Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

Сварочное производство

9 (874)
Сентябрь
2007

УЧРЕДИТЕЛЬ:
Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

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

В. К. Драгунов
А. С. Зубченко
Е. А. Калашников
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.**
Факс: **(495) 687 6316**.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

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

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное производство" возможна при обязательном 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.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.
Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Мухин В. Ф., Еремин Е. Н. — Однофазный сварочный выпрямитель с релейной обратной связью 3

Мелюков В. В., Корепанов А. Г., Репкин Д. А., Плышевский М. И. — Управление тепловым режимом комбинированного процесса сварки и локальной термоциклической обработки кольцевых соединений 6

Иванайский В. В., Кривочуров Н. Т., Иванайский Е. А. — Контроль температуры плавления многокомпонентной шихты при индукционной наплавке 11

Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., Наконечный А. А. — Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг 12

Сайфуллин Р. Н. — Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций 14

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Решанов В. А. — Механизированная и автоматическая сварка двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м^3 в условиях Заполярья 17

Милютин В. С., Ездаков Ю. Б., Сивоплясов А. Г., Морозов А. А., Едков С. Н., Костюк Д. Е., Беспалов В. И., Цыплаков А. И., Латышев А. А., Федотов А. В. — Технологические комплекты источник + полуавтомат с микропроцессорным управлением для сварки неповоротных стыков трубопроводов 22

Новицкий А. Ф., Крюков Г. М., Анисимов В. Н., Князев М. Ю. — Создание сварочного комплекса для замоноличивания кромок гофрированных стенок корпусов трансформаторов нового поколения серии ТМГ 30

Штрикман М. М. — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор). Ч. 1 35

Красильников С. Б., Сонин Г. И. — Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов 41

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Шутченко А. П., Малахов Д. В. — Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия 47

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века" 51

* * *

Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий 55

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке 57

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

Рефераты опубликованных статей 61

* * *

В. Ф. Хорунову — 70 лет 64

© Издательство "Машиностроение", Издательский центр "Технология машиностроения", "Сварочное производство", 2007

Scientific, technical and production monthly journal

Svarochnoe Proizvodstvo

9 (874) September 2007

FOUNDER:
Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

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

Editorial board:

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

V. K. Dragunov
A. S. Zubchenko
E. A. Kalashnikov
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.
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 "Woodhead Publishing Ltd." (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

Mukhin V. F., Yeriomin Ye. N. — Relay feedback single-phase rectifier welder ____ 3

Melyukov V. V., Korepanov A. G., Plyshevsky M. I., Repkin D. A. — Thermal conditions control of the ring joints combined welding and local thermocyclic treatment _ 6

Ivanaysky V. V., Krivochurov N. T., Ivanaysky Ye. A. — Multi-component burden melting temperature control at inductive facing ____ 11

Kuchuk-Yatsenko V. S., Shvets V. I., Sakhatsky A. G., Nakonechny A. A. — Features of the aluminium alloys resistance-welding process using nano-structuring aluminium-nickel and aluminium-copper foils ____ 12

Sayfoollin R. N. — Adhesive strength and porosity of the powder-mix-electrocontact-welded coatings ____ 14

PRODUCTION SECTION

Reshanov V. A. — Machine welding of dual steel upright cylinder of 50.000 m^3 storage capacity under conditions within the Polar circle ____ 17

Milyutin V. S., Yezdakov Yu. B., Sivoplyasov A. G. et al. — "Source-semiautomatic device" microprocessor-control process complex for the conduit unturning joints welding ____ 22

Novitsky A. F., Kryuchkov G. M., Anisimov V. N., Knyazev M. Yu. — Welding complex creation for the corrugated walls edge monolithing of the ТМГ-series new generation transformer cases ____ 30

Shtrikman M. M. — State and progress of the leaner joints friction welding process: Review. Part 1. ____ 35

Krasilnikov S. B., Sonin G. I. — X-Ray radiometric surveillance of the ring welded joints at the gas-main construction ____ 41

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Shootchenko A. P., Malakhov D. V. — Intraproductive planning model development for a machine-building plant ____ 47

INFORMATION

Ivanov A. N. — The 8th International exhibition "Hi-Tech of the XXI century" ____ 51

BIBLIOGRAPHY

Contents of the foreign journals in the field of welding ____ 57

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 621.791.753.037

В. Ф. МУХИН, канд. техн. наук, Е. Н. ЕРЕМИН, д-р техн. наук
Омский государственный технический университет

Однофазный сварочный выпрямитель с релейной обратной связью

В настоящее время для дуговой сварки покрытыми электродами предлагается ряд конструкций однофазных выпрямителей [1]. Недостатком наиболее применяемых моделей является наличие механического регулятора. Электронные тиристорные регуляторы в однофазных выпрямителях не нашли применения из-за снижения стабильности процессов плавления и переноса электродного металла. Кроме того, при сварке однофазным выпрямителем выше потери на разбрызгивание в сравнении с трехфазным [2]. Увеличение разбрызгивания связано с особенностью процесса сварки однофазным выпрямленным током, заключающееся в том, что окончание короткого замыкания и возбуждение дуги при пульсирующем токе могут совпадать как со спадом тока в предыдущей пульсации, так и нарастанием тока в следующей (рис. 1). В последнем случае переход стадии окончания короткого замыкания на начало следующей пульсации и приводит к увеличению потерь электродного металла.

С другой стороны, достоинством сварки пульсирующим током двухполупериодного выпрямления является то, что максимально возможное время нарастания тока короткого замыкания не может быть больше времени нарастания тока в пульсации (5 мс), и ток не успевает достигнуть недопустимой величины. Это позволяет производить сварку при пологопадающей ВАХ выпрямителя, вырабатываемой силовым трансформатором с нормальным рассеянием без устройств ограничения тока короткого замыкания, усложняющих конструкцию [3]. Разбрызгивание же можно существенно снизить, если создать такие условия переноса электродного металла, при которых окончание короткого замыкания происходило бы на спаде тока пульсации, как показано (штриховой линией) на рис. 2.

