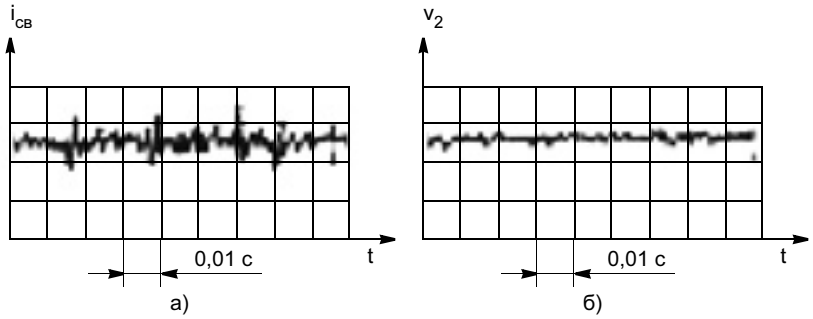


Рис. 10. Характерные осциллограммы тока сварки (*а*) и скорости подачи электродной проволоки (*б*)

ник *7* попадает в зону горения дуги. Вся конструкция закреплена на платформе *8*. Определяли разницу между амплитудами автоколебаний при наличии коротких замыканий дугового промежутка с частотами, близкими к резонансным, при сварке без коротких замыканий с синхронным осциллографированием тока дугового процесса и скорости подачи. На осциллограммах (рис. 10) для сравнения приведены характерные режимы сварки проволокой Св-08Г2С в CO_2 с короткими замыканиями (поз. *а*) и без них (поз. *б*). Очевидно существенное увеличение амплитуды колебаний при сварке с короткими замыканиями. Можно заключить, что действительно при сварке с короткими замыканиями возникает режим токопередачи с прихватками проволоки в токоподводящем наконечнике, что является следствием электроэрозии [18]. Эрозионный процесс сопровождается процессом плавления и переноса основного металла и материала токоподводящего наконечника. В процессе движения проволока подвергается механическому и электроэрозионному износу. Для оценки процесса эрозионного износа материала токоподводящего наконечника проводили точное взвешивание токоподводящих наконечников с одинаковой степенью износа в режимах без сварки и со сваркой на определенных режимах с известными частотами коротких замыканий. Электроэрозионный износ оценивали как разницу между общим и механическим износом. В работе [19] представлены некоторые данные по износу токоподводящих наконечников в режимах, соответствующих выбранным, но оцениваемых другими способами. Характерные для данной работы результаты, а также обработанные данные работы [19] приведены в табл. 2.

Согласно работе [20], количество металла Q, удаленного за время действия импульса тока, в качестве которого принимали короткое замыкание, определяется следующим образом:

$$Q = kI_{кз}U_{кз}, \qquad (21)$$

где k — коэффициент, определяющий теплофизические константы материала токоподводящего материала — меди; $I_{кз}$, $U_{кз}$ — ток и напряжение короткого замыкания.

Коэффициент k с допустимыми для оценочных расчетов упрощениями можно представить в виде

$$k = C\rho\lambda T^2, \qquad (22)$$

где для материала, подвергающегося электроэрозии, C — теплоемкость, ρ — плотность, λ — теплопроводность, T^2 — температура плавления.

Дополнительное сравнение данных по электроэрозионному износу токоподвода, полученных экспериментально и рассчитанных по формуле (21), подтверждает вывод о влиянии тока короткого замыкания на характер движения проволоки. Оценочный теоретический износ

$$Q_т = Qf_{кз}t, \qquad (23)$$

где $f_{кз}$ — частота коротких замыканий; t — время, за которое определяется износ токоподвода.

Таблица 2

Режим сварки	Период наработки $T_{р\,50}$, отн. ед.	Износ токоподводов 10^{-3}, кг/ч		
		Эксперимент	[18]	Расчет
С короткими замыканиями	0,1	0,0030	0,0021	0,0035
	0,5	0,0045	0,0043	0,0060
	0,9	0,0071	0,0063	0,0085
Без коротких замыканий	0,1	0,0015	0,0011	—
	0,5	0,0020	0,0023	—
	0,9	0,0028	0,0031	—

Расчетные данные износа токоподвода при условиях, соответствующих экспериментальным, также приведены в табл. 2. Несколько завышенные данные дают теоретические расчеты по выражению (23), так как при их использовании не учитываются некоторые реальные результаты электроэрозии: неполное удаление продуктов процесса, частичная электроэрозия самой проволоки и др. Приведенные теоретические данные, подсчитанные, в том числе и через параметры короткого замыкания (ток, напряжение и частоту), достаточно близки к экспериментальным (30—40 %), что позволяет утверждать, что именно короткие замыкания вызывают электроэрозионные явления с прихватками проволоки и, как следствие, изменениями в характере движения проволоки.

ВЫВОДЫ

1. Система подачи проволоки является нелинейной в силу нелинейного характера сухого трения и вследствие этого подвержена автоколебаниям. В системе имеет место скользящий режим.

2. Подавить автоколебания в системе подачи проволоки можно за счет демпфирования, вводя, например, элемент с характеристикой типа жидкостного трения. Частично этого результата можно достичь, применяя токоподводящие наконечники с автоматической компенсацией износа их внутренней токопередающей поверхности.

3. Параметры автоколебаний на выходе направляющего канала практически не зависят от параметров вынужденных колебаний на входе. Явление резонанса не обнаружено.

4. Для обеспечения равномерной подачи проволоки в зону дуги необходимо избегать режимов сварки с частотами коротких замыканий, близких к собственной частоте подающего канала, или выбирать параметры канала, автоколебания в которых отличны от частот коротких замыканий. В противном случае из-за резонанса амплитуда колебаний скорости подачи нарастает.

5. Короткие замыкания, являющиеся следствием процесса сварки, вызывают электроэрозионные явления, обусловливающие прихватки проволоки к стенкам канала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедев В. А., Светников Б. Г.* Учет влияния изгибов направляющего канала и мундштука токоподвода на сопротивление движению электродной проволоки (Элементы статического анализа // Автоматическая сварка. 1984. № 9. С. 35—37.

2. *Лебедев В. А., Светников Б. Г.* Влияние начальной кривизны электродной проволоки на ее сопротивление в канале // Автоматическая сварка. 1986. № 2. С. 35—38.

3. *Реальные* возможности безредукторных механизмов импульсной подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев, С. П. Ковешников, Б. Г. Светников и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. 1989. Вып. 4. С. 46—50.

4. *Роликовые* устройства для подачи проволоки в аппаратах дуговой и шлаковой сварки / М. Г. Бельфор, В. П. Ливинский, В. Е. Патон и др. // Автоматическая сварка. 1971. № 12. С. 29—35.

5. *Звороно Я. П.* Определение мощности двигателя для сварочного полуавтомата // Электротехническая промышленность. Сер.: Электросварка. 1976. Вып. I. С. 15—17.

6. *Лебедев В. А.* Определение силовых параметров приводных электродвигателей в системах с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1997. № 10. С. 50—55.

7. *Зильберман Б. М.* Конструктивные особенности токоподводов сварочных аппаратов (обзор) // Автоматическая сварка. 1976. № 6. С. 56—60.

8. *Лебедев В. А., Никитенко В. П.* Перспективные направления в конструировании механизмов подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1983. № 7. С. 61—69.

9. *Исследование* систем подачи электродной проволоки по гибким направляющим каналам / А. И. Чвертко, В. Е. Патон, М. Г. Бельфор и др. // Автоматическая сварка. 1969. № 2. С. 45—50.

10. *Направления* разработок механизмов подачи электродной проволоки в современных аппаратах для дуговой сварки / А. И. Чвертко, М. Г. Бельфор, В. Е. Патон, В. П. Ливинский // Автоматическая сварка. 1975. № 10. С. 56—60.

11. *Лебедев В. А., Светников Б. Г.* Изучение причин колебаний скорости подачи электродной проволоки (Элементы анализа динамики) // Автоматическая сварка. 1988. № 7. С. 38—43.

12. *Лебедев В. А.* Переходные процессы при подаче электродной проволоки по гибкому направляющему каналу // Сварочное производство. 2000. № 6. С. 24—28.

13. *Araya T., Udagawa T.* Study on wire feed rate of semiautomatic arc welders // Hitachi hyron. 1975. № 11. P. 65—70.

14. *Крагельский И. В.* Трение и износ. М.: Машгиз, 1962. 383 с.

15. *Попов Е. П., Пальтов И. П.* Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М.: Энергия, 1960. 637 с.

16. *Старикова М. В.* Исследование скользящего режима в автоколебательной системе // Известия АН СССР. 1958. № 12. С. 53—58.

17. *Потапьевский А. Г., Лаврищев В. Я.* Разбрызгивание при сварке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С // Автоматическая сварка. 1972. № 7. С. 39—42.

18. *Намитоков К. К.* Электроэрозионные явления. М.: Энергия, 1978. 456 с.

19. *Чубуков А. А.* Влияние износа токоподводящего наконечника на технологические параметры процесса сварки // Сварочное производство. 1980. № 1. С. 26—28.

20. *Витлин В. Б., Давыдов А. С.* Электрофизические методы обработки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1979. 157 с.

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".*

УДК 621.791.75.037:621.311.6

А. Ф. КНЯЗЬКОВ, канд. техн. наук, С. А. КНЯЗЬКОВ, инж.,
К. И. ДЕМЕНЦЕВ, аспирант
Томский политехнический университет

Инверторный источник питания для сварки модулированным током

Современный уровень инверторных источников питания (ИИП) для сварки во многом зависит от наличия и совершенствования имеющейся полупроводниковой элементной базы, новых требований, предъявляемых к источникам питания, а также развития способов сварки с возможностью модуляции параметров режима [1—6].

Анализ современных ИИП для сварки показывает, что большинство фирм-производителей, стремясь максимально снизить массогабаритные показатели, создают ИИП, ключевые элементы которых работают в предельном состоянии, что при продолжительной работе приводит к потере их работоспособности. Следует также отметить, что наиболее эффективный и высокопроизводительный способ сварки модулированным током (СМТ) реализован только лишь в некоторых ИИП сварочной дуги и, как правило, при помощи дополнительного устройства, представляющего импульсно-регулируемое сопротивление сварочной цепи [7, 8]. Оно может быть выполнено в виде приставки-модулятора или быть непосредственно встроенным в сварочную цепь (при этом источник питания выполнен в виде моноблочного исполнения).

Известные технические средства реализации СМТ реализуют концепцию "машина — технология" и относятся к устройствам модуляции первого поколения, недостатки которых сдерживают их применение в производстве сварных конструкций [9].

Согласно проведенному анализу схемных решений современных ИИП для сварки, а также алгоритмов управления как силовой частью ИИП, так и технологическим процессом СМТ, в качестве схемного решения силовой части при разработке и проекти-

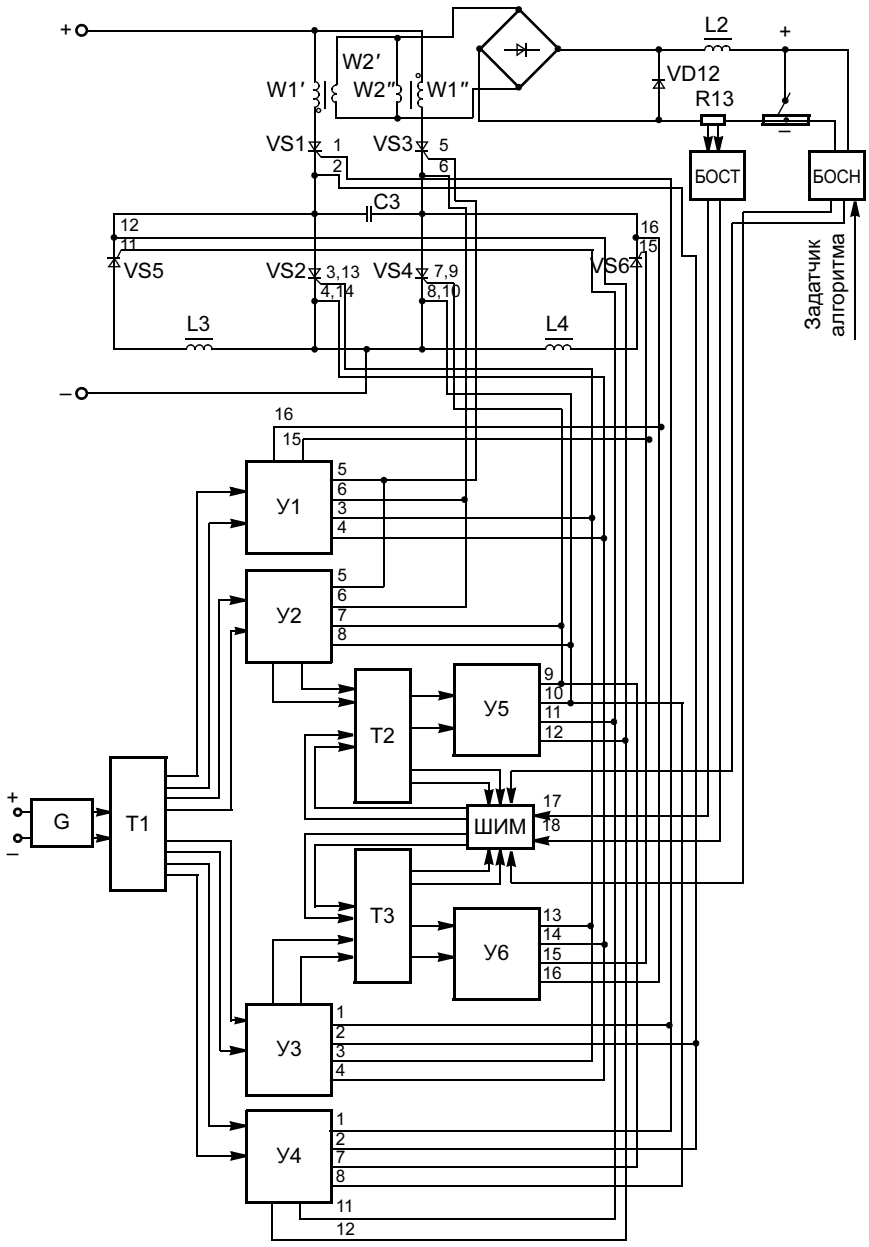


Рис. 1. Совмещенная принципиальная электрическая схема силовой части инверторного источника питания сварочной дуги с его функциональной схемой управления

ровании ИИП рационально использовать мостовую схему[1] силовой части тиристорного ИИП. Однако данная схема наряду с преимуществами имеет существенный недостаток: вследствие резонансного перезаряда коммутирующего конденсатора напряжение на нем может достичь величины, превышающей номинальное значение напряжения элементов схемы, что в свою очередь может привести к потере работоспособности ИИП.

На рис. 1 приведена совмещенная принципиальная электрическая схема силовой части ИИП с функциональной схемой управления. Разработанная схема[2] силовой части ИИП базируется на ранее предложенной мостовой схеме[1] тиристорного ИИП. Отличительной особенностью данной схемы является наличие цепей, ограничивающих рост напряжения на ее элементах.

Рациональное схемное решение силовой части инвертора, его схемы управления, а также обратных связей по току и напряжению позволяет реализовать следующие процессы сварки:

— ручную дуговую сварку модулированным током покрытыми электродами;

— ручную дуговую сварку стационарной дугой;

— ручную дуговую сварку неплавящимся электродом в аргоне;

— автоматическую сварку неплавящимся электродом в аргоне;

— ручную дуговую сварку неплавящимся электродом в аргоне модулированным током;

— автоматическую сварку неплавящимся электродом в аргоне модулированным током.

Работа силовой части осуществляется на частоте преобразования свыше 20 кГц, что находится за пределами человеческого

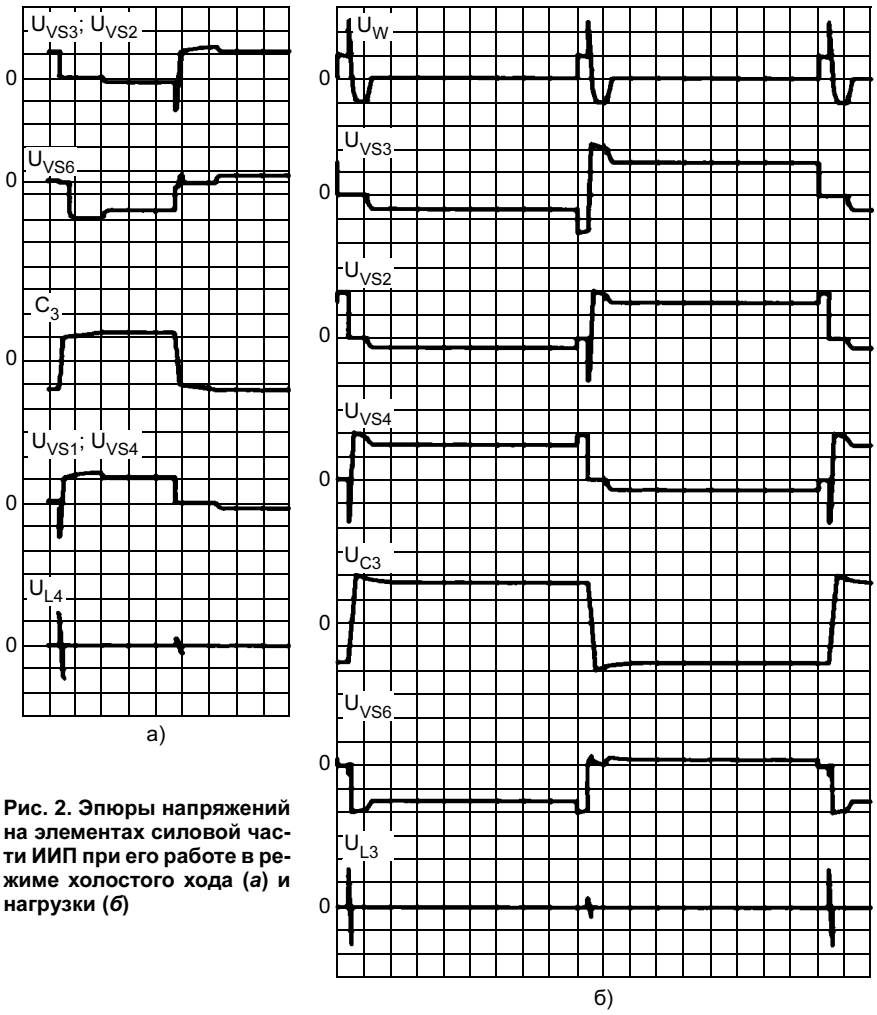


Рис. 2. Эпюры напряжений на элементах силовой части ИИП при его работе в режиме холостого хода (*а*) и нагрузки (*б*)

слуха (в ультразвуковом диапазоне).

Схема управления силовой частью инвертора состоит из унифицированных узлов и имеет простое схемное решение.

Эпюры напряжений на элементах силовой части ИИП при его работе в режимах холостого хода и нагрузки приведены на рис. 2.

Разработанный инверторный источник питания работает следующим образом.

В режиме холостого хода управляющие импульсы, создаваемые релаксационным генератором *G* (см. рис. 1), через тиристорный Т-триггер *T1*, выполняющий роль делителя частоты на два, подаются на входы усилителей *У1* и *У4*. Тиристорный Т-триггер *T1* представляет сдвоенный Т-триггер с общим синхронизирующим конденсатором. Усилители *У1* и *У4* имеют по три выхода. С каждого выхода усилителей управляющие импульсы поступают на управляющие переходы тиристоров силовой части инвертора.

Допустим, в первый полупериод работает усилитель *У1*, тогда управляющие импульсы одновременно поступают на управляющие переходы тиристоров *VS3*, *VS2*, *VS6*, в результате чего они отпираются. При этом в силовой части инвертора ток начинает протекать по цепи: (+) источник питания ИП (на рис. 1 не показан) — первичная полуобмотка *W1"* трансформатора *T* — тиристор *VS3* — конденсатор *C3* — тиристор *VS2* — (–) ИП (на рис. 1 не показан).

Во второй полупериод работа силовой части ИИП аналогична работе в первом полупериоде,

[1] Патент 2140344 (РФ).

[2] Патент 2306213 (РФ).

однако в данном случае управляющие импульсы поступают на управляющие переходы тиристоров *VS1*, *VS4*, *VS5*. За несколько циклов коммутирующий конденсатор *C3* заряжается до напряжения, необходимого для нормальной работы инвертора, и с минимальной частотой работает в режиме холостого хода[2]. При переключении каждой цепи в режиме холостого хода ограничение раскачки напряжения на конденсаторе *C3* и других элементах схемы происходит путем сброса предварительного заряда конденсатора *C3* через ограничивающие рост напряжения цепи (последовательно включенные тиристор и дроссель *L3*, *VS5* и *L4*, *VS6*).

В режиме нагрузки при широтно-импульсном управлении управляющие импульсы, создаваемые релаксационным генератором *G*, через тиристорный Т-триггер *T1* подаются на входы усилителей *У2* и *У3*. Последние так же, как и усилители *У1* и *У4*, имеют по три выхода, причем с двух выходов усилителей *У2* и *У3* управляющие импульсы поступают на управляющие переходы тиристоров силовой части инвертора, а с третьего выхода — управляющие импульсы поочередно поступают на входы Т-триггеров *T2* и *T3*, имеющие по два выхода. Один выход соединен со входом усилителей *У5* или *У6*, а второй – со входом широтно-импульсного модулятора (*ШИМ*), который в свою очередь имеет четыре входа и два выхода. Один вход *ШИМ* соединен с выходом блока обратной связи по току *БОСТ*, второй — с выходом блока обратной связи по напряжению *БОСН*, а два других — с выходами триггеров *T2* и *T3*. Выходы *ШИМ* соединены со вторыми входами триггеров *T2* и *T3*.

Допустим, в первый полупериод работы инвертора работает усилитель *У2*. Тогда управляющие импульсы, создаваемые релаксационным генератором *G*, поступают через триггер *T1* и усилитель *У2* на управляющие переходы тиристоров *VS3* и *VS4*, которые отпираются. При этом в силовой части инвертора ток начинает протекать по цепи: (+) ИП — *W1"* — *VS3* — *VS4* — (–) ИП. Со вторичной полуобмотки *W2"* выходного понижающего трансформатора *T* ток поступает в нагрузку. Одновременно с моментом отпирания тиристоров *VS3* и *VS4* с третьего выхода усилителя *У2* управляющий импульс через Т-триггер *T2* поступает на вход ШИМ, который отсчитывает время протекания тока в нагрузке. Длительность протекания тока определяется схемой управления, причем при максимальной длительности протекания тока сердечник выходного понижающего трансформатора не входит в насыщение[2].

Для прекращения протекания тока в нагрузке управляющими импульсами, которые подаются с усилителя *У5*, отпираются тиристоры *VS2* и *VS6*. Момент включения усилителя *У5* также определяется схемой управления. После отпирания тиристоров *VS2* и *VS6* конденсатор *C3*, который был предварительно заряжен с плюсом на левой обкладке, начинает частично перезаряжаться по цепи: (+) ИП — *W1"* — *VS3* — *C3* — *VS2* — (–) ИП; а тиристор *VS4* восстанавливает свою запирающую способность, поскольку к нему приложено обратное напряжение по цепи — левая обкладка коммутирующего конденсатора *C3* — *VS2* — *VS4*. При этом напряжение на коммутирующем конденсаторе *C3* за счет частичного перезаряда по цепи *C3* — *VS2* — *L4* — *VS6* — *C3* понижается до необходимого для нормальной работы инвертора. В результате такого перезаряда напряжение на коммутирующем конденсаторе *C3* сменит свою полярность (плюс будет находиться на правой обкладке коммутирующего конденсатора *C3*). По окончании перезаряда конденсатора *C3* тиристоры *VS3* и *VS2* выключаются. Тиристор *VS6* выключается в тот момент, когда ток перезаряда конденсатора *C3* через дроссель *L4* станет равным нулю.

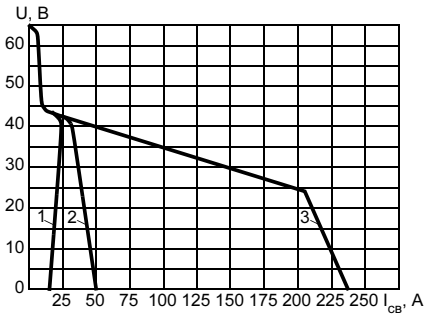


Рис. 3. Вольтамперные характеристики

Второй полупериод работы инвертора аналогичен первому. Однако в данном случае для протекания тока в нагрузке отпираются тиристоры *VS1* и *VS2*, а для его прекращения — тиристоры *VS4* и *VS5*.

На рис. 3 приведены внешние ВАХ разработанного ИИП.

БОСТ формирует крутопадающую внешнюю ВАХ. В *БОСТ* введены заданные значения основных и дополнительных импульсов, амплитудные значения которых в зависимости от условий сварки выбираются в области значений, ограниченной характеристиками 2, 3 (см. рис. 3). Величина тока дежурной дуги устанавливается в пределах 5—30 А за счет смещения положения характеристики 1.

В *БОСН* задаются алгоритмы управления технологическим процессом СМТ, которые реализуются при помощи его схемы управления. Управление технологическим процессом за счет модуляции сварочного тока осуществляется переключением с характеристики *1* (см. рис. 3) (тока дежурной дуги) на характеристику, определяющую амплитуду основных и дополнительных импульсов (расположенную в области между характеристиками *2* и *3*) (см. рис. 3) в соответствии с

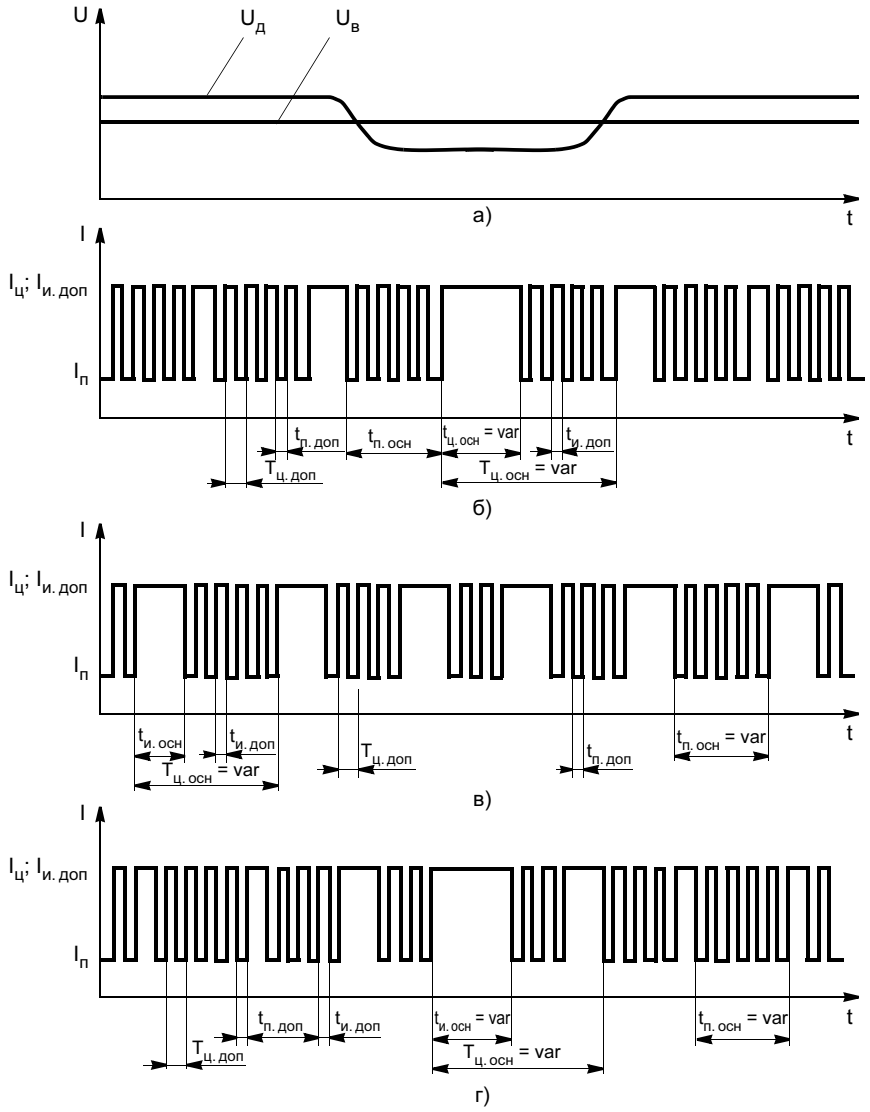


Рис. 4. Алгоритмы управления технологическим процессом СМТ: $I_и$, $I_п$, $I_{и.доп}$ — амплитудное значение тока основных импульсов, паузы и дополнительных импульсов, налагаемых на ток паузы с частотой не менее 50 Гц соответственно; $t_{и.осн}$, $t_{п.осн}$, $t_{и.доп}$, $t_{п.доп}$ — длительность основных импульсов сварочного тока, основной паузы, дополнительных импульсов сварочного тока, налагаемых на ток паузы и паузы в промежутке между дополнительными импульсами соответственно; $T_{ц.осн}$, $T_{ц.доп}$ — период следования основных и дополнительных импульсов сварочного тока соответственно

одним из алгоритмов, приведенных на рис. 4.