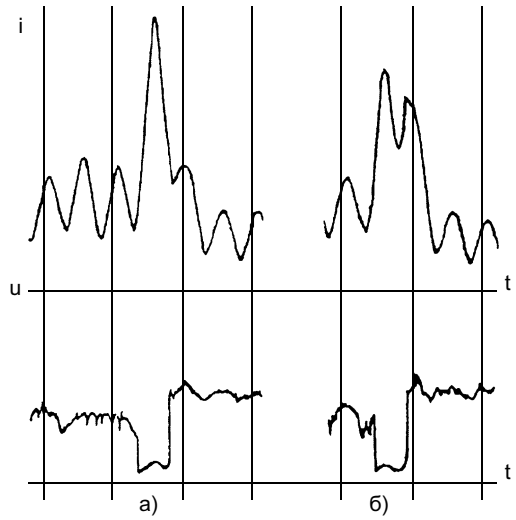


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения при сварке покрытыми электродами от однофазного выпрямителя "Дуга 318М": *а* — короткое замыкание заканчивается на спаде тока пульсации; *б* — короткое замыкание переходит на следующую пульсацию тока, а окончание его совпадает с нарастанием тока пульсации ($I_д$ = 120 А , $U_д$ = 25 В)

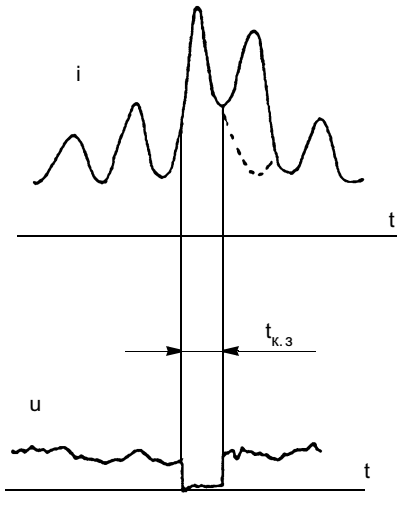


Рис. 2. Осциллограмма короткого замыкания

Эта задача может быть решена введением в выпрямитель схемы релейной обратной связи по сварочному току, обеспечивающей отключение и включение выпрямительного блока в зависимости от величины тока пульсации или тока короткого за-

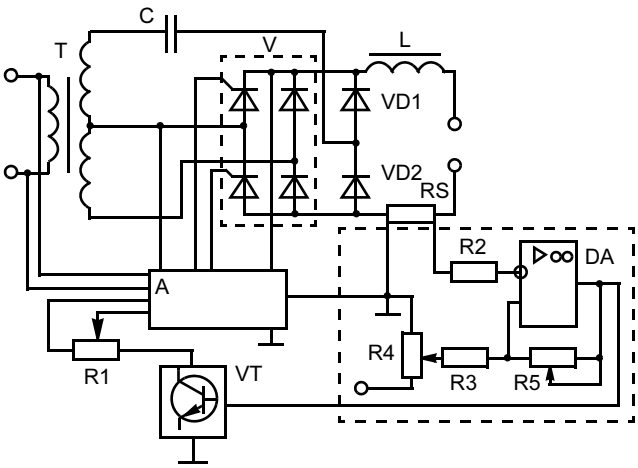


Рис. 3. Принципиальная схема выпрямителя

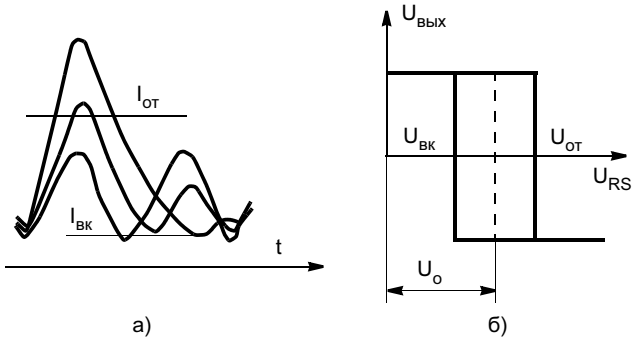


Рис. 4. Изменение тока в течение двух полупериодов при различной настройке триггера (*а*) и передаточная характеристика триггера релейной обратной связи по току (*б*) (U_{RS} — падение напряжения на стандартном шунте в цепи сварочного тока, $U_{от}$ и $U_{вк}$ — падение напряжения, соответствующее $I_{от}$ и $I_{вк}$ соответственно, U_o — регулируемое опорное напряжение)

мыкания. Такая обратная связь позволяет также плавно изменять сварочный ток, что упрощает конструкцию силового трансформатора и исключает необходимость ступенчатого или другого механического регулирования режима.

В данной работе для реализации изложенного предлагается однофазный тиристорный выпрямитель[1] с типовой силовой схемой и фазоимпульсным блоком управления тиристорами, дополненным релейной обратной связью (рис. 3).

Релейная обратная связь обеспечивается компаратором, представляющим несимметричный триггер Шмитта, вход которого подключен к стандартному шунту *RS*. Работа схемы обратной связи заключается в отключении схемы управления тиристорами при достижении током заранее установленного значения $I_{от}$ и включении ее при снижении тока по мере разряда энергии, накопленной в линейном дросселе, до заданного значения $I_{вк}$ (рис. 4, *а*). Задание значений $I_{от}$ и $I_{вк}$ осуществляется регулированием передаточной характеристики триггера (рис. 4, *б*). В зависимости от установки $I_{от}$ и $I_{вк}$ сварочный ток во время горения дуги может иметь как одинаковые амплитуды пульсаций, так и различные (рис. 5).

При этом включение соответствующего тиристора выпрямительного блока в следующем полупериоде после короткого замыкания происходит только после спада тока до установленного заранее значения $I_{вк}$ (рис. 6), что обеспечивает спокойный переход капли электродного металла в сварочную ванну и снижение разбрызгивания. Потери электродного металла при этом не выше 3—5 %, т. е. соответствуют сварке от выпрямителей, подключаемых к трехфазной сети. При таком управлении независимо от максимального значения тока в

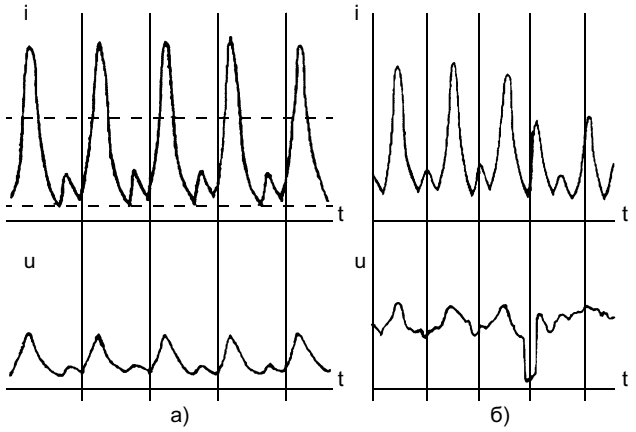


Рис. 5. Осциллограммы тока и напряжения выпрямителя (штриховая линия — заданные значения тока включения и отключения): *а* — при постоянной нагрузке балластным реостатом; *б* — при сварке

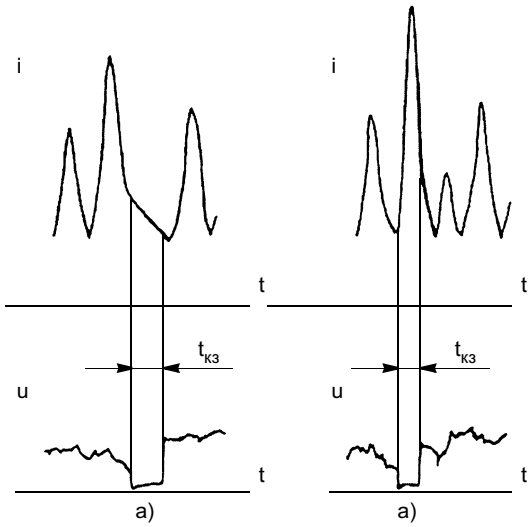


Рис. 6. Осциллограммы тока и напряжения при коротком замыкании во время сварки от однофазного выпрямителя с релейной обратной связью: время короткого замыкания не совпадает (*а*) и совпадает (*б*) с временем пульсации тока

[1] Патент 33727 (РФ).

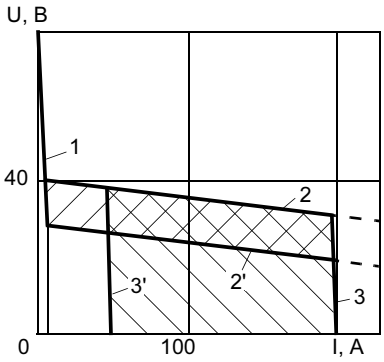


Рис. 7. Внешняя ВАХ однофазного выпрямителя с релейной обратной связью: 1 — характеристика дополнительной схемы подпитки; *2—2′* — диапазон регулирования фазовым управлением; *3—3′* — диапазон регулирования релейной обратной связью

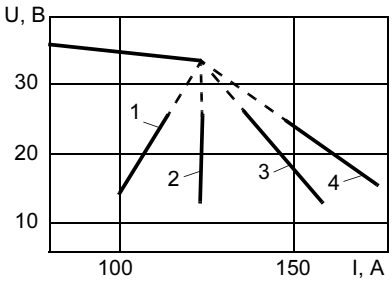


Рис. 8. Форма падающей ветви внешней ВАХ однофазного выпрямителя с релейной обратной связью по току при $K_в$, равном 0,3 (*1*), 0,36 (*2*) , 0,4 (*3*) и 0,45 (*4*)

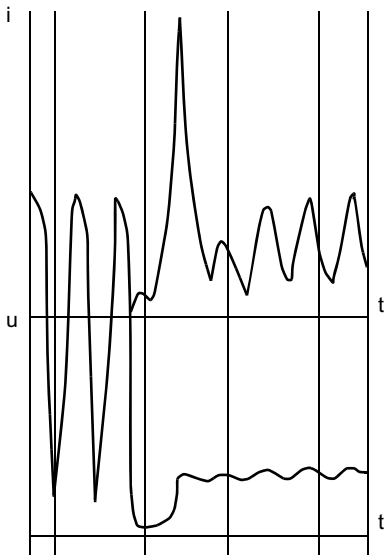


Рис. 9. Осциллограммы тока и напряжения при первоначальном зажигании дуги

полупериоде среднее его значение за два полупериода сохраняется приблизительно постоянным. Применение такой обратной связи при приведенной схеме выпрямителя обеспечивает форму внешней ВАХ на рис 7. При увеличении нагрузки происходит переход с характеристики дополнительной схемы подпитки, падающая форма которой обеспечивается конденсатором *C* (см. рис. 3), на характеристику силового выпрямителя, ограниченную заштрихованной областью *2* на рис. 7. Пределы регулирования *2—2′* устанавливаются типовой фазоимпульсной схемой управления тиристорами. Релейная обратная связь обеспечивает крутопадающую ветвь ВАХ *3*, наклон которой может быть изменен в зависимости от соотношения токов отключения и включения, т. е. от настройки триггера. Влияние соотношения токов, выраженное через коэффициент возврата (по аналогии с электромагнитным реле) $K_в = I_{вк}/I_{от}$, на угол наклона падающей ветви внешней ВАХ иллюстрирует рис. 8. Плавное регулирование сварочного тока осуществляется изменением опорного напряжения триггера U_0 (см. рис. 4, *б*), что приводит к переносу падающей ветви ВАХ *3—3′* на рис. 7.

Положительное влияние релейной обратной связи по току сказывается также и на первоначальном зажигании дуги, так как последующая за коротким замыканием слаботочная пульсация (рис. 9) препятствует "примерзанию" электрода.

ВЫВОД

Применение релейной обратной связи в однофазном выпрямителе обеспечивает раздельную настройку пологой и крутопадающей ветвей внешней ВАХ, что расширяет диапазон плавного регулирования сварочного тока и повышает управляемость источником.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

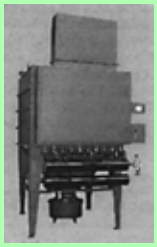
1. *Лихачев В. Л.* Электросварка: Справочник. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 672 с.