Суть данных алгоритмов (способов сварки) заключается в том, что длительность импульсов и пауз в протекании сварочного тока осуществляются независимо и раздельно. На интервале паузы на небольшой сварочный ток налагают дополнительные импульсы с амплитудой, равной амплитуде основных импульсов, с частотой не менее 50 Гц и длительностью в пределах 0,5—2,0 мс. Управление[3] тепловой мощностью дуги осуществляется автоматически — по желанию сварщика.

Характерные особенности алгоритмов управления[3] технологическим процессом СМТ:

— возможность автоматического регулирования длительности основных импульсов сварочного тока в обратно пропорциональной зависимости отклонения среднего напряжения дугового промежутка от заданного на интервале основного импульса (рис. 4, *б*);

— возможность автоматического регулирования длительности основных пауз сварочного тока в прямо пропорциональной зависимости отклонения среднего напряжения дугового промежутка от заданного на интервале основной паузы (рис. 4, *в*);

— возможность одновременно автоматически регулировать длительность основных импульсов в обратно пропорциональной зависимости отклонения среднего напряжения дугового промежутка от заданного на интервале основного импульса и длительность основных пауз в прямой пропорциональной зависимости отклонения среднего напряжения дугового промежутка от заданного на интервале основной паузы (см. рис. 4, *г*).

Применение данных алгоритмов управления технологическим процессом СМТ обеспечивает:

— уменьшение разницы в интенсивности светового излучения дуги во время импульса и паузы, а также высокую устойчивость горения дуги за счет наложения на ток паузы дополнительных импульсов тока с частотой не менее 50 ГЦ и амплитудным значением, равным амплитудному значению основных импульсов[3];

— возможность управления тепловой мощностью дуги по желанию сварщика в пределах незначительного изменения длины дугового промежутка[3];

— отсутствие необходимости в дополнительных мероприятиях по активизации разрушения перемычек во время коротких замыканий дугового промежутка при протекании тока паузы [10];

— проявление лучших сварочно-технологических свойств покрытых электродов при применении номинальных значений токов для каждого диаметра электрода, его конкретной марки, а также коэффициента массы покрытия [10].

[3] Патент 2268809 (РФ).

Проведенные испытания разработанного ИИП показали его высокую надежность в работе.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный опытный образец тиристорного инверторного источника питания (ИИП) за счет рационального схемного решения его принципиальной электрической схемы в целом обеспечивает следующие алгоритмы управления силовой частью ИИП:

— режим холостого хода;

— режим с частотно-импульсным управлением;

— режим с широтно-импульсным управлением;

— режим с комбинированным импульсным управлением.

2. При реализации всех алгоритмов управления силовой частью разработанного ИИП он позволяет активно (со стороны сварщика) за счет двойной модуляции сварочного тока управлять технологическим процессом сварки модулированным током.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пентегов И. В., Мещеряк С. К., Кучеренко В. А.* Источники питания для дуговой сварки с использованием инверторов // Автоматическая сварка. 1982. № 7. С. 29—35.

2. *Лебедев В. К.* Тенденции развития источников питания для дуговой сварки // Автоматическая сварка. 1995. № 5. С. 3—6.

3. *Коротынский А. Е.* Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (обзор) // Автоматическая сварка. 2002. № 7. С. 50—63.

4. *Миронов С. В.* Инверторные источники питания для дуговой сварки // Сварочное производство. 2003. № 4. С. 41—43.

5. *Гецкин О. Б., Яров М. В.* Опыт создания высокоэффективного сварочного оборудования в НПП "Технотрон" // Сварочное производство. 2000. № 5. С. 28—32.

6. *Фетисов Г. П., Синельников Н. Г.* Статические высокочастотные преобразователи энергии для дуговой сварки // Автоматическая сварка. 1982. № 7. С. 59—63.

7. *Dzelnitzki D.* Modulare Mehrprozess — Stromquellen ermöglichen verschiedene schweissverfahren // Maschinenmarkt. 1997. № 51. S. 24—27.

8. *LINCOLN* Electric: INVERTEC STT II: Руководство по эксплуатации IM — 582-1997.

9. *Князьков А. Ф., Князьков С. А., Князьков В. Л.* Ручная дуговая сварка модулированным током электродами с покрытием // Экологические проблемы и техногенная безопасность строительства, эксплуатации и реконструкции нефтегазопроводов, новые технологии и материалы. 2005.

10. *Князьков А. Ф., Князьков В. Л., Князьков С. А.* Оптимизация сварочно-технологических свойств электродов с покрытием // Сварщик-профессионал. 2005. № 6. С. 10—12.

УДК 621.791.763.1

Г. А. МЕНЬШИКОВ, д-р техн. наук, В. Г. АНТОНОВ, аспирант ("МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского),
О. Н. СЕВРЮКОВ, канд. техн. наук, В. Т. ФЕДОТОВ, канд. техн. наук (МИФИ — АМЕТО)

Применение припоев для контроля качества соединений из титановых сплавов, выполненных точечной контактной сваркой

Титановые сплавы благодаря комплексу ценных свойств (сочетанию высоких удельных и антикоррозионных характеристик) широко используют при изготовлении изделий ответственного назначения.

Работоспособность точечных соединений определяется главным образом размерами площади взаимного расплавления, свободной от поверхностных пленок, т. е. в общем случае величиной ядра точки [1]. Однако диаметр ядра точки может изменяться из-за произвольного отклонения параметров режима сварки или других технологических факторов. Возникает непровар — наиболее опасный дефект, характеризующийся недостаточным и даже полным отсутствием ядра точки.

Выявить размер ядра точки, т. е. оценить качество соединения, у титановых сплавов типа ОТ4-1 без применения материала-свидетеля (МС) невозможно [2]. Проблемам неразрушающего контроля (НК) качества и повышения прочности соединений сплавов на основе титана уделялось достаточно внимания [3—7]. Одним из известных направлений повышения прочности точечных соединений является применением сварнопаяных конструкций [4]. Проблема НК для точечной контактной сварки (ТКС) была решена искусственным созданием на границе ядра точки зоны химической неоднородности, выявляемой рентгенографией [1, 2]. В качестве рентгеноконтрастного МС для титановых сплавов применяли частицы циркония и сплава ЦН25Т3. При ограниченном максимальном размере частиц МС (70—400 мкм) достигали полного растворения в контактном соединении сплавов титана. Частицы циркония и сплава ЦН25Т3 изменяли характер соединения в пластическом пояске,

который в общем случае определяется подплавлением, механическим сцеплением. Вблизи литого ядра наблюдалось контактное оплавление индикатора, по которому определяли диаметр ядра и качество соединения.

В последнее время централизованное производство данных материалов было свернуто, а возобновлять его вновь для единичных заказов нецелесообразно. Поэтому одно из рациональных решений по проблеме контроля качества с применением МС может быть найдено на базе серийных припоев, частично доработанных по составу и толщине. При этом одновременно могут быть решены две задачи — контроля и повышения прочности соединения.

Применение оптимизированного по составу припоя в качестве МС-ленты позволит выявить непровар при ТКС и повысить прочность соединения за счет образования паяного ободка на периферии точки, а также уменьшить толщину МС-ленты за счет выборки наиболее рентгеноконтрастных элементов в припое, которые частично бы увеличивали и коррозионные характеристики сварного соединения.

По расчетам температурных полей титановых сплавов установлено, что на периферии ядра точки в зоне уплотнительного пояска развиваются высокие температуры от 350 до 730 °С, достаточные для расплавления среднеплавких припоев [6, 7].

В данной работе исследовали возможность применения припоев системы титан—цирконий—медь—никель в качестве МС-лент.

В результате теоретического анализа сплавов данной системы был выбран припой СТЕМЕТ 1201, который изготовляется в виде фольги по технологии быстрого затвердевания расплава на вращающемся барабане-холодильнике и относится к новому типу припоев в аморфном структурном состоянии (рис. 1). Аморфная структура обеспечивает высокую химическую и структурную однородность данного сплава, что приводит к равномерному плавлению, растекаемости и кристаллизации. Высокая исходная пластичность и малая толщина ленты аморфного припоя позволяют выполнять сборку тонкостенных изделий сложной формы [8].

Рис. 1. Припой СТЕМЕТ 1201

Температура плавления припоя СТЕМЕТ 1201 820 °С. Припой образует широкие области твердых растворов с титаном, удовлетворительно смачивает поверхность металла, хорошо заполняет зазоры до 0,15 мм и обеспечивает формирование химически однородной структуры. Также одним из преимуществ данного сплава является то, что он выпускается в виде гибкой ленты толщиной 0,04—0,06 мм, шириной до 20 мм, что позволяет закладывать его непосредственно в зазор между свариваемыми деталями.

Основными особенностями пакетов, собранных из трех деталей, является наличие дополнительных контактов, повышающих электрическое сопротивление металла между электродами. Для оценки состояния поверхности пластин измеряли общее электрическое сопротивление пластин $R_{ээ}$ в различных точках исследуемой поверхности [6] после их выдержки при определенных температуре и влажности через установленные интервалы времени в течение всего времени хранения [ОСТ 92-1123—83]. Измерения производили микроомметром ММР-610, результаты измерений приведены на рис. 2. Общее электрическое сопротивление измеряли при усилии сжатия электродов $F_{сж}$ = 400 даН (величину которого выбирали близкой сварочному усилию для данных марок материалов и сочетаний толщин).

На рис. 2 видно, что сопротивление деталей увеличивается с течением времени. Из приведенной гистограммы следует, что сопротивление деталей, сваренных с применением МС-ленты, увеличивается на 15 % по сравнению с ТКС без припоя по истечении 4 ч. Это свидетельствует о соблюдении жестких временных рамок по содержанию деталей в собранном виде.

В ряде работ для повышения работоспособности точечных соединений рекомендуется применять следующие меры: во-первых, вакуумный отжиг или отжиг в инертной атмосфере [2—4], во-вторых, заданный режим проковки как по длительности, так и величине ковочного усилия [4—6], в-третьих, электротермомеханическую обработку в процессе сварки [6], а в-четвертых, совмещение технологических процессов, например, после ТКС выполнение диффузионной сварки или пайки [8].

В последнем случае задача повышения работоспособности

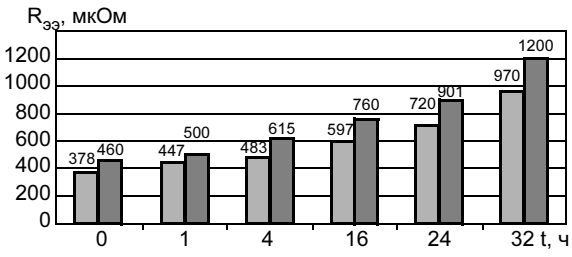


Рис. 2. Гистограмма зависимости сопротивления от времени (серые столбцы — соединение без МС, темные — с МС-лентой припоя СТЕМЕТ 1201)

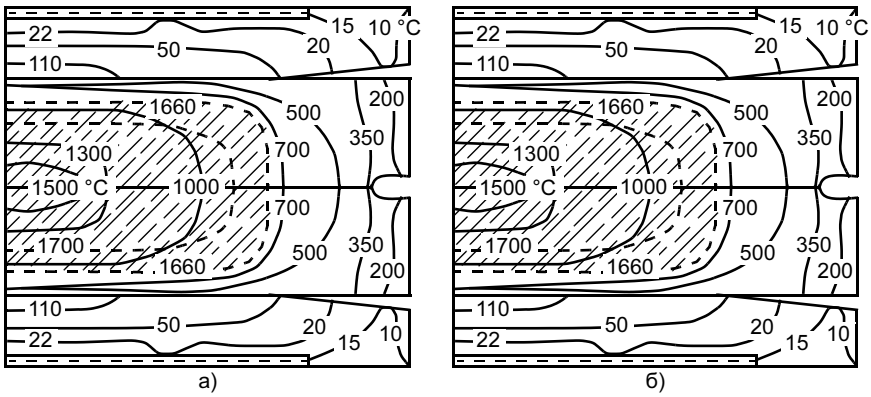


Рис. 3. Термограммы точечного соединения при прохождении первого импульса сварочного тока (*а*) и протекании второго импульса тока — подогрева (*б*)

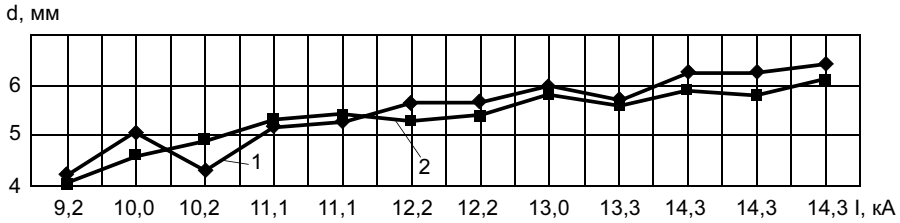


Рис. 4. Изменение диаметров точек деталей, полученных сваркой электродом с обжимной втулкой и применением припоя СТЕМЕТ 1201: *1*, *2* — диаметр литого ядра точки, измеренный по вырыву и полученный на рентгенограмме соответственно

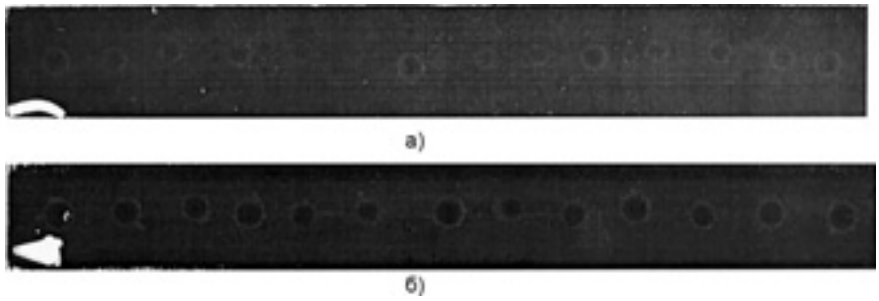


Рис. 5. Рентгенограммы сварных образцов из сплава ОТ4-1 при сочетании толщин (1 + 1) мм без (*а*) и с МС-лентой припоя СТЕМЕТ 1201 (*б*)

Рис. 6. Макроструктура сварнопаяного соединения титанового сплава ОТ4-1 при сочетании толщин (1 + 1 мм), выполненного ТКС с применением припоя СТЕМЕТ 1201: *а* — с последующим нагревом в печи; *б* — то же, с обжатием периферии ядра точки

МС	Химический состав, %					Размер ленты, полосы, мм		Температура, °С	
	Zr	Nb	Ni	Cu	Ti	Толщина	Ширина	Солидус	Ликвидус
ЦН25Т3	72	25	—	—	3	0,20—0,35	100	1680	1745
СТЕМЕТ 1201	12	—	12	24	52	0,04—0,06	20	830	900

точечных соединений решается за счет смачивания припоем периферии сварной точки и тем самым снижения концентрации напряжений в ней. В работе [6] при расчете температурных полей установлено, что на периферии контакта в уплотнительном пояске развивается достаточно высокая температура для расплавления припоя от 700 до 1660 °С (рис. 3).

Исследовали также возможность применения припоя типа СТЕМЕТ 1201 в качестве МС для контроля диаметра ядра сварной точки и его влияние на работоспособность точечных соединений. МС, применяемые при ТКС титановых сплавов, приведены в таблице.

В случаях, когда сварку производили с припоем СТЕМЕТ 1201, диаметр ядра, измеренный на рентгеновской пленке, практически не отличается от диаметров ядра, измеренных штангенциркулем на образцах, что подтверждает возможность использования припоя СТЕМЕТ 1201 в качестве рентгеноконтрастного МС (рис. 4, 5). На рентгенограммах сварных образцов, полученных с применением МС-ленты из припоя СТЕМЕТ 1201 (см. рис. 5), отчетливо видна литая зона точки.

На рис. 6 приведены шлифы сварнопаяного соединения (поз. *а*) и сварного соединения, выполненного электродом с обжатием (поз. *б*).

Результаты испытаний на срез (рис. 7) 25 образцов разных партий показали, что наиболее высокая прочность на срез получена при сварке с МС-лентой припоя СТЕМЕТ 1201: на 15—20 % выше, чем при сварке по обычной технологии. Также образцы показали более стабильные результаты и по прочности. Под действием давления и электродинамических сил материал МС-ленты вытесняется и скапливается на периферии, затекая в зазор между деталями и образуя галтелевид-

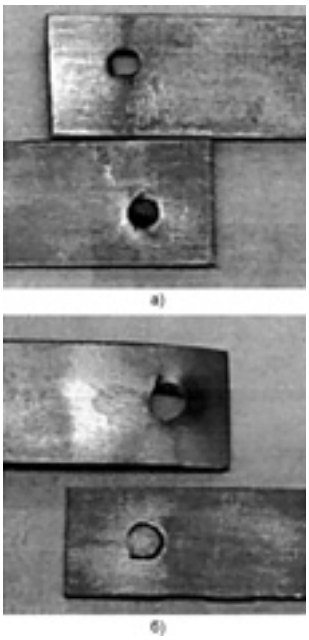


Рис. 7. Образцы после испытаний на срез: *а* — полученные сваркой обычным электродом без припоя; *б* — то же, с припоем

ное соединение, которое защищает сварное соединение от воздействия окружающей среды.

ВЫВОДЫ

1. При точечной контактной сварке титановых сплавов с применением припоя СТЕМЕТ 1201 на оптимальном режиме обеспечивается сварнопаяное соединение в уплотнительном пояске. За счет снижения концентрации напряжений на периферии точки повышается работоспособность точечного соединения.

2. Точечная контактная сварка с применением полосы из припоя СТЕМЕТ 1201 наиболее оптимальна при использовании двухимпульсной циклограммы или электрода-соленоида и обжимной втулки.

3. Применение припоя СТЕМЕТ 1201 в качестве материала-свидетеля позволяет контролировать качество сварного соединения при рентгенографировании.

4. При сварке крупногабаритных изделий с использованием МС-припоя СТЕМЕТ 1201 необходимо учитывать масштабно-временной фактор и контролировать сроки от момента прихватки деталей до окончания сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология* и оборудование контактной сварки / Под общ. ред. Б. Д. Орлова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
2. *Титан* (металловедение и технология) / Гл. ред. А. Ф. Белов // Тр. 3-й Междунар. конф. по титану. М.: ВИЛС, 1987. Т. 3. 591 с.
3. *Вакуумный* отжиг титановых конструкций / Б. А. Колачев, В. В. Садков, В. Д. Талалаев и др. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.
4. *Золотарев Б. Б.* Охрупчивание точечных соединений, выполненных контактной сваркой // Сварочное производство. 1970. № 10. С. 7—10.
5. *Лексиков В. И.* Оптимизация термодеформационного цикла точечной контактной сварки сплавов на основе титана с целью повышения усталостной прочности соединений: Дис. ... канд. техн. наук. М.: "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, 1986. 201 с.
6. *Меньшиков Г. А., Редчиц В. В., Редчиц А. В.* Работоспособность соединений из титановых сплавов, выполненных точечной контактной сваркой // Сварочное производство. 2001. № 6. С. 17—23.
7. *Орлов Б. Д., Дмитриева Г. М., Вакс И. А.* О неразрушающем контроле литой зоны соединений титановых сплавов // Автоматическая сварка. 1965. № 11. С. 48—51.
8. *Дмитриева Г. М.* Исследование и разработка метода неразрушающего контроля точечных сварных соединений из титановых сплавов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МАТИ им. К. Э. Циолковского, 1968. 15 с.
9. *Дубовик А. С., Месяцев П. П., Сидорина Г. Н.* Применение сварнопаяных соединений в приборостроении // Сварочное производство. 1975. № 12. С. 25—26.

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:621.643.1/.2

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

Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики.

Ч. 2. Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий[1]

Сварные соединения трубопроводов II—IV категорий, эксплуатируемые при температуре рабочей среды $t \leqslant 450$ °С и давлении $p < 8{,}0$ МПа, подвержены повреждаемости вследствие усталости, коррозии и графитизации, а также низкого качества сварных швов. Ремонт сварных соединений выполняется путем замены разрушившихся сварных элементов или нанесения ремонтных заварок в местах повреждений.

Ремонту не подлежат сварные соединения (в отдельных случаях целиком трубопровод) при следующих условиях:

- недопустимом утонении стенки труб вследствие коррозии (эрозии) в случаях, когда не выполняется условие прочности $(S_f)_{\min} < [S] = S_R + C_2$;
- высокой графитизации микроструктуры металла, оцениваемой баллом 4 по шкале ОСТ 34-70-690—96; при повреждении (балл 2—3) возможно проведение восстановительной термической обработки [2, 3].

В остальных случаях сварные соединения, если их повреждение носит локальный характер, могут быть отремонтированы с помощью сварки.

Основные положения ремонта сварных соединений трубопроводов II—IV категорий:

- выполнение основных требований сварочной технологии ремонта [1];
- применение сварочных электродов типа Э42, Э42А, Э46, Э50А и Э-9Х1М с подогревом при сварке, наплавке и высоком отпуске после сварки в зависимости от толщины стенки и материала трубопровода (табл. 1). Токовые режимы при сварке электродами диаметром 2,5, 3 и 4 мм составляют соответственно 75—90, 90—110 и 120—160 А;
- удаление поврежденного металла (и недопустимых дефектов) любым способом: с помощью абразивного инструмента, газовой резкой, воздушно-дуговой строжкой, плазменной дугой, ударным инструментом;

Таблица 1

Тип сварного соединения	Сталь	Тип наплавляемого металла	Подогрев при сварке		Режим высокого отпуска после сварки
			S, мм	t, °С	
ССС, ТСС	12Х1МФ	09Х1М	>10	200—250	720—750 °С, 1 ч*1
	15ХМ		>10	100—150	700—730 °С, 1 ч*2
Все типы	20, 20Л	Э50А	>30	100—150	560—590 °С, 1 ч (S > 30 мм)
	17ГС, 17Г1С, 09Г2С		⩾10	100—150	Без высокого отпуска
	Ст2—Ст4	Э42, Э42А, Э46	⩽20	Без подогрева*3	То же

*1, *2 Выдержка при отпуске 3 и 2 ч соответственно для $S \geqslant 20$ мм.

*3 Температура подогрева $t = 100 \div 150$ °С для $S > 20$ мм.

Обозначения: ССС — стыковое сварное соединение труб равной толщины; ТСС — тройниковое сварное соединение.

Примечание. При низкой температуре окружающего воздуха (до –20 °С) сварку проводят с подогревом ремонтируемой сварной детали при температуре, выше указанной на 100—150 °С.

[1] *Хромченко Ф. А.* Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории — см. "Сварочное производство". 2008. № 4. С. 31—42.

Таблица 2

Тип сварного соединения	Способ ремонта	Рис.
ССС	Местная подварка стыкового соединения	2, *а*, 3
	Переварка сварного шва участками (по периметру стыка)	2, *б*, 3
	Нанесение усиливающей наплавки на наружную поверхность сварного соединения	4, *а*
	Бандажирование сварного соединения	4, *б*
	Местная подварка с внутренней стороны (с приваркой заплаты к окну трубы)	5
	Приварка глухого штуцера в зоне повреждения сварного стыка	6
$ССС_{ртэ}$	Нанесение усиливающей кольцевой наплавки на сварное соединение	7
	Местная подварка сварного шва	2, *а*, 3
ТСС и врезки (труба в трубу)	Нанесение усиливающей наплавки воротникового типа на сварное соединение	8, *а*
	Бандажирование штуцера на участке примыкания к угловому шву	8, *б*
	Укрепление трубы воротником на участке примыкания к угловому шву	8, *в*
	Местная подварка углового шва	2, *а**[1]
Секторные отводы	Местная подварка кольцевого шва	2, а, 3*[2]
	Переварка кольцевого шва по участкам периметра стыка	2, б, 3*[2]
Лепестковый переход	Переварка продольных швов перехода и кольцевого шва, соединяющего переход с трубой меньшего диаметра	9, 3, 2, *б*
ШСК	Местная подварка кольцевого шва	3*[2]

*[1] Раскрытие кромок разделки составляет 40—50° с учетом расположения осей трубных элементов (штуцера и трубы) под углом 90°. Подварочный шов выполняется в четыре-шесть валиков.

*[2] Раскрытие кромок разделки составляет 60—90° с учетом расположения трубных элементов под углом друг к другу.

Обозначения: $ССС_{ртэ}$ — стыковое сварное соединение разнотолщинных трубных элементов; ШСК — штампосварное колено.

- выполнение выборок (углублений) в виде сквозной *V*-образной (или *U*-образной) формы разделки с углом раскрытия 30—60° и достижение ровной поверхности с прилегающими участками металла шириной 20—30 мм, очищенной до металлического блеска;
- нанесение при необходимости усиливающих наплавок (или приварка бандажей) для укрепления поврежденных (дефектных) сварных соединений;
- оценка качества отремонтированных сварных соединений неразрушающими методами контроля (ВК, УЗК, МПД, ЦД, РГК и/или другими) согласно нормативным требованиям.

Конкретные сварочные технологии ремонта назначаются в зависимости от типа и особенностей повреждения (дефектности) сварных соединений (табл. 2, рис. 1).