2. *Косович В. А., Лапин И. Е., Седых В. С. Анализ электрических схем однофазных сварочных выпрямителей* // Сварочное производство. 1995. № 1. С. 28—30.

3. *Бувайло В. В. Источники питания для дуговой сварки типа "Дуга"* // Сварщик-профессионал. 2005. № 1. С. 8.

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Москва, 109147, ул. Марксистская, 5. Тел.: (495) 540 4749, 676 6184, 676 7612



ЭЛСТАТ

15 лет на рынке

электростатические, механические, от сварочных и масляных аэрозолей, абразивной пыли, дымов при пайке, лужении и др., вытяжные устройства, гибкие воздуховоды

Печатается на правах рекламы

УДК 621.791.01

В. В. МЕЛЮКОВ, д-р техн. наук, А. Г. КОРЕПАНОВ, канд. техн. наук, Д. А. РЕПКИН, инж.
(ВятГУ, г. Киров),
М. И. ПЛЫШЕВСКИЙ, канд. техн. наук
(НИКИЭТ, Москва)

Управление тепловым режимом комбинированного процесса сварки и локальной термоциклической обработки кольцевых соединений

При изготовлении кольцевых сварных соединений технологических каналов атомных электростанций применяют комбинированный технологический процесс[1], в котором электронно-лучевая сварка (ЭЛС) кольцевого стыка сопровождается термомеханической обработкой сварного шва: прокаткой роликами наружной поверхности трубы из сплава Э125 в зоне сварного шва с последующим вакуумным отжигом в течение 10 ч при температуре 580 °С. Основными недостатками этого процесса являются низкая производительность и высокие энергоемкость и стоимость конечной продукции. Следует отметить также отсутствие автоматизации: контроль всех технологических операций выполняется визуально, оптимизация теплового режима не применяется. Возможный перегрев жидкого металла в сварочной ванне приводит к интенсивному кипению и разбрызгиванию, нарушению геометрии шва, а также увеличению ширины ЗТВ и снижению прочности сварного шва [1].

В данной работе проведено исследование комбинированного процесса сварки кольцевых соединений с моделированием теплового режима и оптимизацией его параметров, а также рассмотрена задача оптимального управления локальной термоциклической обработкой сварного соединения пучком электронов (ЭЛТЦО) с целью исключения из технологического процесса прокатки роликами и сокращения продолжительности вакуумного отжига в печи. Для управления процессом ЭЛТЦО разработана система управления с обратными связями по температуре и току электронного луча с предварительной оптимизацией теплового режима обработки.

Для моделирования теплового процесса сварки и локальной термоциклической обработки кольцевого соединения технологического канала использовали нестационарное уравнение теплопроводности в подвижной системе цилиндрических координат $0yr\Theta$ (рис. 1). Координата r связана с перемещающимся источником q и является подвижной. Технологические каналы можно отнести к тонкостенным (отношение толщины стенки трубы δ к ее радиусу r менее 0,1), поэтому схему свариваемого технологического канала можно рассматривать как цилиндрическую оболочку радиусом r = const. Уравнение теплопроводности в этом случае имеет вид [2]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \Theta^2}\right) - \frac{v}{r}\frac{\partial T}{\partial \Theta} + \frac{q}{c_V}, \qquad (1)$$

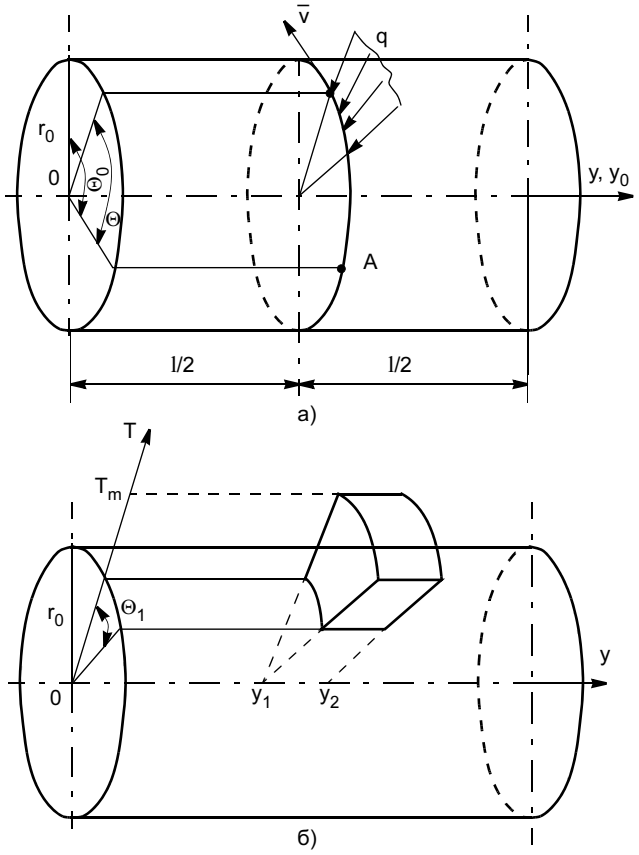


Рис. 1. Схема сварного соединения (*а*) и заданное распределение температуры по условию (4) в цилиндрической системе координат (*б*)

[1] Патент 2259906, 2259264 (РФ).

где $T(y, \Theta, t)$ — нестационарный тепловой процесс в цилиндрической оболочке радиуса r длиной l при воздействии подвижного источника с плотностью мощности q, перемещающегося вдоль стыка кольцевого соединения с линейной скоростью v в сечении $y = l/2$ (см. рис. 1, *а*); c_V, a — объемная теплоемкость и коэффициент температуропроводности соответственно.

Начальное распределение температуры и граничные условия имеют вид

$$T(y, \Theta, t) = \varphi(y, \Theta);$$

$$\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0} = q_1(\Theta, t); \quad -\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=l} = q_2(\Theta, t), \quad (2)$$

где λ — коэффициент теплопроводности.

Используя конечное косинус-преобразование Фурье по переменным y и θ, получим решение уравнения (1) с краевыми условиями (2) [3] в виде двойного тригонометрического ряда

$$Q(y, \Theta, t) = \int_0^t \int_0^l \int_{-\pi}^{\pi} q(\eta, \alpha, \tau) K(y, \eta, \Theta, \alpha, t, \tau)) d\alpha d\eta d\tau. \quad (3)$$

Здесь $Q(y, \Theta, t)$ — функция, зависящая от T, q_1, q_2, φ; $K(y, \eta, \Theta, \alpha, t, \tau)$ — ядро уравнения, которое определяется выражением

$$K(y, \eta, \Theta, \alpha, t, \tau) =$$

$$= \frac{1}{2c_V \pi l} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \beta_{n,m} e^{-ab_{n,m}(t-\tau)} \times$$

$$\times \cos(\mu_m y) \cos(\mu_m \eta) \cos\left[n\left(\Theta - \alpha - \frac{v}{r}(t-\tau)\right)\right],$$

где $\beta_{n,m} = \begin{cases} 1, \text{ если } n = m = 0; \\ 2, \text{ если } n = 0, m \neq 0 \text{ и } n \neq 0, m = 0, \\ \mu_m = \dfrac{\pi m}{l}, b_{n,m} = \dfrac{n^2}{r^2} + \mu_m^2; \ 0 \leq \tau \leq t. \\ 4, \text{ если } n \neq 0, m \neq 0. \end{cases}$

В выражении $Q(y, \Theta, t)$ функции тепловых потоков q_1, q_2 на границах оболочки и начальное распределение температуры φ известны. Распределение температуры T в момент времени t' (окончание нагрева) можно задать с учетом необходимых размеров и геометрии сварного шва, максимальных температур нагрева в зоне плавления и в ОШЗ, а также с учетом других параметров, определяющих необходимые свойства сварного соединения [4]. В этом случае функция $Q(y, \Theta, t)$ становится заданной, а уравнение (3) следует рассматривать как интегральное уравнение относительно неизвестной функции $q(y, \Theta, t)$ [5].

Сформулируем задачу оптимального управления с ограничением на управление и получим ее решение, используя принцип максимума для систем с распределенными параметрами [6].

Построим заданное распределение температуры в момент времени t' и обозначим эту функцию $T'(y, \Theta)$. Зададим функцию $T'(y, \Theta)$ в виде кусочно-постоянной функции (см. рис. 1, *б*) с равномерным распределением максимальной температуры нагрева T_m по ширине сварного шва от y_1 до y_2 и по длине зоны нагрева, определяемой угловой координатой Θ_1 в подвижной системе координат $0yr\Theta$:

$$T'(y, \Theta) = \begin{cases} T_m \text{ при } y \in [y_1, y_2], \Theta \in [0, \Theta_1]; \\ 0 \text{ при } y \in [0, y_1) \cup (y_2, l], \\ \quad \Theta \in [-\pi, 0) \cup (\Theta_1, +\pi]. \end{cases} \quad (4)$$

Сварочные источники нагрева имеют ограниченную по величине плотность мощности, которую можно определить из условия

$$0 \leqslant q(y, \Theta, t) \leqslant q_{\max}. \quad (5)$$

В этом случае можно поставить и решить задачу определения источника нагрева $q(y, \Theta, t)$, удовлетворяющего ограничению (5), при воздействии которого обеспечивается минимальное отклонение температуры $T(y, \Theta, t')$ от заданной $T'(y, \Theta)$. Решение задачи сводится к поиску минимума функционала

$$I = \int_0^l \int_{-\pi}^{\pi} \left[Q'(y, \Theta, t') - \int_0^{t'} \int_{-\pi}^{\pi} q(\eta, \alpha, \tau) \times \right.$$

$$\left. \times K(y, \eta, \Theta, \alpha, t', \tau) d\alpha d\eta d\tau \right]^2 d\Theta dy \to \min, \quad (6)$$

где $Q'(y\ \Theta, t')$ определяется функциями (2) и (4), представленными в виде двойного тригонометрического ряда.

Согласно принципу максимума, для систем с распределенными параметрами [6] поиск минимума функционала (6) при условии (5) сводится к решению нелинейного интегрального уравнения, основанного на невязках уравнения (3) при подстановке вместо $Q(y, \Theta, t)$ функции $Q'(y\ \Theta, t')$. Решая это интегральное уравнение методом замены ядра на вырожденное [5], получим выражение плотности мощности источника

$$q(y, \Theta, t) = \frac{1}{2} q_{\max} +$$

$$+ \frac{1}{2} q_{\max} sign \sum_{n=0}^{N} \sum_{m=0}^{M} \cos(\mu_m y) e^{-ab_{n,m}(t'-t)} \times$$

$$\left(\gamma_{1n,m} \cos\left[n\left(\Theta - \frac{v}{r}(t'-t)\right)\right] + \right.$$

$$\left. + \gamma_{2n,m} \sin\left[n\left(\Theta - \frac{v}{r}(t'-t)\right)\right] \right), \quad (7)$$

где $\gamma_{1n,m}$, $\gamma_{2n,m}$ — коэффициенты, определяемые при решении нелинейного интегрального уравнения [7].

Выражение (7) функции $q(y, \Theta, t)$ определяет оптимальную пространственно-временную структуру объемного источника нагрева при сварке кольцевого соединения технологического канала. Заметим, что в этом случае функция q объемного источника входит в уравнение (1) и не зависит от координаты r.

При определенных допущениях эту задачу управления можно применять и для моделирования теплового режима локальной термической или термоциклической обработки. Процесс локальной термической обработки осуществляется без расплавления, при воздействии поверхностного источника, поэтому функция q плотности мощности источника при нагреве без расплавления должна входить не в уравнение теплопроводности, а в граничные условия. Оценим, при каких допущениях и при каком управлении тепловым процессом можно применять уравнения (1)—(7) для моделирования локальной термической или термоциклической обработки.

Моделирование оптимального теплового процесса при воздействии поверхностного источника показывает, что при оптимальной форме пятна нагрева в виде двух полос, расходящихся к хвостовой его части [7], поверхностный источник обеспечивает наиболее равномерное распределение температуры по толщине нагреваемого тела, например пластины толщиной δ, и в частности при δ = 0,4 см наибольшее отклонение изотермы 900 °С от вертикали достигается на нижней поверхности и составляет несколько десятых долей миллиметра (рис. 2, *а*). Таким образом, при воздействии источника с оптимальным по форме пятном нагрева относительное отклонение изотермы составляет 5—10 % от равномерного (идеального) распределения, которое имеет место при объемном источнике, равномерно распределенном по толщине.