Ниже приведены способы ремонта поврежденных сварных соединений трубопроводов.

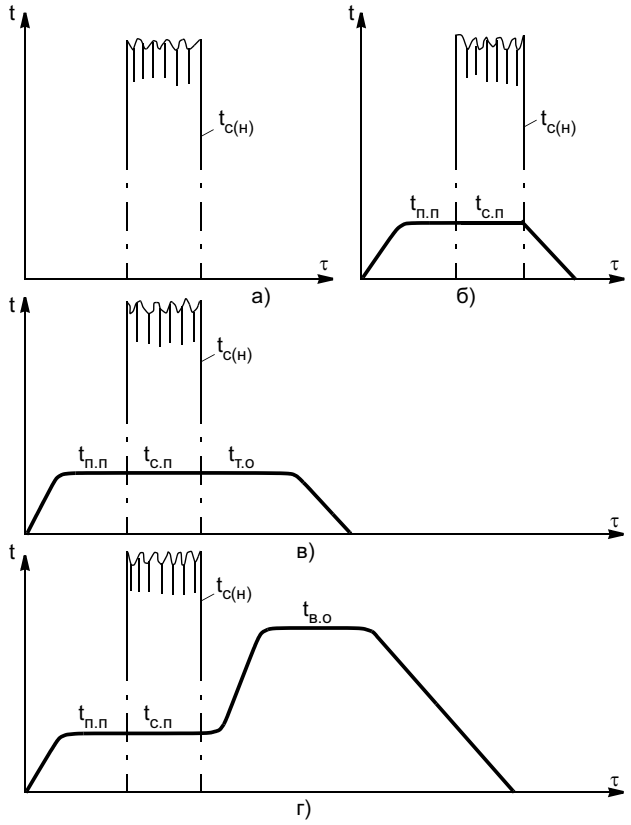


Рис. 1. Последовательность выполнения технологических операций при ремонте сварных соединений трубопроводов II—IV категорий из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей: *а* — сварка (наплавка) без подогрева и высокого отпуска; *б* — сварка (наплавка) с подогревом, но без высокого отпуска; *в* — сварка (наплавка) с подогревом и последующим термическим отдыхом; *г* — сварка (наплавка) с подогревом и последующим высоким отпуском

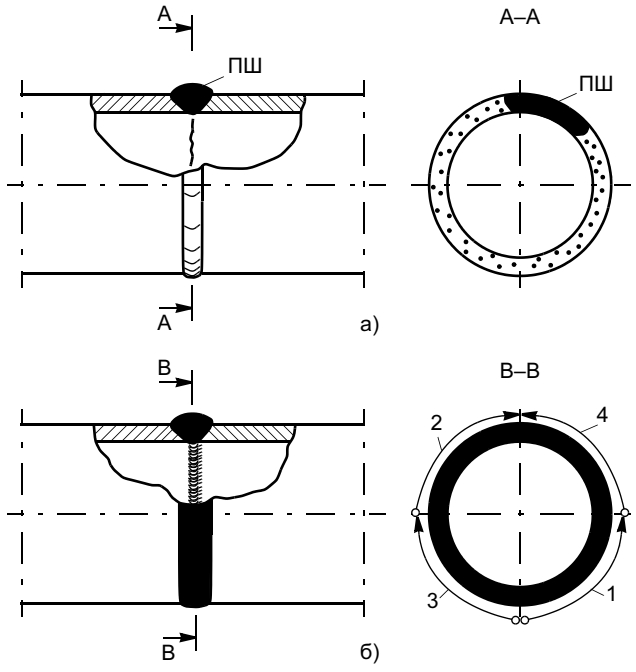


Рис. 2. Ремонт ССС: *а* — выполнение местного подварочного шва (ПШ); *б* — переварка всех участков (*1—4*) кольцевого шва

Ремонт путем выполнения местной подварки в стыковом шве. Подварочный шов с наружной поверхности сварного соединения выполняют в подготовленную сквозную выборку многослойным способом (рис. 2, *а* и 3).

Ремонт путем переварки кольцевого шва стыкового соединения. Поврежденный (дефектный) шов переваривают участками по периметру стыка (рис. 2, *б*). Ремонт каждого участка включает удаление дефектного металла до получения сквозной выборки и последующее многослойное заполнение (не менее двух слоев) выборки до получения подварочного шва требуемой формы. Затем аналогичные технологические операции выполняют на следующем участке ремонтируемого шва (см. рис. 2, *б*).

Укрепление дефектного стыкового соединения усиливающей (кольцевой) наплавкой. Такой способ ремонта применяют при отсутствии возможности переварки кольцевого шва. Усиливающую наплавку наносят кольцевыми валиками шириной 15—20 мм и высотой 5—8 мм. Высота усиливающей наплавки $S_{у.н}$ должна быть не менее толщины стенки трубы S ($S_{у.н} \geqslant S$); при этом в зоне кольцевого шва она должна быть дополнительно увеличена на 4—6 мм (рис. 4, *а*). Общая ширина усиливающей наплавки составляет $L_{у.н}$ = 130÷150 мм для труб наружным диаметром $D_н$ = 100÷219 мм и $L_{у.н}$ = 180÷200 мм для труб $D_н$ > 219 мм.

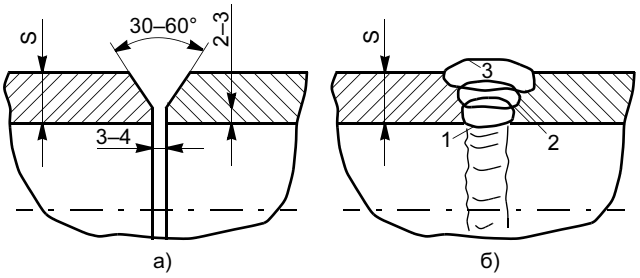


Рис. 3. Рекомендуемое выполнение подварочного шва в сквозную местную выборку соединения (поперечное сечение): *а* — форма и размеры выборки после удаления поврежденного металла; *б* — очередность многослойного заполнения выборки расплавленным металлом при сварке

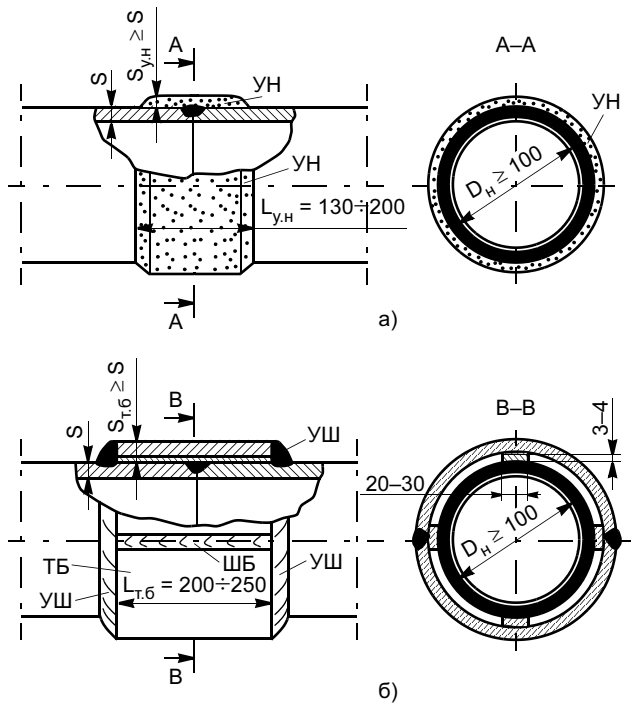


Рис. 4. Укрепление ССС (ШБ — продольный шов бандажа, УШ — угловой): ***а* — нанесение усиливающей наплавки (УН);** ***б* — приварка трубчатого бандажа (ТБ)**

Укрепление дефектного стыкового соединения путем приварки трубчатого бандажа. Такой способ ремонта применяют при отсутствии возможности нанесения усиливающей наплавки и переварки кольцевого шва. Трубчатый бандаж, имеющий два продольных разреза, состоит из двух частей. Толщина бандажа не менее толщины стенки труб соединения, его длина $L_{т.б}$ = 200÷220 мм для труб $D_н$ = 100÷219 мм и $L_{т.б}$ = 250 мм для $D_н$ > 219 мм.

Бандажирование стыкового сварного соединения включает последовательное выполнение следующих технологических операций (рис. 4, *б*):

- удаление выпуклости поврежденного (дефектного) кольцевого шва заподлицо с трубой;
- размещение трубчатого бандажа на дефектном стыковом соединении (кольцевой шов должен размещаться по центру бандажа). Бандаж скрепляют прихватками длиной по 20—40 мм и высотой около 5—7 мм. Прихватки наносят на продольные разрезы бандажа. Предварительно в кольцевом зазоре между внутренней поверхностью бандажа и наружной поверхностью труб дефектного стыка рекомендуется размещать (и прихватывать к трубам) четыре подкладки (углеродистой стали) шириной 20—30 мм и толщиной 3—4 мм. Подкладки следует располагать равномерно по периметру трубы, при этом две из них размещают под продольными разрезами бандажа;
- выполнение продольных стыковых швов бандажа многослойным способом (два-три слоя);
- сварку кольцевых (угловых) швов, соединяющих трубчатый бандаж с трубами дефектного стыка. Угловые швы сваривают в два-три слоя.

Ремонт кольцевого шва с внутренней поверхности поврежденного стыкового соединения. Такой вариант ремонта применяют при отсутствии возможности (при труднодоступности) выполнения подварочного шва с наружной стороны поврежденного кольцевого шва.

Ремонт включает выполнение следующих технологических операций (рис. 5):

- вырезку окна овальной формы необходимого размера (с учетом наружного диаметра трубы) в районе расположения поврежденного стыково-

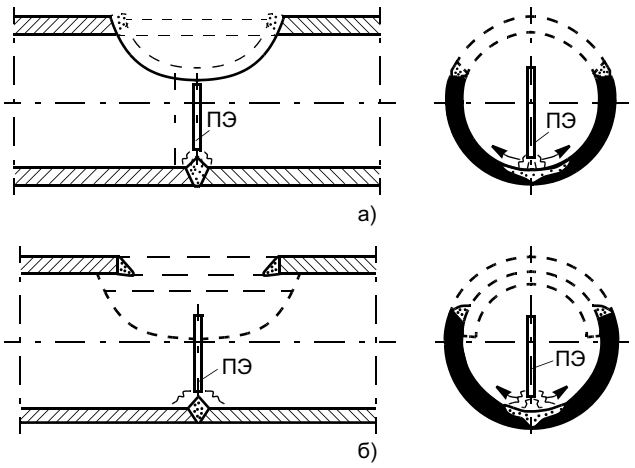


Рис. 5. Ремонт ССС путем заварки дефектного места с внутренней поверхности кольцевого шва с последующим заглушением окна (ввод плавящего электрода (ПЭ) при сварке обеспечивается через окно на участке трубопровода): *а* — приварка заплаты к верхнему окну стыковым швом; *б* — приварка заплаты угловым швом

го сварного соединения. Окно охватывает часть кольцевого шва с прилегающими участками труб соединения и располагается с противоположной стороны (по периметру трубы) зоны повреждения шва. Такое расположение необходимо для выполнения сварки на внутренней поверхности поврежденного участка кольцевого шва;

- удаление поврежденного металла со стороны корневой части поврежденного участка шва до получения сквозной выборки с раскрытием на внутренней поверхности соединения;
- выполнение подварочного шва многослойным способом (два-три слоя) до получения выпуклости шириной 20—30 мм, высотой 5—8 мм и длиной, включающей протяженность зоны повреждения с перекрытием по 20—30 мм с обоих концов;
- размещение заплаты (заглушки) в окне ремонтируемого участка трубопровода и скрепление ее с трубными элементами с помощью прихваток длиной по 40—60 мм и высотой 6—8 мм через каждые 150—250 мм (с учетом $D_н$ труб).

Основным способом соединения заплаты с ремонтируемым участком трубопровода является ее приварка встык к контуру окна (рис. 5, *а*) согласно СО 153-34.17.464—2003. Технология сварки такого соединительного шва рассмотрена в работе [3].

При аварийных ситуациях, когда ремонтные работы крайне ограничены сроками выполнения (и предусмотрена в ближайший срок эксплуатации замена данного отремонтированного участка), применяют способ соединения заплаты с трубными элементами внахлестку угловым контурным швом (рис. 5, *б*).

С этой целью предварительно подготавливают заплату (заглушку-вставку) требуемой формы и размера, превышающего на 40—80 мм размер вырезаемого окна на участке трубопровода. Заплату в наклонном положении вводят в окно, размещают на внутренней поверхности трубного участка и прижимают к нему с помощью винтовых стяжек или другим способом.

Заплату скрепляют с трубными элементами прихватками длиной по 40—60 мм и катетом 6—8 мм через каждые 150—250 мм; после этого удаляют сборочные приспособления. Заключительной операцией является выполнение углового шва (в два-три слоя) по контуру соединения внахлестку.

Ремонт стыкового шва путем приварки штуцера-заглушки к месту локального повреждения. При таком способе ремонта выбирают штуцер-заглушку, внутренний диаметр которого перекрывает размер локального повреждения на 20—30 мм с каждой стороны. Одну сторону штуцера заглушают приваренным донышком. Такой способ ремонта применяют, когда существует опасность эксплуатационного развития повреждения в отремонтированной зоне. В этом случае штуцер-заглушка является страхующим элементом, повышающим работоспособность отремонтированного участка шва.

Ремонт включает выполнение следующих технологических операций:

- выбор способа ремонта с получением вариантов соединений типа вварного или приваренного штуцера-заглушки (рис. 6);
- полное удаление поврежденного металла до получения отверстия в зоне стыка при ремонте

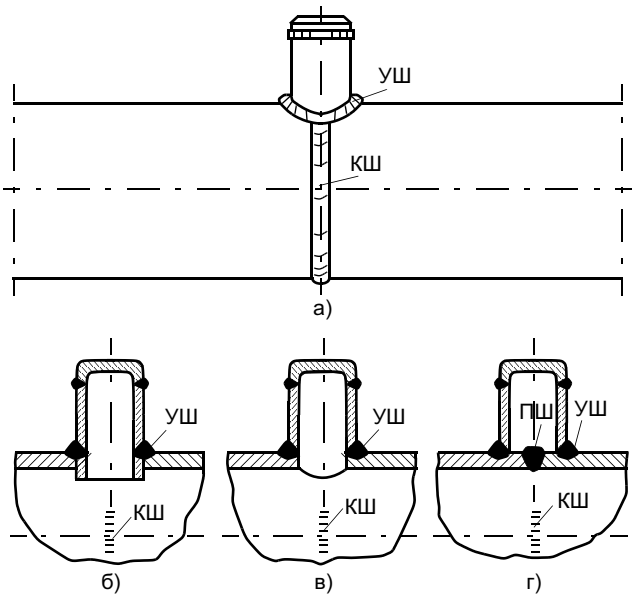


Рис. 6. Ремонт ССС путем приварки штуцера-заглушки в зоне повреждения кольцевого шва (КШ): *а* — общий вид места приварки штуцера-заглушки угловым швом (УШ); *б* — соединение типа вварного штуцера, размещенного в отверстии; *в*, *г* — соединения типа приварного штуцера-заглушки на наружной поверхности труб соответственно в зоне отверстия (*в*) и зоне подварочного шва

при выбранном варианте соединения с вварным штуцером-заглушкой (соединение с конструкционным непроваром). После этого штуцер-заглушку размещают в отверстии стыка и приваривают угловым швом (в два-три прохода), катет шва равен 1,2—1,5 толщины стенки трубы (рис. 6, *б*);

- полное удаление поврежденного металла до получения отверстия в зоне стыка при выбранном варианте соединения с приварным штуцером-заглушкой (в соединении отсутствует конструкционный непровар). Затем штуцер-заглушку, имеющий разделку в торцовой части, приваривают угловым швом (рис. 6, *в*);
- удаление поврежденного металла с выполнением подварочного шва при выбранном варианте соединения с приварным штуцером (в соединении отсутствует конструкционный непровар). Затем штуцер-заглушку, имеющий разделку в торцовой части, приваривают угловым швом (рис. 6, *г*).

Ремонт путем нанесения усиливающей (кольцевой) наплавки на поверхность ССС$_{ртэ}$. Усиливающую многослойную (два-три слоя) наплавку кольцевого типа наносят на наружную поверхность поврежденного (дефектного) шва и прилегающего участка тонкостенного трубного элемента кольцевыми валиками шириной 15—20 мм и высотой 4—6 мм. Толщина усиливающей наплавки должна быть не менее толщины тонкостенного трубного элемента $S_{у.н} \geqslant S_1$, ширина $L_{у.н}$ = 80÷100 мм для наружного диаметра тонкостенного трубного элемента $D_{н1}$ = = 100÷219 мм и $L_{у.н}$ = 100÷120 мм для $D_{н1}$ > 219 мм (рис. 7).

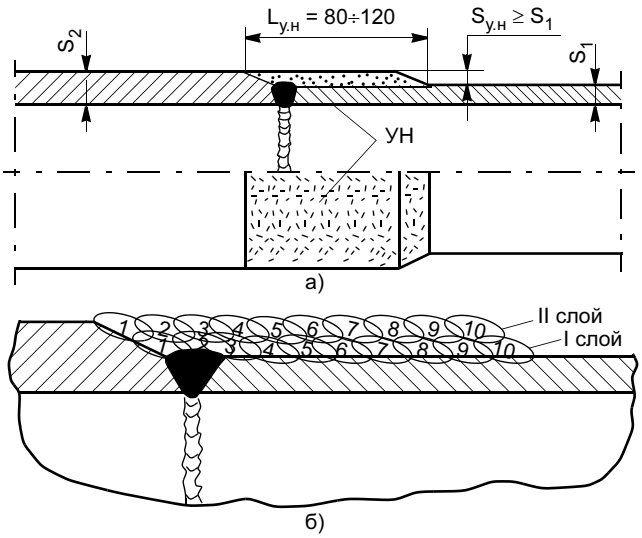


Рис. 7. Укрепление поврежденного ССС$_{ртэ}$ нанесением усиливающей (кольцевой) наплавки: *а* — общий вид и размер усиливающей наплавки; *б* — очередность нанесения кольцевых валиков каждого слоя

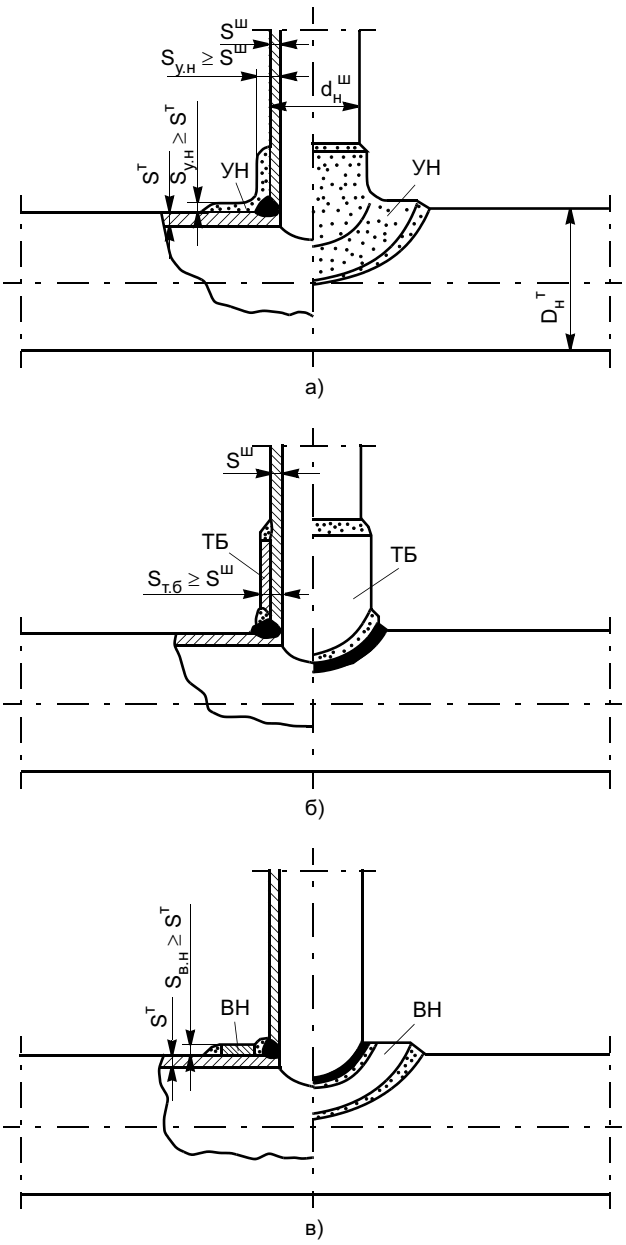


Рис. 8. Укрепление тройникового сварного соединения (и врезки труба в трубу): *а* — нанесение усиливающей наплавки воротникового типа; *б* — приварка к штуцеру трубчатого бандажа; *в* — приварка к трубе воротниковой накладки (ВН)

Ремонт ССС$_{ртэ}$ (выполнение местной подварки кольцевого шва) проводят по технологии, приведенной на рис. 2, *а* и 3.

Ремонт ТСС (и врезок труба в трубу) укреплением поврежденного (дефектного) углового шва усиливающими наплавками и приварными накладками. Способ ремонта назначается в зависимости от места и размера поврежденного (дефектного) участка углового шва и/или прилегающих к шву участков штуцера и трубы (рис. 8).

При выявлении места повреждения необходимо в первую очередь (независимо от выбранного способа укрепления углового шва) удалить поврежденный

металл и выполнить подварочный шов (по технологии ремонта стыкового шва, см. рис. 2 и 9). После этого назначают способ укрепления углового шва и прилегающих участков.

Нанесение усиливающей многослойной (два-три слоя) наплавки воротникового типа является эффективным способом укрепления таких соединений. Наплавку наносят кольцевыми валиками по периметру углового шва, прилегающей зоны трубы (вокруг углового шва) и периметру штуцера. Ширина валиков составляет 10—16 мм, высота — 5—7 мм. Толщина усиливающей наплавки должна удовлетворять условию $S_{у.н} \geqslant S^{т}$ (со стороны трубы) и $S_{у.н} \geqslant S^{ш}$ (со стороны штуцера), ширина усиливающей наплавки должна включать ширину углового шва и примыкающие кольцевые участки штуцера и трубы шириной не менее 50 мм (см. рис. 8, *а*).

Укрепление сварного соединения путем бандажирования штуцера (или нанесением усиливающей наплавки на штуцер) применяют при выявлении повреждения со стороны штуцера вблизи углового шва.

Бандаж, состоящий из двух половин втулки (два продольных реза), размещают на штуцере, скрепляют прихватками длиной по 20—30 мм и высотой 4—6 мм на продольных резах. После этого сваривают продольные стыковые швы бандажа, затем кольцевой шов соединения бандажа с угловым швом и в последнюю очередь кольцевой шов соединения бандажа с штуцером (см. рис. 8, *б*). Длина (высота) бандажа составляет около 80—100 мм, толщина — не менее толщины стенки штуцера; материал бандажа — углеродистая сталь Ст2 или Ст3. Усиливающую наплавку наносят шириной 60—80 мм по приведенной выше технологии.

Укрепление сварного соединения путем приварки воротника со стороны трубы (или нанесением усиливающей наплавки) применяют при выявлении повреждения со стороны трубы вблизи углового шва.

Воротник, состоящий из двух половин (два радиальных реза), размещают на трубе, скрепляют прихватками длиной по 20—30 мм и высотой 4—6 мм на радиальных резах. После этого сваривают радиальные стыковые швы воротника, затем кольцевой шов соединения воротника с угловым швом и в последнюю очередь кольцевой шов соединения воротника с трубой (см. рис. 8, *в*). Ширина воротника составляет около 80—100 мм, толщина — не менее толщины стенки трубы; материал бандажа — углеродистая сталь Ст2 или Ст3. Усиливающую наплавку наносят шириной 60—80 мм по приведенной выше технологии.

Возможно применение комбинированных вариантов, при которых укрепление сварных соединений с угловым швом осуществляется нанесением усиливающей наплавки на одну деталь и приваркой усиливающей накладки на другую трубную деталь.

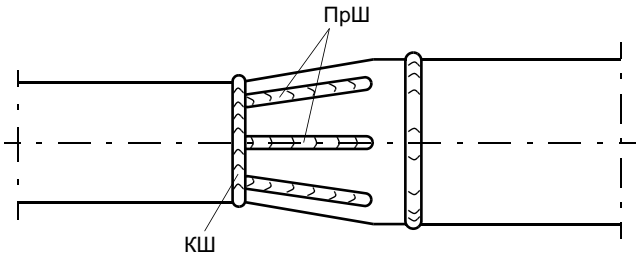


Рис. 9. Способ ремонта лепесткового перехода (в последовательности проведения операций): переварка продольных швов перехода (ПрШ); переварка кольцевого шва, соединяющего переход с трубой меньшего диаметра

Ремонт кольцевых швов секторных отводов проводят аналогично способам восстановления кольцевого шва стыковых сварных соединений ССС (см. табл. 2, рис. 2 и 3). Раскрытие кромок выборки составляет 60—90° с учетом расположения ремонтируемого участка на кольцевом шве трубных элементов.

Ремонт лепесткового перехода способом переварки продольных швов и кольцевого шва, соединяющего переход с трубой меньшего диаметра. Ремонт выполняют в два этапа: на первом — переваривают все продольные швы перехода, на втором — кольцевой шов, к которому примыкают продольные швы перехода (см. рис. 9).

Форма сквозных выборок и многослойный способ выполнения швов аналогичны технологии переварки кольцевых швов стыковых соединений (см. рис. 3).

Ремонт каждого продольного шва перехода включает операции удаления поврежденного металла по всей длине шва и последующего заполнения разделки. По окончании сварки одного продольного шва ремонтные операции проводят по следующему продольному шву. Процесс сварки по каждому шву ведется непрерывно от одного конца продольного шва к другому в сторону кольцевого шва стыкового соединения.

Ремонт кольцевого шва проводят последовательно на участках аналогично технологии переварки стыковых сварных соединений труб (см. рис. 2, *б*).

Ремонт продольных швов штампосварных колен проводят аналогично способу ремонта кольцевого шва стыкового соединения путем выполнения ремонтной заварки (см. табл. 2, рис. 2, *а* и 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хромченко Ф. А.* Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводов. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории // Энергетик. 2008.

2. *Хромченко Ф. А.* Ресурс сварных соединений паропроводов. М.: Машиностроение, 2002. 352 с.

3. *Хромченко Ф. А.* Сварочные технологии при ремонтных работах: Справочник. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 368 с.

УДК 621.791.04

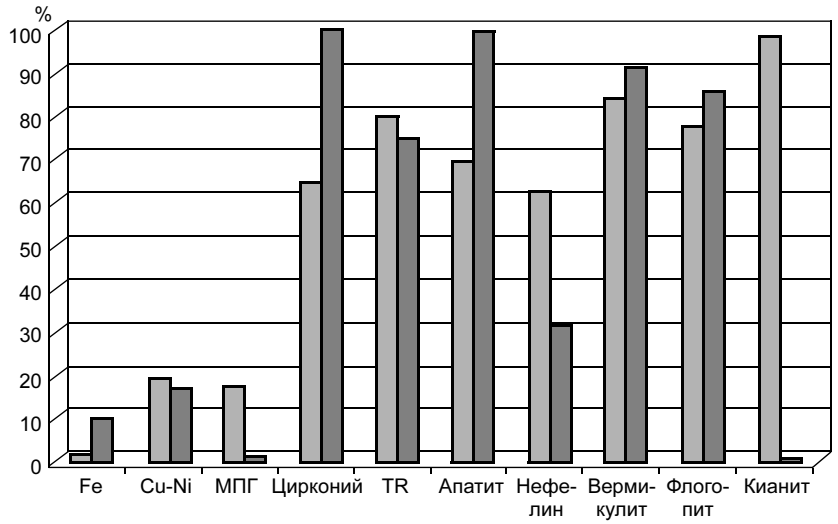
А. И. НИКОЛАЕВ, д-р техн. наук, В. Б. ПЕТРОВ, канд. техн. наук
(Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН),
Ю. В. ПЛЕШАКОВ, канд. техн. наук
(ОАО "Апатит", г. Кировск),
Ю. Д. БРУСНИЦЫН, канд. техн. наук, А. В. БАРАНОВ, инж.
(ЦНИИ КМ "Прометей", Санкт-Петербург)

Характеристика сырьевой базы Мурманской области, компонентов электродных покрытий и флюсов для сварки[1]

Экономика Мурманской области, как и России в целом, ориентирована на эксплуатацию природных ресурсов. На площади около 1 % территории России сосредоточены крупные источники важнейших видов минерального сырья федерального и регионального значения. Структура запасов минеральных ресурсов и добычи некоторых важных видов сырья в Мурманской области (в процентах от показателей РФ) приведена на рисунке [1]. Более 100 месторождений твердых полезных ископаемых в регионе имеют в современных условиях высокий инвестиционный и промышленный потенциал. На территории Мурманской области создан мощный горнорудный комплекс. Наряду с эксплуатируемыми месторождениями традиционных для региона видов минерального сырья имеются перспективные месторождения, чаще не привязанные к действующим предприятиям, и перспективные рудопроявления.

Ранее в работах [2—4] рассмотрены минеральные ресурсы Мурманской области как потенциальные источники традиционных и новых компонентов сварочных материалов. При этом выделено несколько групп минеральных продуктов, содержащих титан, магний, кальций, редкие металлы, железо, алюминий и силикаты. Начато изучение их химического состава, некоторых свойств и практического использования в покрытиях сварочных электродов. Отдельные перспективные месторождения данного сырья в Мурманской области, минеральные концентраты и продукты их переработки приведены в табл. 1.

В настоящее время можно говорить о стабильности внутреннего рынка сварочных электродов и даже определенном росте объемов их производства и потребления. Однако, несмотря на достаточно большое число электродных заводов в России, общий объем производства электродов существенно уступает бывшему в СССР [5]. Удельный объем производимых электродов на душу населения в России ниже, чем в странах с развитой экономикой. Одновременно сохраняется высокий уровень потребления импортных электродов. Основные причины такого положения обусловлены нехваткой традиционных сварочных материалов, исчерпанием ряда богатых месторождений, ухудшением качества продукции, высокими ценами, необходимостью перевозки сырья на электродные за-



Структура запасов (светлые столбцы) и добычи (темные) основных видов минерального сырья Мурманской области (в процентах от показателей РФ) (МПГ — металлы платиновой группы, TR — редкоземельные элементы)

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (гос. контракт № 02.531.11.9002 от 15.03.2007 г.).

Таблица 1

Месторождение							
Хибинское	Оленегорское	Ковдорское	Ловозерское	Африкандское	Сопчеозерское	Гремяха-Вырмесское	
Горно-обогатительные комбинаты и промышленные предприятия							
ОАО "Апатит"	ОАО "ОЛКОН"	ОАО "Ковдорский ГОК"	ОАО "Ковдорслюда"	ОАО "Ловозерская ГК"	ОАО "Кольская ГМК"	ОАО "Кандалакшский АЗ"	
Минеральные концентраты							
Сфен	Титаномагнетит	Нефелин	Полевые шпаты	Доломит	Магнетит	Форстерит	Оливинит	Дунит
Мусковит	Флогопит	Биотит	Кианит	Хромит	Кварц	Ильменит	Перовскит	Лопарит
Продукты переработки							
Металлы: Ti, Nb, V, Zr, Cr, Fe, Ni, Cu, Co, Al, РЗЭ. Лигатуры. Ферросплавы. TiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2, F-соединения, жидкое стекло, гельзольные продукты, композитные компоненты и др.							
Организации, занимающиеся изучением и использованием сырья и производством сварочных материалов							
ЦНИИ КМ "Прометей"	КНЦ РАН	ОАО "Апатит"	ООО "ИНСТРЭЛ"		ПО "Севмаш"	ВНИИМонтажспецстрой	
Потребители							

воды на расстояния в многие тысячи километров, включая импорт сырья из стран ближнего и дальнего зарубежья [2—8]. Расчетные потребности отечественной электродной промышленности в новых сварочных материалах составляют десятки тысяч тонн в год и будут увеличиваться по мере перехода на более качественные рецептуры покрытий. В состав покрытий электродов входят различные минеральные концентраты, металлы, ферросплавы и химические соединения. Наличие этих компонентов в покрытии электродов обеспечивает процессы шлакообразования, газообразования, раскисления, пластификации и микролегирования.

Разработка ресурсосберегающих технологий получения компонентов сварочных материалов, обеспечивающих повышение сварочно-технологических характеристик, отвечает возрастающим требованиям техники. Такие материалы способствуют увеличению ресурса работы, надежности и конкурентоспособности свариваемых деталей, конструкций и изделий в целом. По удельному потреблению сварочных материалов Россия заметно уступает развитым зарубежным странам. Поэтому решение вопросов обеспечения отечественной промышленности высококачественными компонентами электродных покрытий и флюсов для сварки, в том числе с использованием многокомпонентных концентратов минерального сырья (сфенового, нефелинового, ильменитового, титаномагнетитового и других концентратов) и продуктов их переработки, является актуальным. Такое решение возможно при использовании последних достижений в области процессов обогащения, химической технологии и минералогического материаловедения.

Таблица 2

Концентрат	Месторождение
Сфеновый Титаномагнетитовый Нефелиновый Доломитовый	Хибинское
Лопаритовый Перовскитовый Ильменитовый Магнетитовый Кианитовый Дунитовый Оливиновый	Ловозерское Африкандское Гремяха-Вырмесское Оленегорское Кейвское Сопчеозерское Ковдорское, Хабозерское
Форстеритовый Мелилитовый Диопситовый Кварц-полевошпатовый Флогопитовый Мусковитовый	Ковдорское

Широкий спектр минерального сырья региона позволил выявить наличие традиционных и принципиально новых компонентов сварочных материалов, пригодных для использования в производстве электродов и сварочных флюсов [3, 4, 6—8]. Перечень некоторых концентратов и основных месторождений приведен в табл. 2. Химическая переработка концентратов может обеспечить широкий спектр компонентов сварочных материалов (некоторые из них приведены в табл. 1).

Наиболее дефицитное на рынке сварочных материалов титансодержащее сырье на Кольском полуострове представлено большим числом месторождений. Регион является одним из наиболее богатых титановых провинций России [3, 9]. Прогнозные запасы титановых руд на Кольском полуострове превышают 10 млрд т, а в пяти наиболее доступных месторождениях разведанные запасы оценены в 4 млрд т [10]. Из более 20 месторождений титансодержащего сырья дейст-

вующими являются Ловозерское месторождение лопаритовых руд (источник лопарита) и Хибинские месторождения апатит-нефелиновых руд (источник сфена и титаномагнетита). Балансовые запасы (добыча и переработка которых в настоящее время экономически целесообразна) диоксида титана в данных месторождениях на 01.01.94 г. по категориям *A* + *B* + *C* составляют соответственно 2,4 и 7,9 % общероссийских [11]. Запасы категорий *A*, *B*, *C* служат основой проектирования и строительства горнорудного предприятия [12].

Магниевое, кальциевое, алюминиевое и слюдяное сырье является доступным и может попутно производиться на действующих предприятиях — ОАО "Апатит", ОАО "Ковдорский ГОК", ОАО "Ковдорслюда", ОАО "Кольская ГМК" и др. Запасы данного сырья позволяют удовлетворять существующие потребности страны в нем на длительную перспективу.

Для всех природных и синтетических компонентов сварочных материалов обязательным условием является соблюдение требований нормативных документов (ГОСТ, ТУ) по предельному содержанию лимитируемых примесей фосфора и серы, в то время как для минеральных компонентов содержание легирующих и модифицирующих элементов часто не определяется, так как их влияние на структуру и свойства металла шва недостаточно изучены.

Большинство сварочных материалов имеют ограничения по содержанию вредных примесей фосфора и серы, ухудшающих качество сварного шва. Повышенное содержание фосфора в минеральных продуктах Кольского полуострова определяется главным образом присутствием в концентратах примеси минерала апатита. Наиболее актуально это для сфенового концентрата, в котором содержится до 2 % P_2O_5, в то время как для массовых электродов допустимо не более 0,10 % и для электродов повышенного качества — не более 0,05 %. Разработанный в ИХТРЭМС КНЦ РАН метод[2] химической очистки разбавленными растворами минеральных кислот, прошедший проверку в укрупненном и опытно-промышленном масштабах на установках ОАО "Апатит", позволяет снизить содержание фосфора до требуемого уровня (не более 0,05 % P_2O_5). При этом загрязнение соединениями серы остается на уровне не более 0,10 %, который при необходимости может быть снижен. Метод кислотной очистки от примесей фосфора и серы, разработанный для сфенового концентрата, оказался пригодным для других концентратов и титанового шлака [13, 14]. Единственным исключением из ряда изученных концентратов, для которых оказалась невозможной химическая очистка, является нефелиновый концентрат. Он подвергается разложению при взаимодействии с разбавленными кислотами в более мягких условиях, чем апатит. Для нефелинового концентрата предлагается измененная схема обогащения, позволяющая снизить содержание серы в нем до допустимого уровня (не более 0,1 % SO_3) [14].

Наличие в ряде концентратов примесей серы определяется присутствием в них сульфидных минералов, например пирита в магнетитовых концентратах ОАО "ОЛКОН". Помимо обработки концентратов разбавленными растворами минеральных кислот для очистки от серы можно использовать безреагентный термический обжиг, при котором сера удаляется в виде сернистого ангидрида.

К вредным примесям, влияющим на процесс сварки и приводящим к повышению пористости шва, относятся органические реагенты, в том числе используемые в процессе флотационного выделения концентратов и сорбируемые на их поверхности. Частично органические вещества вымывают водой на стадии химической очистки концентратов от фосфора и серы.

Среди рекомендованных авторами для сварочных материалов концентратов флотореагенты из класса оксигидрильных и жирно-кислотных собирателей содержались в кианитовом, сфеновом, диопсидовом и форстеритовом концентратах. Кроме того, кианитовая руда и концентрат из нее содержат углистые вещества, например графит. Наиболее высокое их содержание (до 1,82 %) отмечается в продуктах месторождения Новая Шуурурта (Кейвы).

Прокаливание концентратов в течение 2 ч при температуре до 700—900 °С позволяет снизить содержание углеродсодержащих веществ до 0,001—0,004 % в пересчете на углерод. Окончательный выбор условий термической обработки концентратов для очистки от органических веществ зависит от требований производителей электродов и флюсов. Такие требования не являются одинаковыми и их целесообразно дифференцировать по назначению сварочных материалов.

Новым требованием к компонентам сварочных материалов является их радиационная безопасность. Проблема регулирования содержания природных радионуклидов на стадии химической очистки не решается [14, 15]. На практике в качестве критерия, ограничивающего содержание радионуклидов в товарах народного потребления, обычно применяют наименьшую нормируемую их величину для строительных материалов. Согласно ГОСТ 30108—94 и НРБ-99, все строительные материалы и изделия должны быть сертифицированы по радиационному признаку. Эффективная удельная актив-

[2] Патент 2174561 (РФ).

ность $A_{эфф}$ (Бк/кг) естественных (природных) радионуклидов (ЕРН) и продуктов их распада определяется по результатам измерений удельной активности членов уранового (U-238 или Ra-226) и ториевого (Th-232) рядов и калия-40 в исследуемом объекте. Она является интегральной характеристикой радиоактивности материала и рассчитывается по формуле

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1{,}3A_{Th} + 0{,}09A_K,$$

где A_{Ra}, A_{Th} — удельные активности радия и тория, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого семейства; A_K — удельная активность калия, равная 40 Бк/кг.

Авторы данной работы установили, что титаномагнетитовый, диопсидовый, кианитовый, мелилитовый, оливинитовый, сунгулитовый, доломитовый, форстеритовый, дунитовый, кварц-полевошпатовый и нефелиновый концентраты, а также отдельные пробы сфенового концентрата не имеют ограничений использования по радиационному фактору в производстве сварочных материалов ($A_{эфф}$ < 370 Бк/кг).

Лопаритовый и перовскитовый концентраты в связи с повышенным содержанием в них радионуклидов не могут непосредственно использоваться в качестве компонентов покрытий электродов. Вместе с тем химическая переработка данных концентратов позволяет получать радиационно-чистые оксиды и другие соединения титана, ниобия, редкоземельных элементов. Именно поэтому данные концентраты представлены в табл. 1, 2 как сырье для получения реальных или перспективных компонентов сварочных материалов.

Возможность использования основных минералов апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений и продуктов их переработки в качестве компонентов покрытий сварочных электродов и флюсов создает благоприятные предпосылки организации в ОАО "Апатит" самостоятельного производства отдельных компонентов сварочных материалов из собственного сырья, включающего сфеновый, нефелиновый, титаномагнетитовый и доломитовый концентраты. Сфеновый концентрат содержит легирующие элементы — ниобий и РЗЭ, нефелиновый — галлий, цезий и рубидий, титаномагнетитовый — ванадий.

Применение этих концентратов в составе опытных и промышленных партий сварочных электродов и флюсов по рецептурам, разработанным ЦНИИ КМ "Прометей", подтверждает их эффективность для повышения эксплуатационных характеристик металла шва.

Привлечение сырьевых ресурсов других обогатительных и химико-металлургических предприятий области позволит существенно расширить номенклатуру продуктов, утилизировать часть отходов производства, улучшить эффективность использования минеральных ресурсов, экологическую безопасность и обеспечить производство конкурентоспособной продукции.

Изменения в сфере обеспечения минеральным сырьем производства сварочных электродов и не менее острая проблема рационального развития и использования сырьевых ресурсов поставили в ряд первоочередных задач создание минерально-сырьевой базы Северо-Западного региона России для обеспечения производства сварочных материалов на предприятиях Северо-Запада и Центра РФ.

Создание минерально-сырьевой базы Северо-Западного региона России для производства сварочных материалов представляется актуальной и реально выполнимой задачей ближайших лет, предпосылкой чего является совпадение интересов производителей сырья и сварочных материалов. При этом нельзя не принимать во внимание большую социальную значимость этого проекта для промышленности многих регионов России.

Работы по компонентам предполагается вести на действующих предприятиях Мурманской обл., в первую очередь ОАО "Апатит", ОАО "Ковдорский ГОК", ОАО "Ковдорслюда", ОАО "Кольская ГМК", ОАО "ОЛКОН" и др. Будут продолжены исследования по выявлению новых компонентов сварочных материалов и разработке перспективных рецептур электродных покрытий. В настоящее время разрабатываются технические условия на новые материалы в соответствии с отраслевыми требованиями на данную продукцию. Работа должна завершиться организацией производства новых компонентов для сварочных материалов в готовом для потребителей виде в количестве, достаточном для удовлетворения внутренних и экспортных потребностей. Предварительная экономическая оценка выявляет более низкую стоимость ряда новых продуктов. При этом повышается эффективность использования минеральных ресурсов и уменьшаются отходы горно-металлургических предприятий.

Предполагается продолжение исследований Кольского научного центра РАН совместно с ЦНИИ КМ "Прометей" по выявлению компонентов новых видов и технологий их переработки, а также в области разработки новых сварочных материалов на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минерально-сырьевая* база Мурманской области / Б. В. Афанасьев, Н. И. Бичук, А. Д. Дайн и др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1997. № 3. С. 17—22; 1997. № 4. С. 12—17.

2. *Минеральное* сырье Северо-Западного региона России для производства сварочных материалов / А. В. Баранов, Ю. Д. Брусницын, В. Т. Калинников, А. И. Николаев // Санкт-Петербургская научно-практ. конф. по сварке. С.-Петербург, 1997. С. 122—125.

3. *Характеристика* сырьевой базы Карело-Кольского региона для производства сварочных материалов / А. И. Николаев, В. Б. Петров, Ю. Г. Быченя и др. // Сварочное производство. 2000. № 5. С. 36—40.

4. *Титановое* и титано-редкометалльное сырье Кольского полуострова как источник традиционных и новых сварочных материалов / А. И. Николаев, Л. Г. Герасимова, В. Б. Петров и др. // Сварочное производство. 2004. № 9. С. 45—49.

5. *Сидлин З. А.* Производство сварочных электродов в странах СНГ // Сварочное производство. 2002. № 6. С. 47—50.

6. *Production* of welding materials from minerals of North-West Russia / A. I. Nikolaev, Yu. D. Brusnitsin, N. Ya. Vasilieva et. al. // Min. Pro. Ext. Met. Rev. 2001. Vol. 22. № 1—3. P. 273—278.

7. *Химическая* переработка минеральных концентратов Кольского полуострова / С. Г. Федоров, А. И. Николаев, Ю. Е. Брыляков и др. Апатиты, 2003. 196 с.

8. *Калинников В. Т., Николаев А. И., Брусницын Ю. Д.* Перспективы использования минерально-сырьевой базы Карело-Кольского региона для производства сварочных материалов и флюсов // Вопросы материаловедения. 2006. № 1. С. 201—211.

9. *Николаев А. М.* Переработка нетрадиционного титанового сырья Кольского полуострова. Апатиты, 1991. 118 с.

10. *Калинников В. Т., Виноградов А. Н.* Разработка оптимальной стратегии природопользования и экономического развития Баренцево-Евро-Арктического региона с учетом международного сотрудничества в северной Европе. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1991. Ч. I. 142 с; Ч. II. 152 с.

11. *Быковский Л. З., Зубков Л. Б.* Стратегия развития и освоения минерально-сырьевой базы титана // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1995. № 5. С. 6—12.

12. *Геологический* словарь. М.: Недра, 1978. Т. I. С. 253—254.

13. *Очистка* сфенового концентрата от примеси фосфора разбавленными минеральными кислотами / А. И. Николаев, В. Б. Петров, Ю. В. Плешаков и др. // Химическая технология. 2007. № 3. С. 106—109.

14. *Плешаков Ю. В.* Разработка технологии получения компонентов сварочных материалов из сырья Кольского полуострова: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Апатиты, 2006. 20 с.

15. *Радиационная* оценка новых сварочных материалов на основе сырья Карело-Кольского региона / А. И. Николаев, Н. А. Мельник, Ю. В. Плешаков и др. // Сварочное производство. 2000. № 1. С. 50—53.

УДК 621.791.927.55

С. Г. МЧЕДЛОВ, канд. техн. наук
Саратовский ГТУ

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор).
Ч. 2. Плазменное напыление

Плазменное напыление покрытий является одним из видов газотермического напыления покрытия (ГОСТ 28076—89), применяемого в технологии упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей машин, механизмов, аппаратов, приборов и др.

Плазменное напыление относят к области сварки и резки. Для плазменного напыления применяют преимущественно порошковые материалы, а также проволоку, стержни, прутки.

Техническая плазма — ионизированный газ, в котором объемные плотности положительных и отрицательных электрических зарядов, образующих плазму заряженных частиц, практически одинаковы (условие квазинейтральности) и доля этих частиц сравнительно велика. При этом дебаевский радиус экранирования D намного меньше характерного линейного размера L [1, 2]:

$$D = \left(\sum \frac{4\pi e^2 n_i}{kT_i} \right)^{0,5} \ll L, \qquad (1)$$

где e — заряд частицы; n_i — содержание i-го сорта частиц; k — постоянная Больцмана; T — температура i-го сорта частиц.

Способ плазменного напыления покрытий на детали изделий в промышленном масштабе начали применять с 50-х годов XX века.

Первые отечественные разработки плазменных установок были выполнены в институте металлургии им. А. А. Байкова под руководством акад. Н. И. Рыкалина и д-ра техн. наук И. Д. Кулагина.

Во ВНИИавтогенмаше совместно с ИМЕТ к 1961 г. было разработано отечественное оборудование для плазменного напыления покрытий [3—6 и др.].

Техническая плазма образуется при электрических разрядах в газах, которые нагревают до высокой температуры, обеспечивающей протекание интенсивной термической ионизации. Плазма представляет собой совокупность нейтральных частиц, положительных ионов, электронного газа, квантов света, которые сложным образом взаимодействуют между собой и внешней средой.

В зависимости от степени ионизации *n* — отношения концентрации заряженных частиц к полной концентрации частиц — различают слабоионизированную (*n* — доли процента) плазму; умеренно ионизированную (несколько процентов) и полностью ионизированную (около 100 %).

Техническая плазма активно реагирует на внешние электрические и магнитные поля, что обусловлено ее очень высокой электропроводимостью.

Плазма считается "четвертым" особым состоянием вещества после твердого, жидкого, газообразного. При равенстве ионных и электронных температур плазма называется изотермической.

Плазму принято называть "холодной", если ее температура порядка 10^5 К (низкотемпературная плазма) и "горячей", если ее температура около 10^6—10^7 К (высокотемпературная плазма).

Для напыления покрытий используется холодная плазма [3—5 и др.].

Для реализации технологии упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей плазменным напылением в условиях промышленного производства необходим участок, оснащенный специальным комплексом технологического оборудования.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ УЧАСТОК ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Плазменное напыление покрытий на рабочую поверхность деталей изделий при их упрочнении и восстановлении производится оператором преимущественно вручную, особенно при сложной геометрии напыляемой поверхности и высоких требованиях к качеству покрытий.

Для получения гарантированного высококачественного плазменного покрытия на деталях важно, чтобы производственный участок был соответствующим образом оснащен и оборудован [3, 4, 7—11 и др.].

Основные технико-экономические, санитарно-гигиенические, экологически-эстетические требования, предъявляемые к производственному участку плазменных покрытий:

- участок должен быть расположен на первом этаже вблизи наружных стен производственного здания с обязательным размещением в отдельном помещении или на изолированной площади цеха, при этом свободная площадь, не занятая оборудованием, должна составлять на одного работающего не менее 10 м^2;
- полы участка должны быть несгораемыми, изготовлены из электроизоляционного материала и обладать малой теплопроводностью;
- на участке должен быть размещен комплекс технологического оборудования в соответствии с монтажной схемой энерго-, водо- и газокоммуникаций, в том числе плазменная установка, камера плазменного напыления, камера сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей, автономная система водоохлаждения, система газообеспечения с баллонами газа, камера обезжиривания деталей с локальной вытяжной вентиляцией вредных испарений, система сжатого воздуха, электропечь, сушильный шкаф, вибросито для просева порошков и др.;
- все металлические конструкции на участке должны быть заземлены по контуру заземления медным многожильным проводом сечением не менее 6 мм^2;
- наличие механической общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, монтаж которой выполнен в соответствии с требованиями действующих "Санитарных норм", при этом приточные установки должны быть совмещены с воздушным отоплением при подаче воздуха компактными струями в верхнюю часть помещения или рассеянными струями в рабочую зону оператора, а удаление загрязненного воздуха производится из верхней зоны с обязательным очищением;
- камера плазменного напыления должна быть оборудована автономной мощной вытяжной вентиляцией, предусматривающей сбор порошка в системе типа "Циклон", при этом эффективность вытяжки должна быть не менее 90 % и скорость движения отсасываемого воздуха в зоне выделения вредных веществ не менее 1,5 м/с;
- наличие подвода сетевой магистральной питьевой воды с избыточным давлением в системе не менее 0,4 МПа и расходом воды не менее 48 л/мин;
- наличие подвода сетевого сжатого воздуха с избыточным давлением в системе 0,6 МПа;
- наличие подвода сетевой электроэнергии мощностью не менее 120 кВ · А трехфазного тока с промышленной частотой 50 Гц;
- освещение рабочего места оператора должно быть не менее 1000 лк при системе общего освещения не менее 300 лк;
- интерьер участка, его стены, потолок и внутренние конструкции отдельных помещений должны иметь звукопоглощающую облицовку, окрашены в серый, желтый, голубой тона, поглощающие ультрафиолетовые лучи, обеспечивающие рассеянное отражение света с учетом наименьшего коэффициента отражения;

- участок должен быть оборудован противопожарным постом со штатным инвентарем и средствами тушения пожара;
- недопустимо наличие на участке огнеопасных и легковоспламеняющихся средств и жидких и твердых материалов, хранящихся в открытом виде с нарушением установленных правил противопожарной безопасности;
- баллоны с газами (азотом, аргоном и др.) необходимо устанавливать на расстоянии не ближе 5 м от рабочего места оператора в вертикальном положении с обязательным закреплением, отбор газов производить только через редуктор соответствующего назначения;
- баллоны с водородом устанавливать только с наружной стороны здания в специальной клети, исключая доступ посторонним лицам;
- на участке категорически недопустимо накопление пыли любого происхождения, регулярно производить влажную уборку, соблюдая меры безопасности.

КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Плазменная установка

В комплект плазменной установки входят пульт управления, плазмотрон, порошковый дозатор, источник тока, система газоснабжения с баллонами газа или сетевого снабжения, система водоохлаждения замкнутого цикла с резервуаром для воды, водяным насосом и другими сопутствующими устройствами.

Большинство промышленных отечественных плазменных установок предназначено для ведения процесса напыления в атмосфере воздуха. Процесс напыления производят в специальных камерах, имеющих локальную автономную вытяжную вентиляцию.

В табл. 1 приведены технические характеристики отечественных плазменных установок [3, 4 и др.].

Пульт управления

Пульт управления является оперативным блоком плазменной установки и предназначен для ее включения/отключения в режимах "настройка" и "работа", а также управления рабочими параметрами процесса напыления покрытия, в том числе регулирования тока, напряжения, расходов газа. Он содержит блокировочные схемы, отключающие работу плазменной установки при аварийных режимах (снижение давлений воды, газа и др.).

Широко применяют в технологии плазменного напыления покрытий на детали универсальную плазменную установку УПУ, что обусловлено высокой надежностью и простотой конструкции ее пульта управления. УПУ выпускаются с 1963 г.

Плазмотрон

Плазмотрон является рабочим инструментом любой плазменной установки. Для напыления покрытий при упрочнении и восстановлении рабочей поверхности деталей применяют электродуговые плазмотроны (рис. 1) [3—5 и др.].

Конструкция электродугового плазмотрона содержит следующие основные элементы:

- анодный блок (сопло-анод), изготовленный из бескислородной меди;
- катодный блок (катод изготовлен из термостойкого материала, например лантанированного вольфрама);
- электрический изолятор между анодным и катодным блоками.