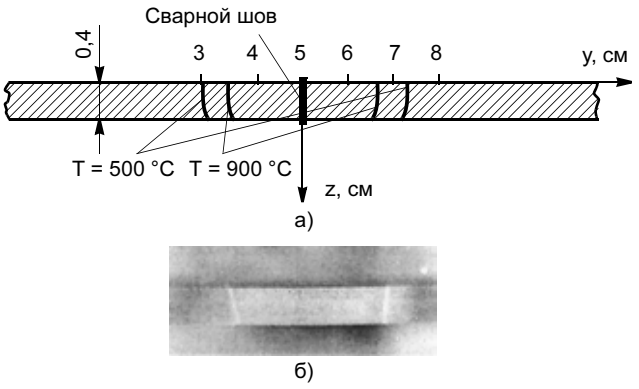


Рис. 2. Распределение температуры по толщине стенки трубы (*а*) и макроструктура зоны обработки (*б*) поверхностным источником с оптимальной формой пятна нагрева

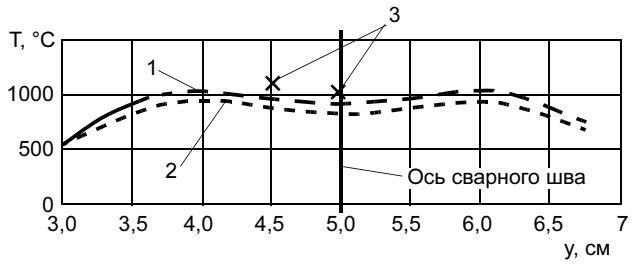


Рис. 3. Распределение температуры по ширине сварного соединения при воздействии объемного (*1*) и поверхностного источников в плоскости $z = \delta$ (*2*) и в точках крепления термопар (*3*)

Близкое к равномерному распределение температуры по толщине при воздействии поверхностного источника с оптимальным по форме пятном нагрева подтверждается экспериментально (рис. 2, *б*) при исследовании термически чистой трубы без сварного шва.

Сравнительная оценка распределения температур по толщине при воздействии объемного источника и поверхностного с оптимальной формой пятна нагрева допускает использование схемы объемного источника для моделирования теплового процесса термической или термоциклической обработки, что не приводит к увеличению размерности задачи и повышению трудоемкости моделирования.

Верификацию численных значений температур, полученных в результате математического моделирования, выполняли также путем сравнения расчетных значений температур с результатами инструментальных замеров, выполненных с помощью термопар, зачеканенных на оси сварного шва и на расстоянии 0,5 см от него. На основании результатов моделирования и измерения температур (рис. 3) ошибка математического моделирования тепловых процессов не превышает 15 %, что является допустимым и подтверждает адекватность расчетов при оптимальном источнике.

Сформируем заданное распределение температуры для локальной термоциклической обработки с учетом скоростей нагрева w_1, охлаждения w_2 и максимальной температуры T_m, до которой будет осуществляться нагрев при термоциклировании. Размеры зоны обработки зададим координатами y_1', y_2', Θ_1', Θ_3' (рис. 4, *а*). Выражение заданного распределения температуры для локальной термической обработки будет иметь вид

$$T'(y, \Theta) =$$

$$= \begin{cases} w_1 \frac{r}{v}(\Theta - \Theta_1') \text{ при } y \in [y_1', y_2'], \Theta \in [\Theta_1', \Theta_2'], \\ \qquad w_1 \frac{r}{v}(\Theta_2' - \Theta_1') = T_m; \\ T_m - w_2 \frac{r}{v}(\Theta - \Theta_2') \text{ при } y \in [y_1', y_2'], \Theta \in [\Theta_2', \Theta_3']; \\ 0 \text{ при } y \in [0, y_1' \cup (y_2', l], \Theta \in [-\pi, \Theta_1') \cup (\Theta_3, \pi]. \end{cases} \quad (8)$$

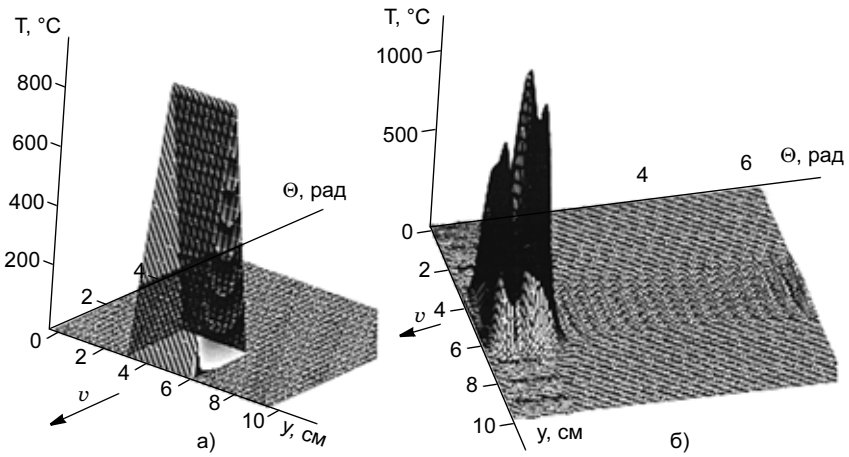


Рис. 4. Заданное температурное поле (*а*) и расчетное распределение температур (*б*) при воздействии оптимального источника при ЭЛТЦО

Для определения оптимального источника нагрева в каждом цикле термической обработки используем математическую модель (1)—(7) при заданном распределении температуры (8).