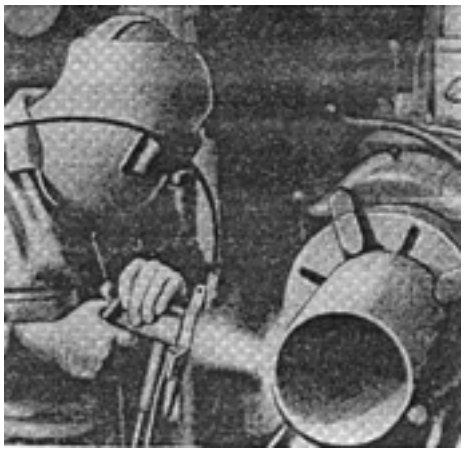
Через изолятор в рабочую разрядную камеру подается рабочий плазмообразующий газ (аргон, азот, их смесь или др.).

Анодный и катодный блоки интенсивно охлаждаются проточной водой.

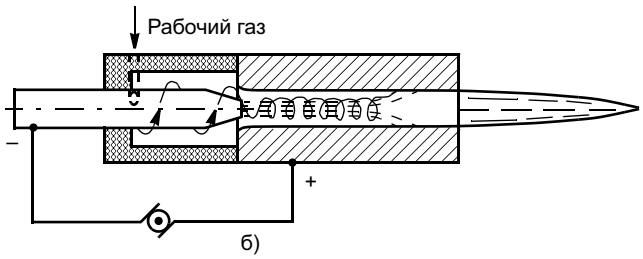
Конструкция сопла-анода плазмотрона определяет длину электрической дуги, ее стабильность горения и скорость истечения плазменной струи и в

Таблица 1

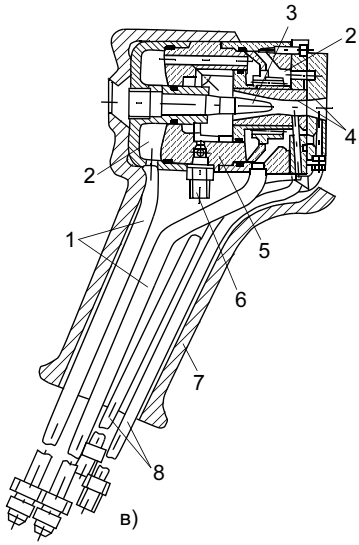
Характеристика	Плазменная установка			
	УПУ-3Д	УПУ-8Д	УМП-7	Киев-7
Мощность плазмотрона, кВт	25	40	39	⩽100
Рабочее напряжение, В	30—100	25—100	160—180	140—260
Ток, А	100—500	100—700	170—200	100—315
Количество порошковых дозаторов	1	2	2	2
Объем дозатора, дм^3	—	4,5	5	5
Максимальная производительность по порошку Al_2O_3, кг/ч	4	5	5	10
Расход газа, м^3/ч:				
плазмообразующего	0,9—6,0	2—4	5,0	3,9—12 (воздух)
транспортирующего	0,2—1,0	0,5—1,5	2,0	—
Масса плазмотрона, кг	0,5	1,1	1,9	2,0
Масса установки, кг	—	2100	870	1150



а)



б)



в)

Рис. 1. Напыление покрытия электродуговым плазмотроном (*а*), принципиальная схема (*б*) и радиальный разрез (*в*): *1* — подвод постоянного тока; *2* — охлаждающая вода; *3* — катод; *4* — анод; *5* — изолятор; *6* — рабочий плазмообразующий газ; *7* — рукоятка; *8* — порошковый материал

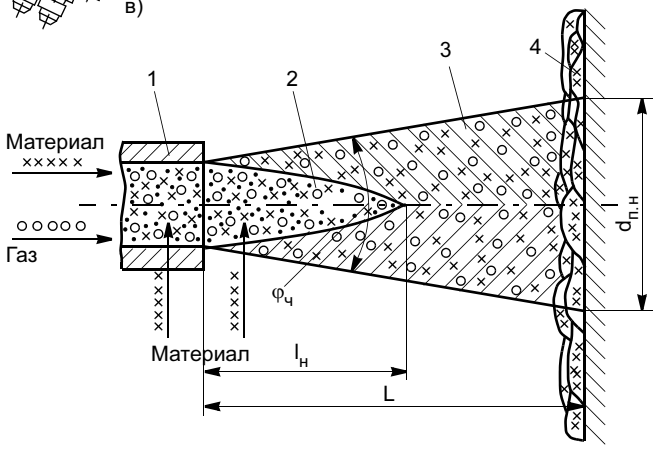


Рис. 2. Обобщенная схема процесса плазменного напыления покрытий (φ — угол расхождения струи): *1* — сопло-анод; *2* — ядро плазменной струи; *3* — основной участок плазменной струи; *4* — напыляемое покрытие

значительной мере тепловой кпд и эффективный кпд процесса нагрева распыляемого порошкового материала.

В табл. 2 приведены характеристики плазмотронов к отечественным плазменным установкам [3].

В электродуговых плазмотронах с самоустанавливающейся длиной электрической дуги канал сопла гладкий и имеет длину в диапазоне 10—30 мм. Для некоторой фиксации длины электрической дуги разрядный канал сопла выполняют с уступом. Для жесткой фиксации положения электрической дуги в специальных плазмотронах применяют секционные сопла с межэлектродными вставками (МЭВ). Наличие секций (5—10 шт.) позволяет сначала растянуть дугу, а затем фиксировать ее активное пятно на выходе из канала — это увеличивает эффективность работы электродугового плазмотрона [3—5 и др.].

Обобщенная схема процесса плазменного напыления покрытий приведена на рис. 2 [3, 4, 11 и др.].

Подача распыляемого порошкового материала осуществляется либо на срез сопла, либо в различные участки плазменной струи.

Эффективность нагрева порошкового материала в плазмотроне и равномерность его распределения по пятну напыления зависят от схемы ввода порошка в плазменную струю (рис. 3, 4). К узкоспециализированным плазмотронам относят конструкции, позволяющие применять в качестве рабочих газов воздух, углеводороды, их смеси и другие среды [3—5 и др.].

К основным параметрам электродуговых плазмотронов относятся его конструктивные параметры:

- диаметр сопла d_c = 3÷8 мм;
- длина канала сопла $l_c = (2÷3)d_c$ — для плазмотронов с самоустанавливающейся длиной дуги;
- длина канала сопла $l_c = (5÷10)d_c$ — для плазмотронов с фиксированной растянутой длиной дуги;
- заглубление электрода (катода) в сопло $l_з$;

Таблица 2

Характеристика плазмотрона	Плазменная установка			
	УПУ-3Д	УПУ-8М	УМП-7	Киев-7
Мощность, кВт	25	40	39	100
Максимальный ток, А	400	700	250	—
Рабочий плазмообразующий газ	Аргон, азот		Азот	Воздух, природный газ
Давление охлаждающей воды, МПа	0,4	0,35	0,35	—
Расход воды, $м^3/ч$	0,6	1,5	0,2	—
Масса, кг	0,5	1,1	1,9	2,0
Ресурс сопла, ч	4	—	—	—

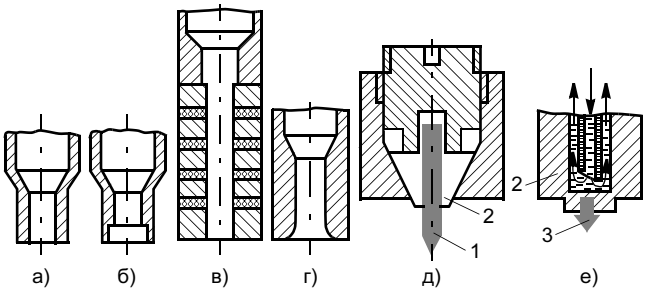


Рис. 3. Схемы конструкций электродных узлов в плазмотронах: *а* — гладкое цилиндрическое сопло; *б* — сопло с уступом; *в* — сопло с МЭВ; *г* — сопло профилированное; *д* — вольфрамовый катод; *е* — катод с циркониевой вставкой; *1* — вольфрамовая вставка; *2* — держатель катода; *3* — циркониевая вставка [3, 4, 9, 12]

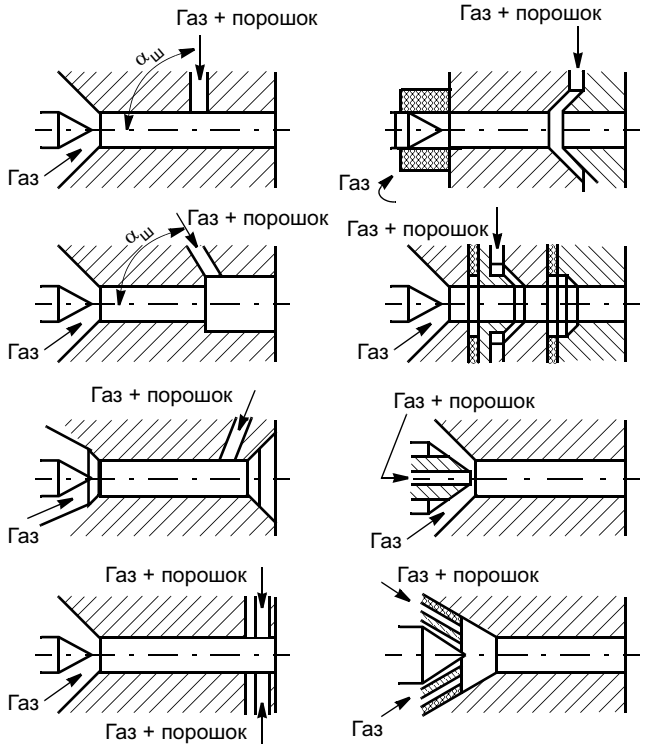


Рис. 4. Схемы ввода порошка в плазменную струю

- профилирование канала сопла для получения ламинарных и сверхзвуковых плазменных струй (см. рис. 3, 4);
- диаметр катода $d_к$;
- угол заточки катода $\alpha_к$;
- диаметр притупления катода $d_{пр}$.

Соотношения указанных размерных параметров плазмотрона определяются опытным путем.

Параметры плазменной струи

Плазменная струя является по существу рабочим инструментом, формирующим покрытие на поверхности детали изделия. Она характеризуется рядом теплофизических и других параметров, к основным из которых относятся [3, 5 и др.]:

- скорость (среднемассовая) истечения плазменной струи на срезе сопла плазмотрона, регулируемая расходом плазмообразующего газа и определяемая из уравнения неразрывности течения и уравнения состояния газа,

$$v_{п.с} = \frac{t_{п.с}}{t_{п.г}} v_{п.г}, \qquad (2)$$

где $v_{п.г}$ — скорость истечения из сопла плазмотрона холодного плазмообразующего газа; $t_{п.г}$, $t_{п.с}$ — температура холодного плазмообразующего газа и плазменной струи соответственно.

Для электродуговых плазмотронов $v_{п.с}$ = = 1000÷1500 м/с;

- энтальпия (среднемассовая) плазменной струи на срезе сопла плазмотрона

$$\Delta H = \frac{W_р \eta_{т.р}}{G_{п.г} K}, \qquad (3)$$

где $W_р$ — мощность, подводимая к плазмотрону; $\eta_{т.р}$ — тепловой кпд плазмотрона; $G_{п.г}$ — расход плазмообразующего газа; K — доля газа, участвующего в плазмообразовании;

- количество теплоты, получаемой напыляемой частицей за время ее полета в плазменной струе,

$$g_ч = \frac{t_{п.г}}{v_{п.с}} \alpha, \qquad (4)$$

где α — коэффициент теплоотдачи;

- среднемассовый состав газа по оси плазменной струи на срезе сопла — превалирует плазмообразующий газ;
- длина высокотемпературного участка плазменной струи (условная длина плазменной струи);
- угол расхождения плазменной струи.

Порошковый дозатор

Порошковый дозатор (питатель) является неотъемлемым элементом плазменной установки. Его назначение — дозированная регулируемая подача порошкового материала в плазменную струю.

Получение равномерной сплошности и равномерной толщины плазменного покрытия на рабочей поверхности детали в первую очередь зависит от надежности работы порошкового дозатора.

Подача порошкового материала из бункера на рабочую поверхность детали осуществляется транспортирующим газом (аргоном, азотом и др.) по следующей блок-схеме: бункер, содержащий просушенный, просеянный, обычной грануляции 0,04—0,10 мм порошок → дозатор, регулирующий количество подаваемого порошка → транспортирующая магистраль (прозрачная гибкая трубка из

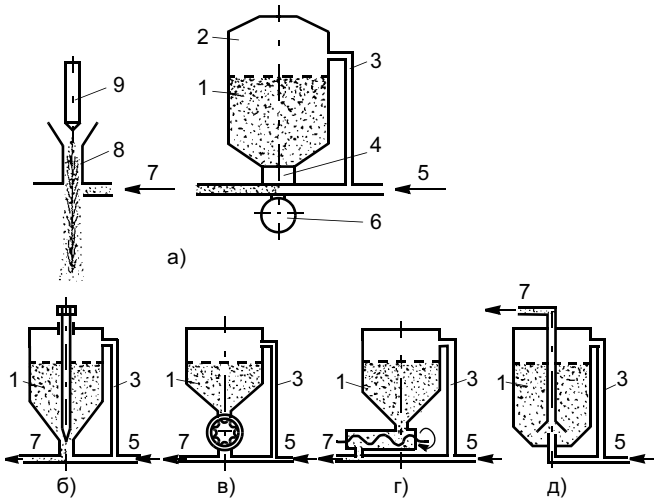


Рис. 5. Принципиальные схемы конструкций порошковых дозаторов (питателей): *а* — обобщенная схема; *б* — с дозирующей иглой; *в* — с дозирующим барабаном; *г* — с дозирующим горизонтальным шнеком; *д* — с дозировкой за счет расхода транспортирующего газа; *1* — порошок; *2* — бункер; *3* — система выравнивания давления газа; *4* — дозирующее устройство; *5* — направление движения транспортирующего газа; *6* — вибратор; *7* — газопорошковая смесь; *8* — сопло-анод плазмотрона; *9* — катод плазмотрона

эластичного материала) → плазменная струя → поверхность детали [3, 4, 10 и др.].

Имеется ряд технических решений конструкций порошковых дозаторов, к основным из которых относятся [3—5, 13 и др.] (рис. 5):

- дозаторы пневматические — порошок транспортируется движущимся под незначительным избыточным давлением газом (аргоном, азотом и др.);
- дозаторы вибрационные — порошок ссыпается в транспортирующую магистраль под действием собственной массы и вибрации, где увлекаемый потоком газа подается в плазменную струю;
- дозаторы механического типа — порошок дозируется движением деталей — роторов, шнеков, дисков, лопастей и других элементов конструкции, которые ссыпают порошок в транспортирующую магистраль, где увлекаемый газом он перемещается в плазменную струю (эффективность работы этих дозаторов зависит от грануляции порошка, частицы которого должны быть не менее 50 мкм, так как мелкие частицы порошка заклинивают зазоры, вследствие чего процесс нарушается).

Во всех конструкциях порошковых дозаторов расход транспортирующего газа ориентировочно составляет 10 % расхода плазмообразующего газа. Транспортирующий газ, попадая в плазменную струю, снижает ее энтальпию и скорость, что заставляет производить его дислокацию непосредственно перед плазменной струей, в результате чего порошок ссыпается в плазменную струю преимущественно за счет сил инерции [4].

Независимо от типа конструкций порошкового дозатора он должен удовлетворять следующим общим требованиям [3, 10 и др.]:

- стабильность подачи порошка в плазменную струю;
- равномерное регулирование скорости подачи порошка в плазменную струю;
- малая масса конструкции дозатора;
- простота, долговечность, компактность конструкции порошкового дозатора;
- возможность дистанционной автоматизации в управлении подачи порошка;
- невысокая стоимость дозатора;
- несложный и недорогой ремонт дозатора в случае отказа в работе;
- высокие эстетические показатели (применение прозрачных материалов).

Повышение надежности и совершенствование конструкции порошкового дозатора до настоящего времени являются актуальной технической задачей [10 и др.].

Параметры порошкового дозатора

К основным параметрам порошкового дозатора относятся [3, 4, 10 и др.]:

- объем бункера для порошковых материалов, дм^3;
- производительность подачи порошкового материала в плазменную струю, кг/ч;
- плавная регулируемость подачи порошкового материала в транспортирующую магистраль.

Источник тока плазменной установки

Для возбуждения электрической дуги в электродуговом плазмотроне служит источник электроэнергии постоянного, переменного или импульсного режима действия. Применяемые в плазменных установках источники постоянного тока различных электрических схем и конструктивных оформлений могут иметь жесткую или крутопадающую внешнюю ВАХ, которая должна быть согласована с ВАХ плазмотрона.

Экономически целесообразно применять для питания электродугового плазмотрона источник тока с крутопадающей ВАХ.

В комплексе технологического оборудования для плазменных покрытий широко используется источник тока ИПН 160/600 с магнитоуправляемыми трансформаторами, позволяющий плавно регулировать рабочий ток в широком диапазоне [3—5 и др.].

К основным достоинствам ИПН 160/600 относятся простота конструкции, надежность в работе,

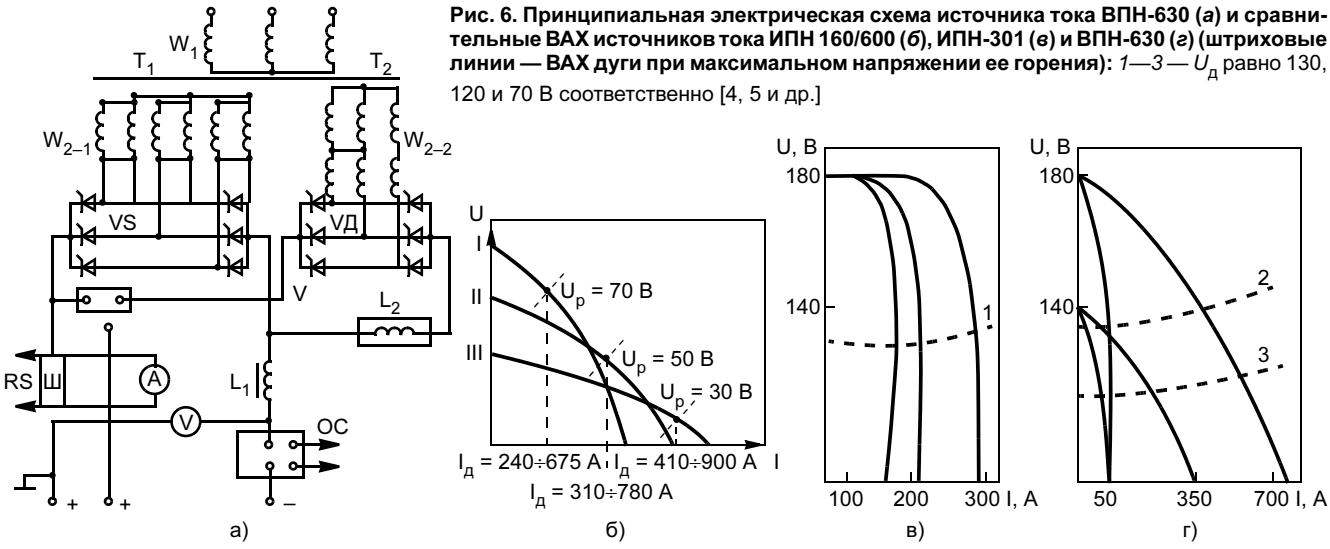


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема источника тока ВПН-630 (*а*) и сравнительные ВАХ источников тока ИПН 160/600 (*б*), ИПН-301 (*в*) и ВПН-630 (*г*) (штриховые линии — ВАХ дуги при максимальном напряжении ее горения): *1—3 — $U_д$* равно 130, 120 и 70 В соответственно [4, 5 и др.]

долговечность (высокий ресурс), невысокая стоимость, легкость в настройке и несложный ремонт. К недостаткам следует отнести отсутствие системы автоматического регулирования.

ИПН 160/600 относится к первому поколению специализированных источников тока для плазменного напыления покрытий. Он преимущественно используется в комплекте плазменной установки типа УПУ.

Для питания током плазменной установки УМП-6 применяют три сварочных преобразователя ПД-502, соединенных последовательно [3—5, 10 и др.].

Таблица 3

Параметр	Источник тока		
	ИПН 160/600	ВПН-630	ИПН-301
Номинальный ток, А	600	630 (I); 315 (II)	315
Напряжение холостого хода, В	80—160	140 (I); 280(II)	⩽180
Пределы рабочего напряжения, В	40—70	30—70 (I) 50—120 (II)	50—130
Пределы рабочего тока, А	200—600	50—700 (I) 50—350 (II)	200—300
Потребляемая мощность, кВ · А	45	120	70
Кпд, не менее	0,73	0,70	0,75
Масса, кг	915	1100	295

Таблица 4

Композиционные экзотермические порошки	Состав
Интерметаллические	(Ni)—(Al); (Ni)—(Ti); (Co)—(Al); (NiCr)—(Al) и др.
Керамические	(Al)—(NiO); (Al)—(MoO_3); (Al)—(WO_3) и др.

Независимо от особенностей конструкции все источники тока, применяемые для плазменного напыления покрытий, должны удовлетворять следующим основным требованиям [3—5, 10, 14 и др.]:

- устойчивость работы при токовых перегрузках;
- высокая надежность и безопасность работы;
- регулируемость напряжения холостого хода в пределах 90—380 В;
- низкий уровень генерируемых радио- и электропомех;
- простота и удобство в обслуживании и ремонте;
- невысокая стоимость.

С 1988 г. отечественная промышленность начала серийный выпуск установок нового поколения типа УПУ-8М и др. В них в качестве источника тока используется ВПН-630 с тиристорным выпрямителем. Принципиальная схема ВПН-630, а также сравнительные ВАХ приведены на рис. 6.

Параметры источников тока для плазменных установок приведены в табл. 3.

Порошковый материал для плазменного напыления покрытий

Основным материалом, применяемым для упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий методом плазменного напыления, является порошок. Применяют порошки как однородные (металлы, сплавы, оксиды, бескислородные тугоплавкие соединения), так и сложной структуры (механические смеси, композиционные порошки, в том числе вступающие при нагревании в экзотермические реакции с выделением тепловой энергии) (табл. 4).

Для напыления покрытий плазменным способом применяют порошки преимущественно грануляции 0,04—0,10 мм. За пределами этого диапазона грануляции процесс плазменного напыления не-

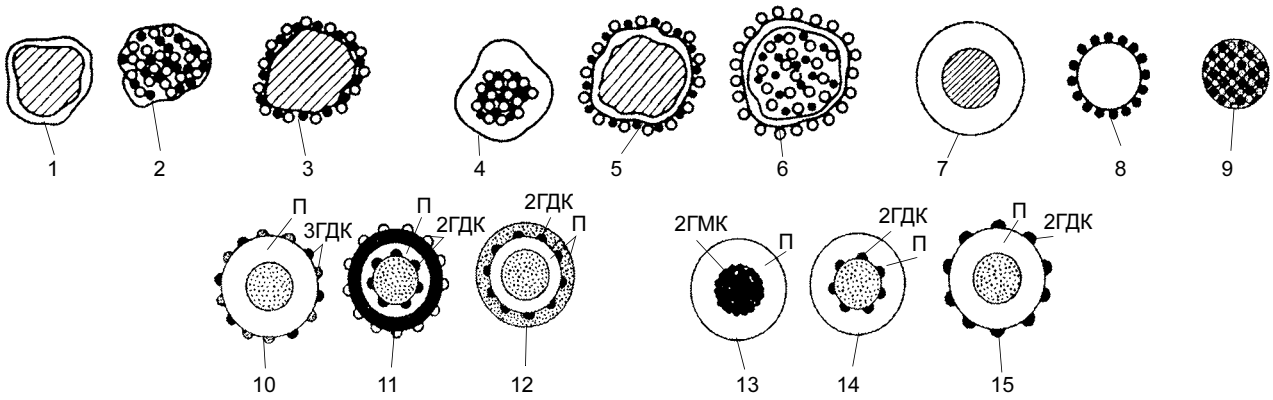


Рис. 7. Схемы конструкций порошковых композиционных частиц (*П* — плакирование; *2ГДК, 3ГДК* — двух- и трехкомпонентное гетеродисперсное конгломерирование, *2ГМК* — двухкомпонентное гомодисперсное конгломерирование): *1*, *3*, *5*, *7* — плакированные; *2*, *8*, *9* — конгломерированные; *4*, *6*, *10—15* — смешанные структуры

эффективен, поскольку частицы малого размера (менее 0,04 мм) испаряются, а частицы размера более 0,10 мм не расплавляются (частичное их оплавление не позволяет получить качественное покрытие).

Основные конструкции композиционных порошков приведены на рис. 7 [3, 4 и др.].

На рис. 8 приведен тепловой эффект композиционных порошков от реакции синтеза [3, 4].

Адиабатическое возрастание температуры напыляемых частиц порошка за счет экзотермической реакции синтеза образующихся соединений находится в соответствии с уравнением [3]:

$$\Delta T_{ад} = Q_э/C_р, \qquad (5)$$

где $Q_э$, $C_р$ — соответственно тепловой эффект взаимодействия компонентов в частице порошка и теплоемкость.

Для начала экзотермической реакции необходимо частицу нагреть до определенной температуры, в зависимости от реагирующих систем до 600—1300 °С.

Параметры порошкового материала

Параметры порошкового материала обусловлены как физико-химическими свойствами самого материала порошка, так и влиянием внешних факторов, в том числе транспортирующего, плазмообразующего газов и др.

К основным параметрам порошкового материала относятся [3, 4, 10 и др.]:

- плотность материала, кг/м^3;
- скорость движения частиц в транспортирующем канале (близка к скорости газа) 2,0—4,5 м/с;
- глубина проникновения частиц порошка в плазменную струю (рис. 9);
- массовый расход порошкового материала 0,25—2,00 г/с, большое количество порошка, подаваемого в плазменную струю, охлаждает ее и снижает эффективность процесса;
- физические свойства транспортирующего порошок газа (вязкость и др.);
- оптимальный расход транспортирующего порошок газа (около 10 % расхода плазмообразующего газа) — при увеличении расхода транспортирующего газа резко снижаются температура, скорость и коэффициент использования порошка (КИП), происходит смещение частиц от оси плазменной струи (см. рис. 9);

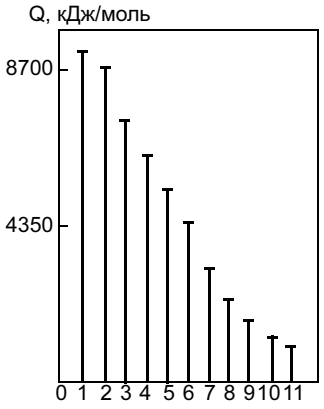


Рис. 8. Тепловой эффект реакции синтеза: *1* — V_2O_2 + Al; *2* — NiAl + O_2; *3* — Al + O_2; *4* — CuO + Al; *5* — CoO + Al; *6* — NiO + Al; *7* — WO_3 + Al; *8* — Cr_3O_2 + Al; *9* — 3Ni + Al; *10* — Ni + Al; *11* — ZrO_2 + Al

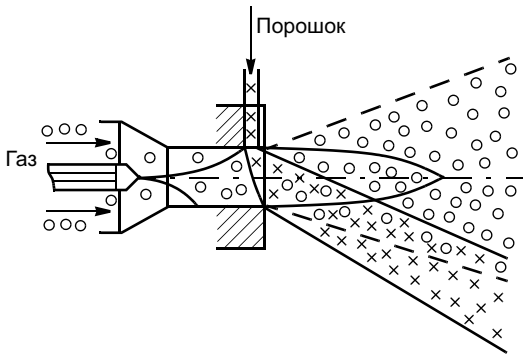


Рис. 9. Схема смещения потока частиц порошка при максимальном расходе транспортирующего газа $G_{т.г}$ [4]

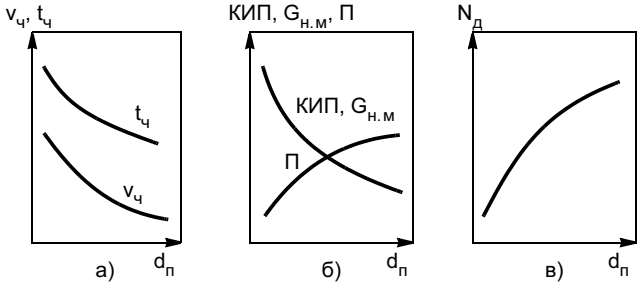


Рис. 10. Зависимость параметров плазменного напыления: скорости $v_ч$ и температуры $t_ч$ частиц (*а*), *КИП*, производительности и пористости покрытия *П* (*б*), мощности дуги N_A (*в*) от диаметра $d_п$ частиц порошка [4 и др.]

- скорость испарения, сублимации и диссоциации порошкового материала, %;
- плотность потока напыляемых частиц по объему;
- скорость движения частиц порошка в плазменной струе 100—500 м/с — при формировании покрытия из расплавленных частиц порошка скорость движения частиц снижается до 200—300 м/с;
- пятно напыления (для отсекания периферийных потоков частиц порошка целесообразно отсекать их экраном);
- суммарная плотность частиц (пористость) по пятну напыления 10^3—10^5 частиц/(см$^2 \cdot$ с), на рис. 10 приведены схематические зависимости параметров процесса от диаметра частиц порошка;
- средняя доля напыляемых частиц порошка в потоке плазменной струи (0,3—7,0)10^{-4} кг/м^3;
- форма и размер частиц;
- текучесть порошка по всему треку передвижения (определяется по ГОСТ 20899—75) (табл. 5);
- коэффициент аккумуляции теплоты порошкового материала (частиц)

$$b = \sqrt{c\rho\lambda}, \qquad (6)$$

где c, ρ, λ — теплоемкость, плотность и теплопроводность порошкового материала соответственно;

- максимально допустимый диаметр частиц порошкового материала

$$d_ч^{max} = 2\sqrt{\frac{a\tau_н}{0,3}}, \qquad (7)$$

где a — коэффициент температуропроводности материала; $\tau_н$ — время нагрева частицы.

Энергетическое состояние частиц порошка в плазменной струе находится в сложной зависимости от большого числа параметров. С одной стороны, это теплофизические свойства материала порошка: плотность, теплоемкость, теплопроводность, теплота плавления, размеры и форма частиц и другие свойства, с другой — это характеристики плазменной струи: скорость и температура, вязкость, теплопроводность и теплосодержание, степень диссоциации и ионизации молекул/атомов газа [3—5, 10, 13, 15, 16 и др.].

Оптимизировать указанные параметры в конкретном технологическом процессе плазменного напыления при упрочнении и восстановлении рабочей поверхности деталей изделий — задача весьма сложная.

Минимальная длина траектории одиночной сферической частицы порошка при движении ее в плазменной струе от среза сопла плазмотрона до напыляемой поверхности детали (за время полета частица расплавится) определяется из соотношения [3]

$$l_{min} C \geqslant d_ч^2 E. \qquad (8)$$

Здесь C — комплекс параметров, определяющих способность плазменной струи нагревать порошок, является энергетической характеристикой процесса:

$$C = \frac{T_г \lambda_г^2}{(1 + X_D)[1 + f(Re)] G_г \mu_г (1 + X_i)}, \qquad (9)$$

где $T_г$, $\lambda_г$, $G_г$, X_i, $\mu_г$, Re — температура, теплопроводность, расход, степень диссоциации, степень ионизации, динамическая вязкость газа, критерий Рейнольдса соответственно; E — комплекс параметров, определяющих теплофизические свойства порошка и равный $\frac{i_{пл}\rho_ч}{273 \cdot 4Nu^2 \pi R_c}$ ($\rho_ч$ — плотность материала порошка, $i_{пл}$ — весовая удельная энтальпия расплава при температуре плавления частицы, Nu — критерий Нуссельта, R_c — радиус сопла анода плазмотрона).

Суммарный параметр трудности плавления порошка определяют из соотношения [4 и др.]

$$П_{т.п} = (i_{пл} - n_q Q_{экз})^2 \rho_ч (1 + 0,2Bi)^2, \qquad (10)$$

где $Q_{экз}$ — удельный весовой экзотермический эффект взаимодействия; n_q — степень использования экзотермического эффекта на участке нагрева материала до его расплавления; Bi — критерий Био.

Таблица 5

Химический состав порошка	Размер частиц порошка, мкм	Текучесть порошка по ГОСТ 20899—75
NiCrBSi	105	16
Mo	44—74	8
W	44—74	8
Примечание. Морфология частиц порошка сферическая.		

Параметр трудности плавления в первом приближении выражает отношение количества теплоты, необходимой для расплавления единицы объема частицы ко времени пребывания ее в зоне нагрева.

Непрерывный процесс совершенствования технологии плазменного напыления покрытий выявляет все больше параметров, в том числе касающихся материала покрытия.

Современная порошковая металлургия производит большое количество разнообразных материалов, при этом разрабатываются новые композиты, что является значительным резервом для получения плазменных покрытий в широком диапазоне специальных функциональных свойств рабочей поверхности деталей изделий [10 и др.].

Оборудование для подготовки порошкового материала для плазменного покрытия

Порошок в состоянии поставки от предприятия-изготовителя необходимо перед плазменным напылением подвергнуть специальной подготовке [10 и др.]:

- просушке в соответствии с требованием технологической инструкции, для этого применяют муфельные печи, сушильные шкафы и др., что обусловлено в основном физическими свойствами материала порошков;
- просеву порошка с целью выделения необходимой для технологического процесса грануляции порошка, обычно 0,04—0,10 мм, для чего применяют вибросито, например мод. 029 с набором стандартных сит.

Камера сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей

Предварительная очистка поверхности деталей от хемосорбционных загрязнений предшествует специальной обработке этой поверхности под плазменное напыление покрытия — созданию регламентированной шероховатости и одновременно активации поверхностного слоя напыляемой поверхности путем насыщения ее различными дислокациями и разрушения межмолекулярных/межатомных связей.

Для этой операции применяют сухую струйно-абразивную обдувку поверхности под напыление. Обдувку производят воздушно-абразивной смесью в специальных камерах с применением пистолета эжекционного типа (рис. 11). Процесс ведут как вручную, так и с использованием механизации. В качестве абразивного агента применяют

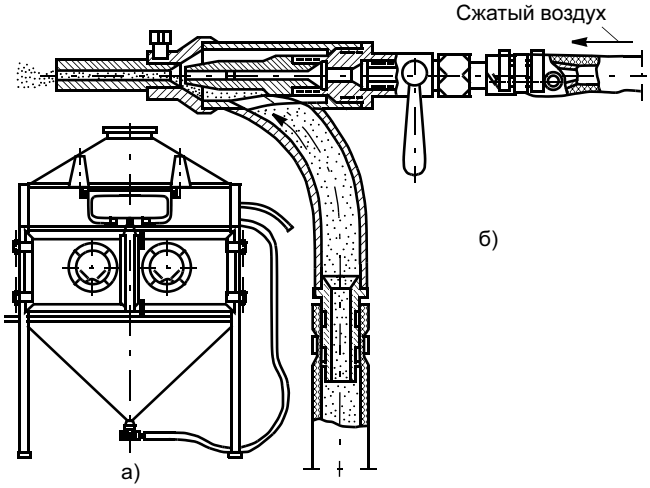


Рис. 11. Камера для сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей (*а*) и эжекционный воздушный пистолет для ручной обдувки абразивной крошкой (*б*)

электрокорунд, карбид кремния, дробь чугунную или стальную колотую и др. Сжатый воздух обязательно должен быть сухой и очищен от примесей.

Основные параметры сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей (ССАОПД)

К основным параметрам ССАОПД относятся [3, 4, 10 и др.]:

- размер зерен абразивного агента 0,3—1,5 мм;
- давление сжатого воздуха 0,4—0,7 МПа;
- дистанция обдува 0,08—0,15 м;
- угол атаки струйно-абразивной струи с обрабатываемой поверхностью 60—90°;
- расход абразивного агента 300—500 кг/ч;
- время обдува в пятне 25—30 с;
- время выдержки детали после обработки до напыления 2—5 ч.

На рис. 11 приведена схема конструкции камеры для ССАОПД и эжекционный воздушный пистолет для ручной обдувки абразивной крошкой [10, 17 и др.].

Струйно-абразивная обработка поверхности детали вносит существенные изменения в поверхностный слой: происходит его насыщение структурными дефектами.

При высоких кинетических энергиях некоторые абразивные частицы в момент удара о поверхность, имея высокие скорости, могут деформироваться и расплавляться, растекаясь по поверхности со скоростью [2]

$$v_р = c[1 + \sqrt{1 + v_ч/c}], \qquad (11)$$

где c — скорость звука в материале абразивной частицы; $v_ч$ — скорость абразивной частицы в момент удара о поверхность.

Напряжение на обрабатываемой поверхности детали, вызванное растеканием абразивных частиц, оценивается как напряжение в пограничном слое жидкого потока:

$$\sigma = \mu(v_л/\delta_л), \quad (12)$$

где μ — коэффициент динамической вязкости расплавленного материала абразивной частицы; $v_л$ — скорость растекания ламинарного слоя; $\delta_л$ — толщина ламинарного слоя.

При струйно-абразивной обработке увеличивается поверхность взаимодействия материала плазменного покрытия с основой, что положительно отражается на адгезионной связи покрытия с основой [5, 10, 16 и др.].

КАМЕРА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

В производственных условиях упрочнение и восстановление рабочей поверхности деталей изделий методом плазменного напыления производят на участке обычно в атмосфере воздуха ($p_a \approx 0{,}1$ МПа) в специальной камере, изготовленной и оборудованной в соответствии с техническим заданием предприятия.

Основные технические характеристики и параметры камеры плазменного напыления покрытия:

- рабочий объем внутренней полости и ее форма определяются в зависимости от геометрических особенностей номенклатуры напыляемых деталей;
- мощность и производительность локальной вытяжной вентиляции;
- механизмы и устройства для закрепления, вращения, перемещения детали при плазменном напылении;
- устройство для закрепления плазмотрона;
- габаритные размеры;
- масса.

Параметры режима плазменного напыления покрытия

Формирование плазменного покрытия на рабочей поверхности деталей обусловлено влиянием многих параметров процесса напыления, к основным из которых относятся дистанция напыления, ток, напряжение дуги, расход порошкового материала, плазмообразующего и транспортирующего газов, скорость перемещения пятна напыления по поверхности детали и др.

Параметры режима регулируются непосредственно оператором [10 и др.].

СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

Функционирование плазменной установки невозможно без принудительного охлаждения проточной водой плазмотрона и источника электрического тока. Эффективность охлаждения плазмотрона и источника тока определяет ресурс плазменной установки. Вода, применяемая для охлаждения, должна быть очищена от примесей. Преимущественно используют дистиллированную воду. Целесообразно для охлаждения плазменной установки применять автономную систему замкнутого цикла. Расход воды через плазмотрон и источник тока составляет 15—30 дм^3/мин. Отбор теплоты от возвратной воды можно осуществлять фреоновым хладагрегатом или радиаторным теплообменником, омываемым проточной водой из магистральной системы водоснабжения [3,4, 10 и др.].

Промышленность выпускает специальный холодильный агрегат УВ-10.

Структурная схема системы водяного охлаждения плазменной установки приведена на рис. 12.

Применение данного оборудования для охлаждения плазменной установки обеспечивает снижение температуры охлаждающей воды в емкости холодильного агрегата до 2 °С.

Для охлаждения плазменной установки может быть использован также холодильный агрегат МХУ-8С [4 и др.].

Параметры водяного охлаждения плазменной установки

К основным параметрам системы водяного охлаждения плазменной установки относятся:

- производительность по расходу воды 15—30 дм^3/мин;
- мгновенное срабатывание системы защиты электропитания плазменной установки в случаях отказов в системе водоснабжения путем релейной защиты;

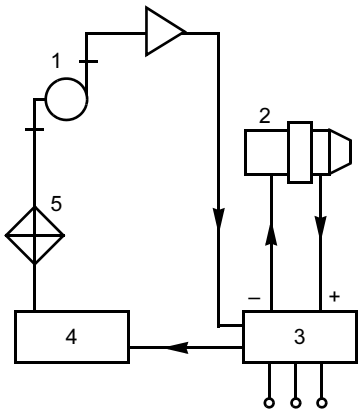


Рис. 12. Структурная схема водяного охлаждения плазменной установки УПУ: *1* — водяной насос; *2* — плазмотрон; *3* — источник электрического тока ИПН 160/600; *4* — резервуар с водой; *5* — холодильный агрегат УВ-10

Таблица 6

Газ	Плотность, кг/м^3	Относительная молекулярная масса, кг	Удельная энтропия ΔH, Дж/моль	Удельная энтропия ΔS, Дж/(моль · К)	Коэффициент теплопроводности $\alpha 10^{-3}$, Вт/(м^2 · °С)	Удельная теплоемкость c, Дж/(моль · К)
Ar	1,78	40,00	155,9	3,88	17,7	0,50
H_2	0,09	2,02	8522,0	180,90	183,0	28,30
He	0,18	4,00	1568,0	30,30	151,0	—
N_2	1,25	28,00	311,2	6,90	24,7	1,04
Воздух	1,30	29,00	300,3	6,80	26,2	1,01

- стабильность и регулируемость рабочего давления воды в системе водоснабжения при наличии контрольных манометров;
- невысокая стоимость комплектующих;
- несложный и недорогой ремонт в случаях отказа в работе системы водоснабжения.

СИСТЕМА ГАЗОПИТАНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

Газопитание плазменной установки осуществляется как от единичных баллонов, так и баллонных рамп. В качестве рабочих газов (плазмообразующих, транспортирующих) применяют аргон, азот, водород и др.

При небольших объемах плазменного напыления применяют сжатые газы в баллонах объемом 40 л под избыточным давлением 15 МПа.

При больших объемах работ плазменного напыления применяют централизованное питание установок жидким аргоном и азотом. Жидкий аргон/азот испаряют газофикатором из емкости, предназначенной для транспортировки этих газов. Образующийся газ по магистральному газопроводу поступает в компрессор и далее в разделительный газопровод. В табл. 6 приведены характеристики рабочих газов для плазменных установок.

В процессе плазменного напыления покрытия используются комбинации указанных плазмообразующих газов в различных пропорциях.

Техника безопасности и экология в технологии нанесения плазменного покрытия

При выполнении работ по напылению плазменного покрытия для упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий оператор должен быть защищен от вредных и опасных воздействий, к которым в первую очередь следует отнести:

- шум, в том числе его высокочастотную составляющую, ультразвук;
- аэроионизацию;
- электромагнитное излучение (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное);
- химические факторы (озон, оксиды азота);
- твердую фазу аэрозоля (металлы, их оксиды, карбиды, бориды, силициды);
- психофизическое напряжение (физическое, эмоциональное);
- электрический ток и др.

От вредного и опасного воздействия оператор и обслуживающий персонал (при плазменном напылении необходимо присутствие не менее двух операторов) должны быть защищены как индивидуальными средствами, так и комплексом соответствующих мероприятий [7, 8 и др.].

Осмотр, ремонт, чистка, наладка оборудования, расположенного на участке плазменного напыления, производят только после полного отключения электропитания. Периодически следует проверять надежность работы блокировочных систем. Запуск плазменной установки в режиме "Работа" производить только после проверки в режиме "Настройка". Систематически необходимо проверять состояние всех коммуникаций (электропроводов, шлангов водо- и газообеспечения и пр.). Недопустимо механическое повреждение электрокоммуникаций и действие высоких температур.

Комплекс всех мероприятий по обеспечению безопасности работ на участке плазменного напыления должен быть отражен в специальных технологических инструкциях, разработанных соответствующей службой предприятия.

ВЫВОДЫ

1. Плазменное напыление широко применяется для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий. К существенным технико-экономическим достоинствам технологии относятся:

- высокая производительность процесса;
- получение высококачественного покрытия, особенно в условиях общей защиты;
- наличие большого количества технологических факторов, варьирование которых обеспечивает гибкое регулирование процесса напыления;
- высокий коэффициент использования порошкового материала;

- широкая доступность метода как в основном, так и ремонтном производстве;
- экономичность;
- невысокая стоимость простейшего оборудования;
- возможность комплексной механизации и автоматизации процесса;
- продление ресурса дорогостоящих деталей (коленчатых валов, подшипников скольжения, поршневых колей и др.);
- уникальная возможность получения рабочих поверхностей деталей с заданными эксплуатационными свойствами;
- универсальность применения порошковых материалов, в том числе с высокой температурой плавления.

2. Метод плазменного напыления покрытий имеет также ряд недостатков, которые по существу являются резервом в совершенствовании технологии, а именно:

- низкий коэффициент использования электроэнергии, по порошкам 0,001—0,020;
- наличие несплошности (пористости) покрытия (2—15 %), в ряде случаев пористость способствует удержанию смазочного материала в покрытии, что эффективно сказывается на работе деталей в условиях сопряженного трения;
- невысокую прочность сцепления покрытия с основой и в самом покрытии — 80—100 МПа;
- высокий уровень шума — 60—120 дБ;
- необходимость использования средств индивидуальной защиты от вредных и опасных воздействий в процессе напыления.

3. Широкое применение плазменного напыления покрытий, особенно для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий широкой номенклатуры, обусловливает необходимость повышения уровня применяемого оборудования и материалов, в том числе:

- повышение надежности и ресурса электродуговых плазмотронов, порошковых дозаторов, камер для напыления и абразивной обработки;
- повышение надежности и эффективности систем водо- и газоснабжения плазменных установок;
- совершенствование технологии плазменного напыления покрытий при расширении номенклатуры напыляемых деталей;
- увеличение номенклатуры применяемых порошковых материалов с целью расширения эксплуатационных свойств плазменного покрытия;
- повышение уровня мероприятий по защите обслуживающего персонала от вредных и опасных воздействий, возникающих в процессе плазменного напыления и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Финкельбург В., Меккер Г.* Электрические дуги и термическая плазма. Пер. с нем. В. Б. Левина, О. А. Малкина, В. Н. Плетнева, Э. П. Хомякова / Под ред. В. А. Фабриканта. М.: Изд. иностр. лит., 1961. 371 с.
2. *Яворский Б. М.* Справочник по физике. М.: Наука, 1975. 944 с.
3. *Бобров Г. В., Ильин А. А.* Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование). М.: Интернет Инжиниринг, 2004. 624 с.
4. *Газотермические* покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
5. *Донской А. А., Клубникин В. С.* Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1979. 221 с.
6. *Кудинов В. В.* Плазменные покрытия. М.: Наука, 1977. 184 с.
7. *Ардасенов В. Н.* Средства индивидуальной защиты работающих. М.: Профиздат, 1990. 112 с.
8. *Средства* индивидуальной защиты рук / М. Л. Брайнина, Л. Т. Климова, И. С. Новожилова, В. В. Шаркова. М.: Профиздат, 1990. 128 с.
9. *Бурьяненко В. Д., Донской А. В., Клубникин В. С.* Промышленное применение процесса плазменного напыления. Л.: Машиностроение, 1979. 221 с.
10. *Мчедлов С. Г.* Совершенствование технологии изготовления поршневых колец на основе применения тангенциальной обработки свободным абразивом поверхности под упрочняющее плазменное покрытие: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2002. 16 с.
11. *Хасуй А.* Техника напыления. Пер. с япон. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
12. *Клубникин В. С., Петухов Э. Г.* Анализ плазмотрона для напыления // Сварочное производство. 1978. № 12. С. 25—27.
13. *Кудинов В. В., Иванов В. М.* Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. 192 с.
14. *Аппаратура плазменного напыления* / Ю. В. Курочкин, Г. А. Строганов, А. М. Гопопольский, Р. А. Васильев // Технология металлообрабатывающего производства. Сер. С-6-3. М.: НИИ машиностроения, 1984. 56 с.
15. *Харламов Ю. А.* Классификация способов газотермического напыления покрытий // Сварочное производство. 1982. № 3. С. 40—41.
16. *Хасуй А., Моригаки О.* Наплавка и напыление. Пер. с япон. В. Н. Попова / Под ред. В. С. Стенина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
17. *Никитин М. Д., Кулик А. Я., Захаров Н. И.* Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей. Л.: Машиностроение, 1977. 168 с.
18. *Денисенко О. Н., Петрова Л. В.* Средства индивидуальной защиты глаз и лица. М.: Профиздат, 1990. 80 с.

УДК 621:658.2

Л. Е. КУРШАКОВ, В. В. МИРОНЕНКО
Общероссийское отраслевое объединение работодателей "Союз машиностроителей России"

Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики

Отсутствие продуманной стратегии переходного периода в процессе реформ 90-х годов прошлого столетия привело к тому, что образовавшийся в результате приватизации государственной собственности частный капитал устремился в основном в добывающие отрасли промышленности, обеспечивающие получение максимально ликвидной продукции, а следовательно, наиболее доходные.

В результате приватизированные предприятия обрабатывающих отраслей промышленности и, в частности, основной ее отрасли — машиностроения, не имея практического опыта деятельности в условиях рынка и оказавшись перед необходимостью решения вопросов самофинансирования при наличии неразвитой финансово-кредитной системы, либо обанкротились, либо осуществляют свою деятельность практически в режиме выживания. Одной из причин такого положения еще действующих предприятий машиностроительного комплекса является то, что большинство из них до сих пор имеет структуру производства и использует технологии, внедренные еще в советский период и рассчитанные на деятельность в условиях плановой экономики. Кроме того, происходит обесценивание капитала в структуре финансовых балансов предприятий (так называемый "спазм ликвидности"), что определяет их низкую кредитную и инвестиционную привлекательность.

В России в настоящее время доля машиностроения в общем выпуске производственной продукции составляет около 20 %, в то время как объем машиностроения и металлообработки в экономически развитых странах (США, Германии, Японии) составляет 36—45 %. Это обеспечивает возможность перевооружения промышленности каждые 7—10 лет.

Сегодня благоприятная конъюнктура мирового рынка, в частности высокие цены на нефть и газ, позволила значительно улучшить макроэкономическую ситуацию — расплатиться с внешним долгом, снизить инфляцию, создать значительный Стабилизационный фонд, накопить впечатляющие золото-валютные резервы и тем самым добиться определенной экономической и политической стабильности. В этой связи вполне обоснованным и своевременным представляется принятый руководством страны курс на создание конкурентоспособной, динамичной, диверсифицированной и инновационной экономики России на базе обрабатывающих отраслей промышленности, и в частности на базе ускоренного развития машиностроительного комплекса.

На сегодняшний день основными общими проблемами машиностроительной отрасли являются:

— наличие избыточных производственных мощностей, как правило, с устаревшей конфигурацией и архитектурой производственных зданий (излишние габаритные размеры, высокая энергоемкость, низкая ремонтопригодность и т. п.) и, соответственно, крайне высокие издержки на их содержание;

— морально устаревшая инфраструктура производственных мощностей (промышленные коммуникации, внутризаводская транспортная и складская система (внутренняя логистика), экологическая безопасность, санитарные нормы и требования (охрана труда), техника безопасности и т. п.);

— морально устаревшая система управления предприятием;

— слаборазвитая система производственной кооперации (промышленный субконтрактинг), особенно в форме малого и среднего бизнеса;

— критический моральный и физический износ оборудования и технологий;

— отток квалифицированных кадров;

— слаборазвитая система менеджмента качества (несоответствие международным стандартам

качества, включая систему контроля, техническое регулирование, культуру производства);

— дефицит денежных ресурсов (низкая кредитная и инвестиционная привлекательность предприятий) для реализации программ стратегических преобразований, в том числе внедрения передовых управленческих и организационно-технических решений, модернизации производственной инфраструктуры, подготовки и привлечения квалифицированных кадров, разработки и освоения новых видов конкурентоспособной продукции;

— недостаток опыта и ресурсов для формирования эффективной маркетинговой (сбытовой) политики, особенно на рынке наукоемкой продукции;

— недостаточно развитая (вплоть до полного отсутствия) система сервиса и технической поддержки выпускаемой продукции в течение всего жизненного цикла изделия;

— реальные угрозы несанкционированных действий со стороны третьих лиц: инициация банкротства, рейдерство, дискредитация на рынке и в обществе и т. п.;

— неравные условия конкуренции на рынке с зарубежными производителями аналогичной продукции (как следствие изложенных выше проблем).

Основным условием решения проблем машиностроительного комплекса является формирование эффективной промышленной политики как неотъемлемой части экономической политики государства, направленной на достижение адекватного позиционирования российского машиностроения в условиях рыночной экономики и его интеграции в мировое экономическое пространство с достижением паритета с ведущими производителями наукоемкой, высокотехнологичной продукции на мировом рынке, в том числе с учетом сложившегося международного разделения труда.

Вполне понятно, что задачи подобного масштаба в одночасье не решаются. Необходима разработка четкой концепции развития машиностроительного комплекса в рамках диверсификации экономики с рассмотрением возможности придания этой концепции в процессе ее детализации статуса национальной программы. В настоящее время основные стартовые площадки инновационного роста промышленности сосредоточены в оборонно-промышленном комплексе (ОПК) страны. Именно поэтому ОПК уже сделал существенные шаги в своем развитии: созданы авиационный и судостроительный холдинги, в стадии завершения находится создание госкорпорации "Российские технологии", которая объединит предприятия как ОПК, так и гражданские. Такое объединение вполне логично: ускоренное развитие оборонных отраслей промышленности на практике придает мощный импульс и развитию гражданских отраслей. Ведь в процессе научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок продукции оборонного назначения подчас получаются результаты, которые с успехом используются и в гражданском машиностроении.

С другой стороны, предприятия гражданского комплекса (включая малые и средние) в состоянии успешно выполнять заказы на производство отдельных видов продукции (некоторых комплектующих, запчастей и т. п.), необходимых оборонным предприятиям, высвобождая тем самым для них дополнительные производственные мощности.

В этой связи при разработке данной концепции развития машиностроительного комплекса необходимо учитывать взаимосвязь и взаимные интересы как оборонных, так и гражданских отраслей обрабатывающей промышленности.