Численное моделирование оптимального теплового режима сварки и локальной термоциклической обработки кольцевого сварного соединения проводили для технологического канала со срединным радиусом r = 4,4 см, толщиной δ = 0,4 см, длиной l = 10 см и при следующих теплофизических коэффициентах для сплава циркония Э125 [8] и параметрах режима сварки [9]: объемная теплоемкость c_V = 2,07 Вт/(см^3 · с); коэффициент температуропроводности a = 0,1 см^2/с; коэффициент теплопроводности λ = 0,21 Вт/(см · °С); плотность мощности в пятне нагрева $q_{max} = 10^5$ Вт/см^3; линейная скорость источника v = 0,46 см/с (n = 1 об/мин) и время нагрева для сварки t' = 2,5 с.

Исходные данные для оптимизации пространственно-временной структуры пятна нагрева в режиме ЭЛТЦО отличались от исходных данных для моделирования режима сварки формой заданного распределения температуры и размерами зоны нагрева, значениями скорости v и максимальной температуры T_m. Для заданного распределения (8) приняты скорости нагрева и охлаждения 90 °С/с, максимальная температура T_m = 900 °С, незначительно превышающая температуру фазового превращения $T_{\alpha\to\beta}$ = 867 °С. Линейная скорость термоциклической обработки в 2 раза меньше скорости сварки (v = 0,23 см/с), размеры зоны термической обработки на порядок превышают размеры сварного шва (~0,3 × 0,3 см для сварки и ~3 × 3 см для ЭЛТЦО).

Расчет последовательности термических циклов сварки и термоциклической обработки [10, 11] выполняли в два этапа. Первый этап — решение задачи оптимального управления с целью определения пространственно-временной структуры пятна нагрева по заданным распределениям (4) и (8). На рис. 5 приведены заданное и расчетное распределения температур поперек оси сварного шва, на рис. 4 — при воздействии источника с оптимальной формой пятна нагрева [12—14].

Затем методом шаговых решений прямой задачи рассчитывали последовательности термических циклов сварки и последующей локальной термоциклической обработки (рис. 6, *а*). Минимальная температура на стадии охлаждения в каждом термическом цикле принималась равной температуре рекристаллизации сплава циркония 550 °С. Продолжительность охлаждения до этой температуры в каждом термическом цикле в период отключения источника определяется естественным стоком теплоты и зависит от теплонасыщения в период предшествующих термических циклов. Эффективную мощность источника и скорость обработки варьировали в каждом термическом цикле в зависимости от теплонасыщения (рис. 6, *б*).

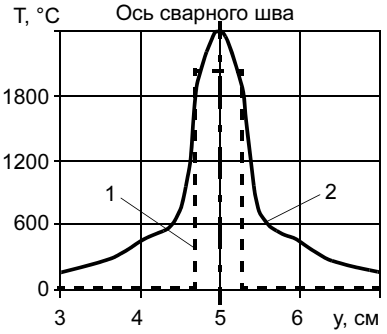


Рис. 5. Заданное (*1*) и расчетное (*2*) распределения температур при сварке

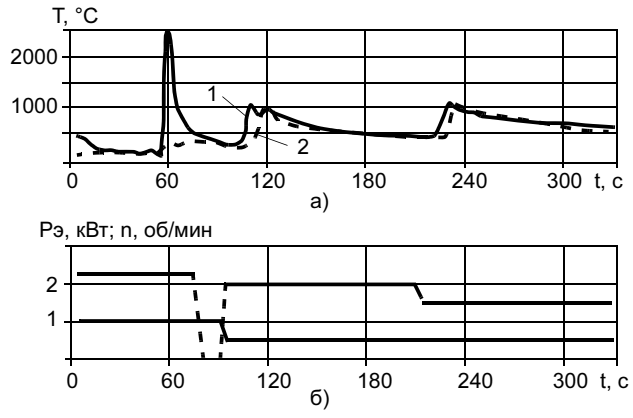
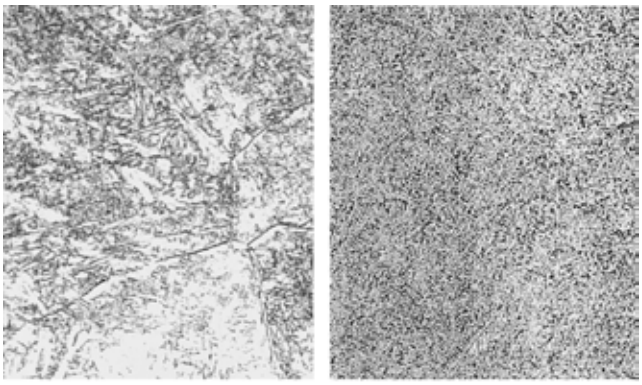


Рис. 6. Последовательность трех расчетных термических циклов (*а*) и временная диаграмма управления эффективной мощностью $P_э$ (штриховая линия) и угловой скоростью вращения канала n (сплошная) (*б*): *1* — y = 5 см (ось шва); *2* — y = 3,5 см (граница ЗТВ)



а) б)

Рис. 7. Микроструктура (×200) металла ЗТВ сварного соединения

Следует отметить, что термические циклы сварки и локальной обработки (см. рис. 6, *а*) определяют изменение температуры в течение каждого оборота в точке сварного соединения, расположенной в конце оборота технологического канала (в точке замыкания сварного шва), а временная диаграмма изменения эффективной мощности (см. рис. 6, *б*) определяет величину $P_э$ в течение каждого оборота.

Для управления технологическим процессом ЭЛТЦО кольцевых сварных соединений разработана система управления, реализующая оптимальное управление технологическим процессом [15, 16], Обеспечение заданного режима обработки при наличии различного рода помех и нестабильности параметров выполняется с помощью обратных связей по току луча и по температуре.

На рис. 7 приведены результаты металлографических исследований металла ОШЗ после сварки (рис. 7, *а*) и после семи циклов ЭЛТЦО сварного соединения с последующей печной обработкой (рис. 7, *б*). Анализ структуры показывает, что в исходном состоянии даже после сварки оптимальным источником сохраняются крупные зерна с игольчатой структурой внутри и отсутствуют следы распада мартенситных игл (см. рис. 7, *а*). После семи циклов ЭЛТЦО с последующим отжигом при температуре 580 °С в течение 5 ч в металле ОШЗ границы зерен и мартенситные иглы не просматриваются, а по всему полю шлифа наблюдаются мелкие выделения стабильной фазы β-ниобия, что подтверждается рентгеноструктурным анализом (см. рис. 7, *б*). Структура металла ОШЗ весьма похожа на структуру основного металла трубы из сплава Э125, характеризующегося стабильным состоянием. Время отжига в печи в 3 раза меньше, чем по штатной технологии, прокатку роликами не применяли.