Рассматривая проблему диверсификации экономики, нельзя не затронуть и социальный аспект предстоящих преобразований.

К сожалению, перекосы в структуре экономики, явившиеся результатом реформ начала 90-х годов прошлого столетия, не смогли не сказаться и на социальной сфере. Развал обрабатывающих отраслей промышленности привел к значительному сокращению рабочих мест, явной и скрытой безработице, невыплате зарплат, обнищанию большого числа граждан страны, огромной дифференциации доходов богатых и бедных слоев населения. Все это создало такую ситуацию в обществе, при которой рядовые граждане перестали доверять власти, разуверились в правильности проводимых государством реформ, результатом чего является политическая и гражданская пассивность населения России, что с очевидностью наблюдается сегодня.

В то же время диверсификация экономики страны, подъем обрабатывающих отраслей промышленности, и в частности машиностроительного комплекса, — задача стратегическая, масштабная, которая требует мобилизации усилий и государства, и частного бизнеса, и всего общества. Именно поэтому сегодня требуется активная разъяснительная работа, касающаяся предстоящих преобразований в экономике. Представляется, что эта работа должна вестись не только через СМИ, но также с использованием возможностей общественных организаций (профсоюзов, политических партий, союзов работодателей, иных общественных объединений). В частности, необходимо активизировать деятельность такого института социальной политики, как социальное партнерство.

Социальное партнерство — инструмент, с одной стороны, достижения общественного согласия, с другой — оптимизации политико-административного управления, использование которого утверждает основы истиной демократии, взаимной ответственности власти, бизнеса и общественности за развитие страны. Таким образом, социальное партнерство как фактор, благоприятно воздействую-

щий на процессы сохранения политической стабильности, динамичного развития социальной сферы, формирования открытого демократического гражданского общества приобретает в современных условиях осуществления рыночных преобразований в России особую актуальность.

Первые шаги в активизации института социального партнерства уже предпринимаются. 27 апреля 2007 г. состоялся четвертый внеочередной съезд Союза работодателей машиностроения России, на котором был принят новый устав, максимально отвечающий задачам предстоящего реформирования машиностроительной отрасли, избраны новые руководящие органы. Одновременно союз был переименован в Общероссийское отраслевое объединение работодателей "Союз машиностроителей России".

В новом уставе в качестве основных целей деятельности союза выделены "объединение усилий работодателей по созданию и эффективному функционированию системы социального партнерства, участию в проведении переговоров, подготовке, заключении и исполнении соглашений, коллективных договоров с профсоюзами, а также координация действий работодателей по реализации обязательств, принимаемых по этим соглашениям и договорам", участие в создании "конкурентоспособной, динамичной, диверсифицированной и инновационной экономики России на базе отечественного машиностроительного комплекса".

Исходя из изложенного понимания происходящих изменений в социально-экономической сфере, союз приступил к разработке "Концепции развития российского машиностроения и других видов наукоемких производств". Первые шаги в разработке "Концепции" показали, что ряд проблем развития машиностроительного комплекса имеет дискуссионный характер, выявляет подчас прямо противоположные мнения о путях и возможностях их решения. В этой связи союз приглашает к обсуждению проблем машиностроения в СМИ и на интернет-сайте союза WWW.SRMR.RU всех заинтересованных лиц, занятых в сфере машиностроительного комплекса.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 621.791:658.386

В. В. КАРЕЗИН
МГУ им. М. В. Ломоносова

Выбор вуза — служба занятости или центр развития карьеры?

В настоящий момент развитие рынка образовательных услуг все еще продолжает идти экстенсивным путем. Увеличивается число студентов, вводятся новые специальности, открываются новые факультеты со все более громкими и модными названиями. Тому не мало способствует развитие ряда отраслей экономики — производство товаров народного потребления (FMCG), консалтинг, IT, нефтегазовый сектор, инвестиции, розничные и оптовые продажи и др. С другой стороны, значительное количество выпускников традиционно сильных естественно-научных и технических факультетов оказываются невостребованными на рынке труда. Это вынуждает их работать не по специальности либо переучиваться, что негативно сказывается на популярности высших учебных заведений.

Еще одна угроза — давление со стороны частных вузов. Пока они ориентированы в основном на гуманитарный и экономический профиль подготовки и проигрывают государственным вузам в подготовке элитных молодых специалистов. В рейтингах, составленных на основании мнений работодателей, первые места занимают традиционно котирующиеся государственные вузы, сделавшие ставку на фундаментальность подготовки. Но, возможно, это пока...

Кроме того, спад рождаемости в период 1991—1999 гг. отразится в ощутимом снижении числа выпускников школ между 2008 и 2016 гг. В условиях продолжающегося роста предложения на рынке образовательных услуг это может привести к исчезновению конкурса при приеме в вуз

и, как следствие, — резкому падению качества образования.

Совокупность всех этих факторов ставит вузы перед необходимостью разрабатывать новые конкурентные преимущества, в частности, оказание содействия в трудоустройстве. Неслучайно, что наличие такой помощи со стороны вуза вчерашние школьники оценивают высоко, иногда даже выше, чем, например, сильный профессорско-преподавательский состав. Требования абитуриентов вполне логичны — образование не ради самого образования, но ради хорошей работы.

В ответ вузы создают специальные подразделения. По РФ их более 300 — службы занятости, отделы практик и трудоустройства, центры развития карьеры и т. д. Деятельность всех подразделений укладывается между двумя полярными формами — от отделов содействия трудоустройству до кадровых агентств. Различаются они по отношению к клиенту. Для кадровых агентств клиент — это работодатель, и он финансирует и определяет в конечном итоге деятельность подразделения. Для отделов содействия трудоустройству или служб занятости вузов главным клиентом является сам студент, который через самостоятельную оплату своего обучения в вузе или через бюджет финансирует эти структуры.

На практике направления деятельности носят многоплановый характер — консультирование по вопросам профориентации и трудоустройства, мониторинг рынка труда, организация презентаций работодателей, дней карьеры и ярмарок вакансий, рекрутинг и ресечинг и т. д., совокупность которых позволяет позиционировать вузовское подразделение ближе к той или иной форме. Так, если рассмотреть названия подобных подразделений вузов Москвы и Московской области, то получим следующую картину: комиссия/деканат/управление — 8, служба — 7, отдел/подразделение — 27, центр — 16, агентство — 2.

Надо сказать, что кадровые агентства не приживаются в вузе. Рентабельность подбора кандидатов из числа выпускников низка из-за небольших зарплат на стартовых позициях, исходя из которых, рассчитывается гонорар. Даже если агентство по договоренности с вузом имеет возможность платить низкую арендную плату либо имеет доступ к базам данных выпускников, то остается угроза ухода подготовленных сотрудников в более серьезные кадровые агентства. Сказывается также необходимость выполнять часть социально значимых для вуза проектов, на которых денег не заработаешь. Однако кроме рекрутинга еще есть варианты коммерческой деятельности — проведение ярмарок вакансий, презентаций, предоставление резюме выпускников и др. Важно только, чтобы работодатели не испытывали дифференциации по принципу заплатил/не заплатил. От такого подхода в первую очередь будут страдать студенты.

Еще один вопрос, который часто задают, — что для вуза полезнее: центр содействия трудоустройству или центр развития карьеры? Существует мнение, что ведущие вузы Москвы, да и других крупных городов России, не имеют проблем с трудоустройством выпускников. Да, это так. Действительно, в Москве число вакансий в 3—4 раза превышает число зарегистрированных безработных. Вопрос в том, какие это вакансии и на сколько заработная плата соответствует ожиданиям кандидатов.

Опасность парадигмы содействия в трудоустройстве выпускникам вуза заключается еще и в том, что следом возникает вопрос о структуре учебных курсов. Выпуск специалистов, которые не востребованы на рынке, ведет к трате дополнительных средств на переподготовку и адаптацию выпускников.

Таким образом, постановка вопроса о развитии карьеры во многом выигрышнее, поскольку во главу угла ставится раскрытие потенциала выпускника, развитие его профессиональных планов. В эту концепцию хорошо укладывается коррекция образования и получение дополнительного образования, перед необходимостью которых часто оказываются выпускники технических и естественно-научных вузов. Тем более что по прогнозам, в условиях ускоряющегося темпа развития экономики за свою жизнь мы вынуждены будем в среднем 5—7 раз менять работу, специальность и даже профессию. Уже сейчас многие компании приглашают студентов престижных вузов на работу независимо от факультета, который они окончили. Главное — сильное базовое образование, все остальное — технологии построения карьеры.

Интересна в этом плане деятельность Центра развития карьеры Массачусетского технологического института (MIT Careers Office). Миссия центра — помогать студентам на всех ступенях обучения в профориентации, построении карьеры, в возможностях трудоустройства, а также в выборе дополнительных учебных программ и стажировок, повышающих их квалификацию. Соответственно предлагаемые сервисы:

- прием посетителей;
- индивидуальные собеседования;
- семинары;
- тренинги интервью;
- листинг практик/вакансий on-line;
- профессиональные консультации;
- обучение за рубежом;
- презентации работодателей;
- истории успеха;
- ярмарки вакансий;
- on-line библиотека по карьере.

Деятельность MIT Careers Office не ограничивается только трудоустройством. Формы работы многообразны:

- выбор учебных курсов;
- практики и стажировки;
- связь со студентами, преподавателями и профессиональными сообществами;
- научно-исследовательские проекты;
- консультации выпускников;
- технологии построения карьеры;
- обучение за рубежом;
- общественная нагрузка.

Характерна последняя форма. Дело в том, что работодатели выбирают выпускников вузов, которые имеют одинаковые дипломы государственного образца, на основании наличия компетенций: мотивации, умения работать в команде, навыков общения, нацеленности на результат, способности к творчеству, умения лидировать и т. д. Компетенции — это то, чему не во всех вузах учат. А раньше учили. Каждый студент был обязан нести общественную нагрузку — работать в комитете комсомола, студкоме, профкоме, отвечать за спорт, стенгазету, агитбригаду... А если вспомнить мощную систему подготовки советских менеджеров: октябрята — пионеры — комсомольцы — партийные работники? Если не брать во внимание идеологию, то возможность проявить свои способности в управленческой практике была у каждого с юных лет. Работу в профкомах, стройотрядах также можно рассматривать как школу деловых навыков.

Часто основой системы трудоустройства вуза пока остается работа выпускающих кафедр. Безусловно, эта деятельность вносит неоценимый вклад в формирование молодежного рынка труда. Однако все больше создается специализированных подразделений, которые транслируют в вуз новые технологии поиска работы, связи с работодателями, построения карьеры. В какой форме они организованы и какие задачи они решают — оказывают содействие в трудоустройстве или помогают строить карьеру своим выпускникам — это и есть выбор вуза.

Следует отметить, что на весенних и осенних ярмарках вакансий в MIT бывают около 400 компаний-работодателей, а студенты и аспиранты посещают офис MIT Careers Office уже с первого курса.

Публикуется на правах рекламы

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.791:061.2/.4

1-я Международная конференция и выставка "Соединение алюминиевых конструкций"

3—5 декабря 2007 г. в Москве прошла 1-я Международная конференция и выставка "Соединение алюминиевых конструкций", организованная компанией "Алюсил МВиТ" (Россия).

Само название конференции предопределило интерес к ней разработчиков методов и средств для получения неразъемных и разъемных соединений, а также производителей алюминиевых изделий в различных отраслях промышленности — аэрокосмической, судостроительной, строительстве и др. В конференции приняли участие представители 14 стран: России (более 50 человек), Германии (5), США (4), Австрии (3), Польши (3), а также делегаты из Украины, Белоруссии, Италии, Франции, Великобритании, Бельгии. В работе конференции участвовали более 30 компаний.

Большой интерес к конференции вызван двумя обстоятельствами: бурным ростом в последние годы объемов производства алюминиевых металлоконструкций, а также тем, что практически любое изделие содержит в своей конструкции те или иные виды соединений, ответственные за работоспособность изделия.

На конференции рассматривали широкий спектр вопросов — от разъемных (болтовых, заклепочных и др.) соединений до соединений лазерной, гибридной лазерно-дуговой сваркой и сваркой в твердой фазе. Большому разнообразию современных процессов соединения алюминиевых конструкций был посвящен доклад на пленарном заседании S. Mueller (Italian Welding Institute, Италия). А. Я. Ищенко (Украина) в своем сообщении отметил разнообразие научно-технических направлений в разработках ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки алюминиевых конструкций. С интересом был заслушан доклад В. В. Садкова (Россия) о применении различных видов высокоресурсных соединений алюминиевых конструкций в самолетах ОАО "Туполев". Затронутые в этих докладах вопросы актуальны для разработчиков и производителей конструкций летательных аппаратов.

В ряде докладов прозвучали сообщения о соединениях в ответственных алюминиевых конструкциях наземных сооружений и транспорта. Оживленная дискуссия развернулась после докладов G. Destefani (Alcan, Швейцария) и А. Д. Конюхова (ВНИИЖТ, Россия) по соединениям алюминиевых конструкций железнодорожных вагонов, а также доклада T. Siwowski (Rzeszow University of Technology, Польша) о соединениях алюминиевых конструкций мостов.

Содержательные доклады представили В. Н. Иванов (ВНИИТВЧ им. В. П. Вологдина, Россия) — о технологии и оборудовании для высокочастотной сварки алюминиевых труб, И. И. Дьяков (фирма "ТАСПО-Радиатор", Белоруссия) — об особенностях изготовления алюминиевых теплообменников из оребренных плоских труб, Ф. Л. Конопелько (ООО "Газхолодтехника", Россия) – изготовлении алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников методом бесфлюсной вакуумной пайки. Участники конференции посетили ООО "Газхолодтехника", оснащенное современным автоматизированным оборудованием, где ознакомились с производством паяных теплообменных аппаратов.

В. И. Павлова (ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей", Россия) представила технологию соединения давлением при получении биметалла алюминий — сталь для производства корпусных конструкций судостроения, а Я. Л. Соломоник ("ВИЛС", Россия) рассказал о многослойных материалах из алюминиевых сплавов в комбинации с другими материалами, получаемых методом плоской прокатки.

Большой интерес и активное обсуждение вызвали научно-технические сообщения о перспективных процессах — аргонодуговой сварке пульсирующей дугой (M. Loehr, Dajhen Corporation, Германия), сварке динамической плазмой (Н. Кудряшов (ТЦ "Тена", Россия), лазер-гибрид-сварке (H. Staufer, Fronius International GmbH, Австрия) и сварке трением с перемешиванием (FSW) (M. J. Skinner, MTS Systems, USA; G. Jan, VJTO Laser Centre Flanders, Бельгия; A. Kostka, Max-Plank-Institute, Германия). По последнему процессу сварки развернулась особенно активная дискуссия. Ее участники высоко оценили возможности данного процесса, а также энергию, с которой разработчики в сравнительно короткий срок внедрили его в производство алюминиевых конструкций во многих промышленно развитых странах.

С интересом был выслушан обстоятельный доклад д-ра техн. наук О. И. Стеклова (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина) "Механо-коррозионная прочность сварных конструкций из алюминиевых сплавов", а также доклады по неразрушающим методам контроля сварных алюминиевых конструкций А. С. Резепкина (НТЦ "Кропус", Россия) и М. Ю. Якунькина (GE Inspection Technologies, Россия).

Участники конференции отметили ее высокий научно-технический уровень и практическую направленность.

2-ю Международную конференцию "Соединение алюминиевых конструкций" предполагается провести во второй половине 2009 г. в Словении. С подробной информацией можно ознакомиться на сайте www.alusil.ru.

д-р техн. наук М. М. Штрикман

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке[1]

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (№ 7, 2007, Польша)

Nowacki J. Исследовательская лаборатория структуры материалов и механических свойств, аккредитованная технологическим университетом г. Щецина. P. 7—12.

Nowacki J., Szefner Z. Обучение инженеров-сварщиков в технологическом университете г. Щецина в соответствии с международными тенденциями глобализации образования. P. 13—19.

Zebrowski M. Расчет прочности сварных соединений. P. 20—24.

Nowacki J. et al. Сварщики и их достижения на фирме "СТАЛКОН". P. 28—32.

Nowacki J. et al. Выпускники Щецинского технологического университета по специальности инженера-сварщика на фирме "ФИНОМАР". P. 33—37.

Majda P. Проблемы современного состояния клеевых соединений стальных компонентов. P. 38—43.

(№ 8, 2007, Польша)

Dąbrowski R. et al. Кинетика фазовых превращений недоохлажденного аустенита в новой конструкционной стали. P. 5—8.

Wysocki J. Влияние наличия циркония и скандия в присадочном материале на структуру соединения литого композиционного материала AlSi/SiC(p), выполненного ТИГ-сваркой. P. 9—12.

Ossowski M. et al. Структура и свойства слоистых композиционных материалов: титановый сплав — интерметаллические фазы системы Ti—Al. P. 13—16.

Tasak E. et al. Способы зарождения и роста зерен в процессе кристаллизации сварных соединений. P. 17—21.

Lachowicz M., Zeman M. Влияние термического цикла сварки на микроструктуру и возникновение трещин в суперсплаве инконеля 713C. P. 22—27.

Skorupa A. et al. Трибологические испытания многослойных соединений из бронзы CuSn6, наплавленных на стальную основу МИГ-сваркой. P. 28—33.

Wojsyk K. Испытания наплавленных слоев и определение линейной энергии процесса сварки с помощью термовидеокамеры V-20 фирмы VIGO. P. 34—38.

Kalita W. et al. Стойкость против коррозии сварных соединений магниевых сплавов, выполненных лазером. P. 39—42.

Gajewski M. et al. Испытания стеллитовых наплавленных слоев на уплотняемую поверхность арматуры. P. 43—48.

Wysocki J. Механические свойства соединений из литого композиционного материала AlSi/SiC(p), выполненных с помощью ТИГ-сварки с использованием присадочных материалов Al—Mg, Al—Mg—Zr и Al—Mg—Zr—Sc. P. 49—53.

Podrez-Radziszewska M. et al. Сварка силумина, используемого для изготовления дисков автомобильных колес. P. 54—57.

Mirski Z. et al. Сварка меди и аустенитной стали 1H18N10T с помощью ТИГ-сварки. P. 58—63.

Thomas A. et al. Роботизированная установка для дуговой сварки TAWERS с использованием процессов SP—МАГ и ТИГ. P. 64—67.

Haduch J. Оценка процесса дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе на основе коротких замыканий. P. 68—71.

Pietras A. et al. Стыковая сварка толстолистового материала из сплавов алюминия серии 2000 с помощью сварки трением с перемешиванием. P. 72—78.

Jakubowski J., Senkara J. Контактная точечная сварка дуплексной коррозионно-стойкой аустенитно-ферритной стали 2205. P. 79—82.

Klimpel A., Kik T. Установка для роботизированной ТИГ-сварки с помощью присадочного материала в виде проволоки. P. 83—89.

Klimpel A. et al. Контактная точечная сварка листового материала из титанового сплава Ti—6Al—4V. P. 90—93.

[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).

Zadroga L. et al. Контактная сварка систем внутренней электропроводки для автомобильной промышленности. P. 94—97.

Babul T. Некоторые аспекты формирования аморфных покрытий на основе никеля с помощью технологии детонационного нанесения покрытий. P. 98—101.

Górka J., Krysta M. Качество поверхности стали после резки с использованием воздушно-плазменной, лазерной резки и водяной струи. P. 102—106.

Klimpel A. et al. Лазерная наплавка с одновременной подачей цельной проволоки и порошка. P. 107—111.

Zórawski W. Свойства карбидных покрытий, полученных с помощью процесса высокоскоростного газопламенного напыления. P. 112—115.

Górka J. et al. Влияние подготовки поверхности на качество покрытия, выполненного с использованием процесса газопламенного порошкового напыления. P. 116—120.

Depczyński W. et al. Нанесение защитных оцинкованных покрытий. P. 121—124.

Hejwowski T., Weroński A. Стойкость наплавленных покрытий против абразивного и эрозионного износа. P. 125—127.

Gajewski M. et al. Ремонт дефектов в отливках из Cr—Ni—Cu-стали, упрочненных с помощью специального метода. P. 128—131.

Matusiak J., Pfeifer T. Новые возможности снижения количества сварочных дымов и повышения производительности сварки на основе исследований в рамках европейского проекта ECONWELD. P. 132—138.

(№ 9, 2007, Польша)

Материалы Международной научно-технической конференции, Вроцлав, 2007, 2-я ч.

Rozanski M., Gawrysiuk W. Сваркопайка МИГ/МАГ — оцинкованная листовая сталь и примеры групп трудносвариваемых материалов. S. 7—12.

Winiowski A. Высокотемпературная пайка металлов — разработка расходуемых материалов, технологий и стандартизация. S. 13—18.

Krawczyk R., Plewmak J. Новое применение индукционной высокотемпературной пайки. S. 19—21.

Baranowski J. et al. Применение припоя AMS4777 (BNi-2) для высокотемпературной пайки ответственных компонентов. S. 22—25.

Klimpel A. et al. Плазменная сварко-пайка дугой прямого действия стыковых соединений автомобильных кузовов из оцинкованных стальных листов. S. 26—31.

Gruszczyk A., Sędek B. Стойкость против коррозии соединений оцинкованной стали, выполненных сварко-пайкой. S. 32—36.

Maieran E. Лазерная пайка в моторостроении на примере соединения крыш со стенками Фольксвагена Кедди. S. 37—40.

Dębski A. SURDAT — база данных физических свойств бессвинцовых припоев. S. 41—44.

Mirski Z. Напряжения и деформации в паяных соединениях из спеченных карбидов и стали. S. 45—50.

Peter H. Индукционная высокотемпературная пайка — старая технология соединения с новейшим потенциалом. S. 51—56.

Frąckowiak E., Mroziński W. Применение газопламенной пайки в производстве автомобильных теплообменников из алюминия. S. 57—62.

Klimpel A. et al. Технология лазерной пайки коррозионно-стойкой стали. S. 63—70.

Wilden J. et al. Новый метод соединения с учетом влияния размеров. S. 71—76.

Wilden J. et al. Бесфлюсовое соединение облегченной конструкции с использованием приборов для контроля короткой дуги. S. 77—81.

Bielanik J., Zukowski J. Методы термической обработки в процессе вакуумной пайки компрессорных рабочих колес, изготовленных из мартенситных сталей. S. 82—88.

Potapczyk A., Bielanik J. Применение технологии вакуумной пайки в процессе производства деталей машин из дуплексной стали. S. 89—94.

Schwarz L. Непрерывная конвейерная печь для высокотемпературной пайки в защитной атмосфере. S. 95—98.

Bukat K. et al. Исследование смачиваемости медных подложек бессвинцовыми припоями. S. 130—134.

Poradka A. Изучение и устранение основной причины сплавления в паяном соединении труб авиационного двигателя. S. 135—137.

Paśkov I., Paśkov A. Вакуумная пайка карбида с коррозионно-стойкой сталью с помощью медно-марганцевого припоя. S. 138—141.

Czechowski K. et al. Склеивание рабочих деталей инструментов как альтернативная технология по отношению к пайке. S. 142—145.

Leończyk M. Новый композиционный припой 49/Cu^{plus} — проверенный способ достижения высокого качества кольцевых режущих дисков. S. 146—148.

Derlukiewicz W., Bartnik Z. Пайка погружением в расплавленную соль алюминия и алюминиевых сплавов. S. 149—152.

Drzemek H., Hoen H. Бессвинцовые низкотемпературные припои и высокотемпературные припои, не содержащие кадмия, и их области применения. S. 153—154.

(№ 10, 2007, Польша)

Menzel M. Высокоскоростной процесс — метод, позволяющий расширить потенциальные возможности традиционного метода МАГ-сварки. S. 3—5.

Duda D., Litwin W. Катамаран на солнечной энергии "Energa Solar". S. 14—16.

Łabanowski J. Свойства и свариваемость двухфазных коррозионно-стойких дуплексных сталей. S. 35—40.

Bereziuk M., Leżoch J. Воздушно-плазменная резка с помощью держателей ABIPLAS CUT, изготовленных фирмой ABICOR BINZEL. S. 41—43.

Pilarczyk J. Гибридная сварка с использованием лазерного луча и электрической дуги. S. 44—48.

Adamiec J. Гибридная сварка пакетов листовых панелей с помощью лазерного световода. S. 49—52.

Kozak J. Полностью стальные панели типа сандвича — новые возможности благодаря технологиям лазерной сварки. S. 53—59.

Hejwowski T. Испытания на стойкость против эрозионного износа покрытий, применяемых в оборудовании, работающем на бензине. S. 60—63.

Drzeniek H. Износостойкая наплавка порошковой электродной проволокой на основе сплавов Fe—Cr—C. S. 64—70.

SOUDAGE et TECHNIQUES CONNEXES (Vol. 60, N 1/2, 2007, Франция)

Фирма Air Liquide Welding предлагает свои решения для разных промышленных секторов — потребителей сварки. P. 8—9.

Электрооптическая маска-шлем сварщика с быстродействующим затвором получила положительную оценку Института сварки. P. 11—15.

Моделирование и качество сварки как основная цель. P. 12—15.

Теплоизоляционные ленты в танкерах для перевозки жидкого метана, приклеенные с помощью напыления "холодной плазмой". P. 16—17.

Graveleau S. Проблемы магнетизма, возникающие при сварке. P. 30—33.

Posch G. et al. Сварка труб из аустенитной стали, применяемых в криогенной технике. P. 34—40.

(Vol. 60, N 3/4, 2007, Франция)

Промышленная выставка "Industrie 2007" в Лионе для демонстрации нового оборудования. P. 6—11.

Способ многослойной внутренней плакировки крупных компонентов котлов. P. 17.

Комплект приспособлений, предназначенный для роботизированной сварки. P. 18.

Dainelli P. et al. Более легко свариваемые конструкционные стали. P. 29—34.

Laroche Y. et al. Ободы гидравлических турбин, упрочненные роботизированной сваркой и проковкой. P. 35—39.

(Vol. 60, N 5/6, 2007, Франция)

"Холодная" сварка каталитических сосудов. P. 12.

Еще больше композиционных материалов будет использоваться для будущего аэробуса A350 XWB. P. 14.

Tran Tien T. Самоадаптивная МАГ-сварка может перейти на промышленный уровень. P. 29—34.

Duchazeaubeneix J.-M. Улучшение усталостных характеристик конструкций, сваренных методом Stressonic® (ультразвуковая ударная обработка) по сравнению с ТИГ-сваркой. P. 35—37.

(Vol. 60, N 7/8, 2007, Франция)

Средства индивидуальной защиты сварщика — сочетание качества с разумной ценой. P. 6—7.

Изготовители средств индивидуальной защиты должны удовлетворить 12 млн заказчиков. P. 8.

Некоторые последние инновации в области средств индивидуальной защиты сварщика. P. 10—11.

Легкая очистка трубопроводов или баков перед сваркой. P. 14—15.

Что делать с изношенным сварочным оборудованием? P. 18.

Legros Ph. Анализ паров, образующихся при сварке для выполнения биметаллических соединений. P. 27—29.

Robineau A. et al. Сварка трением с перемешиванием для выполнения биметаллических соединений. P. 30—39.

TECNOLOGIA QUALIDADE (№ 58, Outubro/Dezembro, 2006, Португалия)

Tenera P. Цифровая рентгенография. P. 5—8.

Pires H. et al. Система лазерного виртуального восстановления археологических раскопок керамических предметов. P. 9—13.

Bergsten C. J. Collapse — Европейский проект по защите свинцовых и свинцово-оловянных органных труб от коррозии. P. 14—16.

Margues P. A. et al. Аспекты инноваций. P. 28—30.

Lopes S. C. Лаборатория по исследованию разрушений и вибраций выполнила первое акустическое испытание в Анголе. P. 33—35.

Barrjs P., Leitao D. Контроль сварных швов аустенитной стали резервуаров для сжиженного природного газа с помощью системы, работающей на основе метода фазовой решетки. P. 36—41.

(№ 59, Janeiro/Março, 2007, Португалия)

Stuart C. Катодная защита. P. 14—16.

Soares R. et al. Экспериментальная методика определения напряжений в трубных конструкциях, подверженных случайным нагрузкам на поверхности. P. 35—41.

WELDING JOURNAL (Vol. 86, N 7, 2007, США)

Sampath K. Как выбирать электрод для соединения высокопрочных сталей. P. 26—28.

Ravert E. Энергосберегающие наконечники установок для вытяжки газов и паров, выделяющихся в процессе сварки. P. 30—31.

Packard K. Выбор и содержание порошковой проволоки. P. 32—34.

Wood R. Конструктивные особенности роботизированного сварочного модуля. P. 38—41.

Sadler H. Проблемы сертификации расходуемых сварочных материалов. P. 42—45.

Konkol P. J. et al. Сравнение сварных изделий из высокопрочной низколегированной стали (HSLA-65), выполненных сваркой трением с перемешиванием и дуговой сваркой под флюсом. P. 187-s—195-s.

Yarmuch M. A. R. et al. ТИГ-сварка алюминиевого сплава 5083 на переменной полярности тока. P. 196-s—200-s.

Abdulaliyev Z. et al. Температурные напряжения стыковых соединений из разных материалов. P. 201-s—204-s.

Rybin V. V. et al. Исследование биметаллического соединения ромбического алюминида титана с титановым сплавом (диффузионная сварка). P. 205-s—210-s.

УДК 621.791(088):16

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

Способ подготовки кромок труб под сварку включает токарную обработку и холодную деформацию торца трубы с образованием на его верхней кромке присадочного выступа. Отличается тем, что торец одной из свариваемых труб обрабатывают резцом под углом 90° к ее оси, а торец второй трубы обрабатывают изнутри под углом 90° к ее оси и оставляют в верхней части торца кольцевой выступ толщиной и длиной не более 4 мм, затем раскатным роликом этот кольцевой выступ отгибают наружу под углом от 45 до 90° по отношению к оси трубы, а полученный отогнутый выступ протачивают и придают ему в поперечном сечении форму присадочного выступа в виде равнобедренного треугольника, равнобедренной трапеции или прямоугольника, после чего в торце второй трубы под присадочным выступом протачивают цилиндрическую полость с внутренним диаметром, равным наружному диаметру торца первой трубы. 2288827 (C1). А. Н. Семенов (RU), В. Н. Тюрин (RU), В. П. Гордо (RU), Г. Н. Шевелев (RU). ФГУП "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежаля" (RU). [34].

Устройство для наплавки длинномерных деталей включает корпус в виде станины с направляющими, ходовым винтом, приводы продольного перемещения суппорта и поворота детали вокруг продольной оси, суппорт с закрепленной на нем стойкой и штангой в верхней части, оснащенной механизмом вертикального перемещения типа "винт—гайка" с отдельным приводом с возможностью постоянного и дискретного режимов работы и приводом вращения вокруг вертикальной оси суппорта стойки-штанги сварочной головки, содержащей привод радиального дискретного перемещения головки, кассету с наплавочной проволокой, подающий механизм проволоки и мундштук, бункер для флюса с флюсо-проводом и воронкой; манипулятор, состоящий из рамы со стойками, оснащенными лапами-зажимами крепления ремонтной детали с возможностью поперечного перемещения рамы на опорных колесах и соответствующим цепным приводом, узел управления механизмом дискретного перемещения сварочной головки в ради-

* 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.

альном и осевом направлениях, оснащенный концевым выключателем, срабатывающим после каждого полного оборота однокулачкового диска, жестко закрепленного на штанге и включающего через одно из реле времени приводы радиального или осевого перемещения сварочной головки в соответствии с предварительным включением одного из этих каналов. Отличается тем, что механизм привода вращения сварочной головки размещен на штанге и состоит из электродвигателя, редуктора и конической зубчатой передачи, привод поперечного перемещения манипулятора установлен на передней части манипулятора, а лапы-зажимы крепления ремонтной детали — соосно продольной оси ремонтной детали. 58972 (U1). Б. И. Трошкин, А. Б. Чухлебов, Г. В. Кожевин и др. [34].

Автоматическая линия сварки узлов кузовов и кабин транспортных средств содержит сварочные позиции с фиксацией изделия, сварочные роботы со сварочными клещами, транспортную систему передачи изделия с одной позиции на другую, сварочные стационарные машины и систему управления. Отличается тем, что транспортная система выполнена в виде транспортных роботов напольного типа с захватами, установленных между сварочными позициями фиксации изделия. 58973 (U1). А. Е. Хабаров (RU), М. В. Снопок (RU), Е. А. Пушкин и др. ОАО "ГАЗ" (RU). [34].

Способ фрикционной сварки с перемешиванием материала заготовок (варианты), при котором устанавливают свариваемые части заготовок по линии их соединения вплотную друг к другу, производят фиксацию свариваемых частей заготовок прихваточными швами, вводят в начальный участок места соединения вращающийся сварочный инструмент и перемещают сварочный инструмент вдоль стыка свариваемых заготовок для получения сварного шва. Отличается тем, что перед вводом в начальный участок места соединения сварочного инструмента, состоящего из двух функциональных частей — корпуса с опорным буртом и установленного в нем рабочего стержня с возможностью съема и регулирования перемещения по оси, уплотняют вращающимся опорным буртом стык свариваемых заготовок усилием в 2—5 раз меньше необходимого для данной толщины материала, а прихваточный шов выполняют, вводя вращающийся рабочий стержень на глубину 0,2—0,5 толщины свариваемого материала и поступательно перемещая вращающийся сварочный инструмент вдоль стыка свариваемых заготовок по всей длине стыка, при этом при сварке продольных швов затем возвращают сварочный инструмент вне полученного прихваточного шва вновь к началу шва, вводят вращающийся сварочный инструмент на полную глубину сварки с созданием полного сварочного усилия и поступательно перемещают сварочный инструмент по всей длине свариваемого стыка до образования сварного шва. 2289496 (C1). В. А. Половцев (RU), Г. В. Шилло (RU), Н. В. Макаров (RU), Д. Ф. Главочевский (RU). ФГУП "Государственный космический научно-производственный центр им. М. В. Хруничева" (RU). [35].

Припой для пайки ювелирных сплавов палладия 850 пробы содержит палладий, медь и кремний при следующем соотношении компонентов (%): 85,0—85,5 палладия; 12,0—13,0 меди; 2,0—3,0 кремния. 2289497 (C1). А. В. Ермаков (RU), Л. Г. Гроховская (RU), И. Б. Клюева (RU), Г. Ф. Кузьменко (RU). ОАО "ЕЗОЦМ" (RU). [35].

Активирующий флюс для дуговой сварки содержит гексафторалюминат лития, диоксид титана, оксид алюминия и хлорид кальция. Отличается тем, что дополнительно содержит металлический порошок или смесь металлических порошков, выбранных из группы хром, никель, титан при следующем соотношении компонентов (%): 30—40 гексафторалюмината лития; 20—30 диоксида титана; 10—20 оксида алюминия; 10—20 хлорида кальция; 10—20 металлического порошка. 2289498 (C1). С. Г. Паршин (RU), С. С. Паршин (RU). [35].

Способ пайки лопаток спрямляющего аппарата компрессора турбореактивного двигателя. Способ соединения металлических деталей из сплава на основе титана включает их пайку с использованием металлического припоя. Отличается тем, что пайку осуществляют при давлении газа менее $1 \cdot 10^{-2}$ Па, а в качестве металлического припоя используют алюминиевый сплав, содержащий магний, а также кремний в количестве не более 0,3 %. 2290285 (C2). Ж.-Ф. Д. Клемен (FR). "СНЕКМА МОТЕР". (FR). [36].

Способ сварки плавлением сталей с титаном и его сплавами через промежуточный наплавленный слой (варианты) включает сварку после предварительной наплавки промежуточного слоя. Отличается тем, что промежуточный слой получают многослойной последовательной наплавкой на титан или его сплавы слоя ниобия, не менее двух слоев ванадия, слоя ниобия, не менее двух слоев медного сплава, после чего полученный многослойный промежуточный слой сваривают со сталью. 2290286 (C2). И. В. Горыкин (RU), В. В. Рыбин (RU), А. В. Баранов (RU) и др. ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей" (RU). [36].

Способ обрезки деталей с криволинейным контуром преимущественно вытяжек отштампованных деталей предусматривает воздушно-плазменную обрезку этих деталей по контуру с применением рабочего стола и оснастки. Отличается тем, что обрезаемую деталь помещают между элементами оснастки, содержащей ложемент, закрепляемый на основании рабочего стола, и шаблон, снаб-

женный ручкой и направляющей вдоль его контура, упирают сопло плазмотрона сбоку в направляющую и производят собственно обрезку детали по внешнему контуру направляющей путем скольжения сопла относительно последней с одновременной ориентацией оси плазмотрона перпендикулярно плоскости обрезаемой детали. Ложемент, шаблон и обрезаемая деталь имеют идентичную объемно-пространственную форму и подобны друг другу, контур ложемента меньше контура шаблона, а контур последнего меньше контура детали эталонных размеров, причем в качестве ложемента и шаблона применяют готовые одноименные детали, полученные путем их эталонной обрезки и последующей обработки краев. 2290287 (C2). С. Р. Аманов (RU), А. В. Каргин (RU). ОАО "АвтоВАЗ" (RU). [36].

Износостойкий наплавочный материал содержит борид вольфрама. Отличается тем, что дополнительно содержит феррохром, феррованадий и смесь плавленых флюсов АН-20 и АН-348 А (1:1) при следующем соотношении компонентов (%): 48—51 борида вольфрама; 28—29 феррохрома; 17—18 феррованадия; остальное — смесь плавленых флюсов. 2290288 (C2). В. Д. Орешкин (RU), П. В. Попов (RU). ВолгГАСУ (RU). [36].

Способ изготовления пластинчатого электрода для электродуговой сварки неподвижным плавящимся электродом включает изготовление электропроводящего пластинчатого сердечника, имеющего форму, повторяющую форму стыка свариваемых деталей, формирование электроизоляционного покрытия путем нанесения на противоположные поверхности сердечника, размещаемые в процессе сварки напротив соответствующих свариваемых поверхностей деталей, слоя электроизоляционного материала, содержащего связующее, с последующей его сушкой. Отличается тем, что формирование электроизоляционного покрытия осуществляют в два этапа. 2290289 (C1). В. О. Бушма (RU), Д. В. Калашников (RU). [36].

Способ сборки под сварку кольцевых стыков емкостей и устройство для его осуществления. 1. *Способ сварки кольцевых стыков емкостей* включает изготовление обечаек и днищ, сборку свариваемых деталей на разборном подкладном кольце, сварку кольцевого стыка и удаление подкладного кольца. Отличается тем, что перед сборкой кромки свариваемых деталей нагревают наружным гибким нагревательным элементом и в нагретом состоянии свободно надвигают на собранное вне емкости подкладное кольцо до полного контакта торцовых поверхностей свариваемых деталей, отключают нагревательный элемент и полученную сборку охлаждают до 18—20 °С, после чего выполняют сварку кольцевого стыка и удаляют подкладное кольцо. 2. *Устройство для сборки под сварку кольцевых стыков емкостей* содержит разборное подкладное кольцо, состоящее из соединенных между собой отдельных частей. Отличается тем, что снабжено наружными гибкими нагревательными элементами для нагрева кромок свариваемых деталей, а подкладное кольцо выполнено диаметром, большим диаметра свариваемых деталей для обеспечения необходимого монтажного зазора при их нагреве и гарантированного натяга между подкладным кольцом и свариваемыми деталями при охлаждении, при этом отдельные части подкладного кольца соединены между собой без зазоров коническими болтовыми соединениями, а поверхности контакта отдельных частей выполнены под углом к плоскости кольца для обеспечения свободного разъединения частей кольца при его разборке после сварки. 2290290 (C1). В. А. Половцев (RU), В. П. Стасюк (RU), В. М. Розенцвайг (RU), С. Д. Кошелев (RU). ФГУП "Государственный космический научно-производственный центр им. М. В. Хруничева" (RU). [36].

Установка для термической резки труб содержит основание, вертикальные стойки, смонтированные на основании, барабан с закрепленным на нем резаком, размещенный между вертикальными стойками, приводы для перемещения барабана вдоль вертикальных стоек и его поворота относительно поперечной оси. Отличается тем, что дополнительно содержит подвижную траверсу, размещенную между вертикальными стойками, вертикальные стойки в верхней части жестко соединены между собой неподвижной траверсой, а барабан размещен внутри подвижной траверсы и дополнительно оборудован, по меньшей мере, одним резаком. Резаки расположены диаметрально противоположно друг относительно друга и смонтированы на торцовой стороне барабана посредством шарнирно закрепленных на ней пневматических цилиндров, кинематически связанных с рычагами, один конец которых шарнирно закреплен на торцовой стороне барабана, а второй содержит каретки для установки на них резаков. Привод для перемещения барабана вдоль вертикальных стоек установлен на неподвижной траверсе и кинематически связан с подвижной траверсой, а привод для поворота барабана относительно поперечной оси смонтирован на подвижной траверсе и кинематически связан с барабаном с возможностью его поворота на угол, обеспечивающий перекрытие противоположными резаками линии реза. 59467 (U1). А. Н. Моторин (UA), В. А. Омельченко (UA), Н. В. Вьюнник (UA). ООО "НПФ "Техвагонмаш" (UA). [36].

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.052:620.193.2

Стойкость наплавленных самофлюсующих сплавов против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах. Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 3—7.

Разработана методика оценки склонности биметаллических соединений к коррозии под напряжением в сероводородсодержащих средах применительно к уплотнительным элементам фонтанной арматуры для рабочих давлений 70—105 МПа. Испытания образцов с наплавкой проводят при постоянной нагрузке в течение 720 ч, что позволяет получать сравнительные оценки влияния исходных материалов и технологических параметров процессов наплавки и термической обработки на стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания. Плазменная порошковая наплавка самофлюсующими никелевыми сплавами в целом обеспечивает получение допустимых пределов коррозионной прочности соединения и стали 30ХМА, последующий отпуск при 600—650 °С повышает данный показатель в среднем на 30 %. Ил. 6. Библиогр. 9.

УДК 621.791.92.042

Порошковая проволока для наплавки высокомарганцовистой аустенитной стали. Макиенко В. М., Баранов Е. М., Романов И. О., Строителев Д. В. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 7—9.

Исследована возможность наплавки высокомарганцовистой стали разработанной порошковой проволокой, содержащей в качестве нитридообразующих компонентов шихты минеральное сырье Дальневосточного региона. Приведенные результаты исследований подтвердили возможность замены компонентов шихты минеральным сырьем, что снижает себестоимость проволоки. Табл. 4. Ил. 4. Библиогр. 2.

УДК 621.791.75.039—229.61

Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки. Лебедев В. А. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 10—17.

Построена динамическая модель нелинейной системы подачи проволоки. Установлено, что причиной автоколебаний в системе является нелинейный характер сухого трения. Исследована динамика системы методами гармонической линеаризации. Даны рекомендации по подавлению автоколебаний в системе.

При исследовании вынужденных колебаний в системе установлено отсутствие изменений и резонанса автоколебаний в направляющем канале. Даны рекомендации по рациональному выбору режима сварки, снижающего влияние колебаний сварочного тока на скорость подачи проволоки. Табл. 2. Ил. 10. Библиогр. 20.

УДК 621.791.75.037:621.311.6

Инверторный источник питания для сварки модулированным током. Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 18—22.

Приведено описание образца инверторного источника питания для сварки модулированным током, отличительной особенностью которого являются расширенные регулировочные возможности по управлению силовой частью инвертора; возможность активно (со стороны сварщика) за счет двойной модуляции сварочного тока управлять технологическим процессом сварки при реализации всех алгоритмов управления силовой частью. Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.791.763.1

Применение припоев для контроля качества соединений из титановых сплавов, выполненных точечной контактной сваркой. Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Севрюков О. Н., Федотов В. Т. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 22—25.

Проанализированы и обобщены особенности технологии и контроля качества точечной контактной сварки титановых сплавов с применением материала-свидетеля из припоя СТЕМЕТ 1201. Предложены подходы к увеличению работоспособности ядра точки при сварке титановых сплавов типа ОТ4-1 с материалом-свидетелем. Табл. 1. Ил. 7. Библиогр. 9.

УДК 621.791:621.643.1/.2

Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 2. Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий. Хромченко Ф. А. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 26—31.

Приведены основные положения и способы ремонта сварных соединений II—IV категорий с помощью сварки или наплавки. Табл. 2. Ил. 9. Библиогр. 3.

УДК 621.791.04

Характеристика сырьевой базы Мурманской области, компонентов электродных покрытий и флюсов для сварки. Николаев А. И., Петров В. Б., Плешаков Ю. В. и др. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 32—36.

Рассмотрены минеральные продукты Карело-Кольского региона для использования их в качестве перспективных компонентов сварочных материалов. Значительная часть материалов может быть получена из продуктов и полупродуктов, в том числе из отходов действующих горно-обогатительных и металлургических предприятий. Изучены радиационные характеристики и

химический состав продуктов, включая содержание лимитируемых примесей — соединений фосфора, серы и углерода. Отмечена возможность химического кондиционирования продуктов по содержанию примесей фосфора и серы. Показаны перспективы использования сырьевой базы Мурманской области для организации производства сварочных материалов традиционного и нового составов с целью обеспечения высоких сварочно-технологических свойств и конкурентоспособности на рынке сварочных электродов и флюсов. Табл. 2. Ил. 1. Библиогр. 15.

УДК 621.791.927.55

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 2. Плазменное напыление. Мчедлов С. Г. — Сварочное производство. 2008. № 5. С. 36—48.

Приведено описание метода плазменного напыления, применяемого оборудования и материалов, основные эксплуатационные показатели процесса. Сделан вывод о наличии резервов для повышения эффективности технологии плазменного напыления. Табл. 6. Ил. 12. Библиогр. 18.

Внимание! Информация

В III квартале 2008 г. в издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана выходит второе дополненное издание книги авторов ***А. Г. Григорьянца, И. Н. Шиганова и А. И. Мисюрова "Технологические процессы лазерной обработки"*** (объем 42 п. л.). В книге отражены теоретические и технологические аспекты лазерных процессов обработки материалов.

Книга рекомендована Министерством науки и образования РФ для студентов технических вузов в качестве учебного пособия. Кроме того, она будет полезна инженерно-техническим и научным работникам.

По вопросам приобретения и заказа книги обращаться по адресу:
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5. Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Тел.: (495) 2614597.
E-mail: press@bmstu.ru.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, № 5

Welded self-fluxing alloys resistance to corrosion cracking in the hydrogen sulphide-based medium. Isakayev E. Kh., Mordynsky V. B. P. 3—7.

Estimation procedure is worked out for bimetallic joints liability to stress corrosion in the hydrogen sulphide-based medium depending on the production tree sealing elements at 70—105 MPa working pressure. Deposited samples are tested at continuous load during 720 h; this allows obtaining influence comparative assessment of the initial materials and welding process-dependent parameters and heat treatment on the resistance to hydrogensulphidous corrosion cracking. Sintered plasma-jet hard-facing by self-fluxing nickel alloy in tote ensures permissible corrosive strength limits for joints and steel 30ХМА; tempering at 600—650 °C makes 30 % increase of the parameter on the average.

Flux cored wire to overlay high-manganese austenitic steel. Makiyenko V. M., Baranov Ye. M., Romanov I. O., Stroitelev D. V. P. 7—9.

Deposit welding possibility of high-manganese steel by developed flux cored electrode, which contains mineral raw materials of the Far Eastern region as nitride generating batch material, is studied. Described research results prove batch material replaceability by minerals which reduce wire costs.

Problems of the electrode wire feed system dynamics. Lebedev V. A. P. 10—17.

Dynamic model of wire feed nonlinear system is constructed. It is established that nonlinear dry friction behaviour accounts for the system self-excited oscillations. System dynamics is investigated by harmonic linearization method. Recommendations on system self-oscillating elimination are given.

While studying system forced oscillations, absence of changes and resonance of self-excited oscillations in the guide channel is established. Recommendations on welding conditions efficient choice are given, which decrease welding current oscillation impact on the wire feed speed.

Inverter power source for modulate-current welding. Knyazkov A. F., Knyazkov S. A., Dementsev K. I. P. 18—22.

A model of an inverter power source for modulate-current welding is given. The power source features advanced

adjusting facilities to operate converter power-producing part; due to double modulation of the welding current actively control (on the welder's part) welding process implementing all control algorithms of the power-producing part.

Solder alloy application to control quality of the titanium joints conducted by resistance-spot welding. Menshikov G. A., Antonov V. G., Sevryukov O. N., Fedotov V. T. P. 22—25.

Process and quality control features of the titanium alloy resistance-spot welding applying CTEMET 1201 solder as accessory material are studied and generalized. Approaches to gain operability of the point core at welding titanium alloys like OT4-1 with accessory material are offered.

Welding practice of the heat-and-power engineering pipeline system elements repair. Part 2: Repair of the 2^{nd}—4^{th} classes pipeline elements. Khromchenko F. A. P. 26—31.

Fundamentals and repair techniques of the welded joints of the 2^{nd}—4^{th} classes by welding or by overlaying are covered.

Features of the Murmansk region raw materials sources, coating materials and welding compounds. Nikolayev A. I., Pleshakov Yu. V., Brousnitsyn Yu. D., Baranov A. V., Petrov V. B. P. 32—36.

Minerals of the Karelian-and-Kola region are considered to be used as prospective component for welding materials. Considerable part of the materials may be obtained from the products and semiproduct, including waste of the operating ore-dressing and metallurgical enterprises. Products radioactive data and chemical composition are investigated, including impurity limiting content, i.e. phosphorus, sulphur and carbon compounds. Possibility of product chemical conditioning according to impurity content of phosphorus and sulphur is shown. Usage prospect for the raw materials source of Murmansk region are shown to organize welding materials production of standard and new composition, aimed at ensuring high welding processing properties and marketability of the welding electrodes and fluxes.

Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes: A Review. Part 2: Plasma spraying. Mchedlov S. G. P. 36—48.

Plasma spraying technique, equipment and materials, process basic performance criteria are described. It is concluded that there are reserves to increase effectiveness of plasma spraying technique.

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; 796 2491; тел./факс: (495) 687 6316.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Направляемые в редакцию ***рукописи*** обязательно должны подготавливаться в полном соответствии с ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин». Объем статьи не должен превышать 15 страниц, включая список литературы, таблицы и рисунки. В конце статьи помещается аннотация (до 0,5 страницы) с кратким изложением содержания статьи.

Статья научно-исследовательского характера должна содержать разделы: введение, исследовательскую часть, заключение.

Статья должна быть представлена на бумажном и обязательно **магнитном носителях (или направлена в редакцию по электронной почте).**

При использовании ***бумажного носителя*** статья представляется в двух экземплярах с двумя комплектами рисунков. Текст статьи печатается четким шрифтом кеглем 12 на машинке или принтере через два интервала на одной стороне листа формата А4 (210 × 297 мм) с шириной левого поля 3,5 см. Страницы рукописи нумеруются. Рисунки выполняются черной тушью на листах белой бумаги формата не более А4. Фотографии должны быть четкими и контрастными. Ксерокопии допустимы только для второго экземпляра текста и иллюстраций. Допускаются рисунки высокой четкости и контрастности, распечатанные на лазерном принтере. Один экземпляр статьи подписывается всеми авторами.

При использовании ***магнитного носителя*** статья представляется на дискете 3,5” или CD R/RW (компакт-диске). Текст статьи набирается в текстовом редакторе *MS Word for Windows.* Рисунки представляются в форматах *TIFF* (желательно), *PCX* или *BMP* с разрешением 300 или 600 *dpi* для штриховых изображений и 600 *dpi* для фотографий. Кроме дискеты нужно представить распечатку статьи с подписями всех авторов.

При использовании ***электронной почты*** необходимо направить в адрес редакции распечатку статьи с подписями всех авторов.

Все ***аббревиатуры***, ***сокращения*** и ***условные величины*** расшифровываются в тексте.

Названия иностранных фирм и ***организаций*** даются в транскрипции первоисточника с указанием страны.

Все ***буквенные*** или ***цифровые обозначения***, приведенные на рисунках, поясняются в тексте или подрисуночной подписи.

Латинские знаки в формулах набираются курсивом. При написании формулы от руки ***подстрочные*** и ***надстрочные буквы*** и ***цифры*** размечаются с помощью знаков ∪ или ∩, а ***греческие и латинские буквы*** обводятся красным и синим карандашом соответственно.

При компьютерном наборе рукописи ***надстрочные*** и ***подстрочные*** *индексы* поднимать вверх или опускать вниз соответственно (не набирать в строку).

Графы в ***таблицах*** должны иметь краткие заголовки. Названия граф начинают с прописной буквы. Упоминаемые в заголовках величины сопровождаются соответствующими единицами измерения (в сокращенной форме).

Список литературы следует оформлять согласно ГОСТ 7.1—7.6. Необходимо указывать фамилию и инициалы автора, точное название книги и сборника, издательство, год и место издания, общее число страниц, а для журнальных статей — фамилии и инициалы авторов, название статьи и источника, год выхода, номер журнала и номера страниц. Ссылки на иностранную литературу даются в латинской транскрипции без сокращений.

К рукописи прилагаются ***сопроводительное письмо*** с просьбой о публикации и ***акт экспертной комиссии***, подтверждающий, что статья **не содержит материалов, входящих в перечень сведений, отнесенных к Государственной тайне Указом Президента РФ № 1203 от 30.11.95 г., и может быть опубликована в открытой печати.**

Редакции журнала сообщаются фамилия, имя и отчество (полностью), почтовый адрес (индекс обязателен), ученая степень, должность и место работы, телефон (служебный и домашний). Дополнительно (для получения авторского гонорара) необходимо указать паспортные данные, дату рождения, место жительства (регистрации), ИНН (идентификационный номер налогоплательщика), персональный номер государственного пенсионного страхования. При отсутствии указанных данных гонорар не выплачивается.

Уважаемые авторы! Представляя рукопись в редакцию, Вы передаете издателю право на ее публикацию в журнале. Направление в редакцию работ, опубликованных или намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

Материалы, не соответствующие данным требованиям, к публикации не принимаются.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромынский пер., 4

Сдано в набор 17.03.2008. Подписано в печать 23.04.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 10,46. Заказ 9/08.

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".