Выводы

1. Металлографические исследования, механические испытания и испытания на коррозионную стойкость показали, что предлагаемый комбинированный процесс сварки кольцевых сварных соединений обеспечивает заданные прочностные, коррозионные и эксплуатационные характеристики изделий из сплава Э125.

2. Применение локальной термоциклической обработки сварного соединения пучком электронов позволило исключить операцию прокатки роликами и сократить длительность печной обработки, что увеличивает производительность изготовления технологических каналов и снижает энергетические затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Управление* электронно-лучевой сваркой / В. Д. Лаптенок, А. В. Мурыгин, Ю. Н. Серегин, В. Я. Браверман. Красноярск: САА, 2000. 234 с.
2. *Карслоу У., Егер Д.* Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.
3. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
4. *Углов А. А., Мелюков В. В.* О численном решении некоторых задач оптимального управления тепловыми процессами при сварке плавлением // Физика и химия обработки материалов. 1977. № 1. С. 130—134.
5. *Березин И. С., Жидков Н. П.* Методы вычислений. М.: Физматгиз, 1962. Т. 2. 640 с.
6. *Бутковский А. Г.* Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1965. 474 с.
7. *Мелюков В. В.* Влияние оптимального теплового режима сварки на остаточные деформации и напряжения сварных соединений сплава Zr—2,5 % Nb // Сварочное производство. 1997. № 2. С. 2—4.
8. *Займовский А. С., Никулина А. В., Решетников Н. Г.* Циркониевые сплавы в атомной энергетике. М: Энергоиздат, 1982. 232 с.
9. *Рыкалин Н. Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.
10. *Федюкин В. К.* Метод термоциклической обработки металлов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 192 с.
11. *Корольков П. М.* Термическая обработка сварных соединений. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Экотехнология, 2003. 124 с.
12. *Репкин Д. А., Корепанов А. Г., Мелюков В. В.* Поиск оптимального управляющего воздействия при термоциклической обработке сварных соединений // Наука—производство—технология—экология. В 8 т. Киров: ВятГУ, 2006. Т. 5. С. 82.
13. *Мелюков В. В., Корепанов А. Г., Репкин Д. А.* Оптимизация теплового режима и управление процессом электронно-лучевой термоциклической обработки кольцевых сварных соединений. С.-Петербург, 2006. С. 255—262.
14. *Мелюков В. В., Тюрин В. Н.* Оценка сварочных деформаций и напряжений при оптимизации режима сварки // Прочность и диагностика сварных конструкций. М.: МГТУ, 1991. С. 40—41.
15. *Система* управления процессом электронно-лучевой сварки и термической обработки кольцевых соединений труб на базе локальных контроллеров / В. В. Лаптев, В. В. Мелюков, В. П. Медведев, А. Г. Корепанов // Сварочное производство. 1999. № 11. С. 15—19.
16. *Разработка* и опытное освоение на ОАО ЧМЗ (г. Глазов) комплекса автоматизированного управления электронно-лучевой сваркой кольцевых соединений труб // Сварка Урала—2003. Киров: ВятГУ, 2003. С. 124—125.

УДК 621.9.025.7:62-932.2

В. В. ИВАНАЙСКИЙ, канд. техн. наук, Н. Т. КРИВОЧУРОВ, канд. техн. наук
(Алтайский государственный аграрный университет),
Е. А. ИВАНАЙСКИЙ, инж.
(Алтайский государственный технический университет)

Контроль температуры плавления многокомпонентной шихты при индукционной наплавке

Шихта для индукционной наплавки является многокомпонентной смесью, температура плавления которой зависит как от состава, так и от содержания компонентов. Структура и свойства металла наплавленного слоя в значительной мере определяются температурой жидкой фазы и временем ее контакта с наплавляемой поверхностью. Если температура наплавляемого металла превышает температуру солидуса данной стали, то происходит формирование ослабленной зоны по границе сплавления[1]. Увеличение степени перегрева расплава увеличивает степень межкристаллитного проникновения основного металла в пограничные объемы наплавленного металла, что в свою очередь снижает износостойкость изделия.

При выполнении наплавочных работ необходимо контролировать температуру плавления каждой партии шихты, а также периодически осуществлять экспресс-контроль температуры нагрева упрочняемой поверхности для последующей корректировки режимов высокочастотного нагрева.

Для определения температуры плавления наплавочной шихты хромель-алюмелевую термопару диаметром 0,2 мм, изолированную двухканальной керамикой от места горячего спая до соединения с компенсационными проводами, приваривали к зерну твердого сплава и помещали в наплавляемую шихту, насыпанную ровным слоем толщиной 3 мм на сталь 65Г. При этом каждый горячий спай термопары через компенсационные провода присоединяли к высокочувствительному усилителю и плате сбора информации ЭВМ. Подготовленный образец с шихтой помещали в щелевой индуктор и проводили нагрев таким образом, чтобы наибольшее количество теплоты выделялось на некотором расстоянии (40—80 мм) от термопары. В процессе наплавки записывали показания в координатах: время (мс) и эдс (мВ). Результаты измерений приведены на рис. 1.

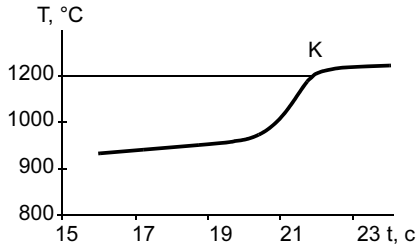


Рис. 1. Изменение температуры наплавочной шихты при индукционном нагреве детали

По мере приближения фронта плавления к термопаре происходит постепенное повышение температуры, резкое увеличение скорости нагрева наблюдалось при достижении фронтом плавления участка, на котором располагался термодатчик. Окончание плавления наплавочной шихты характеризовалось характерным перегибом (точка *K* на рис. 1), по которому и определяли требуемую температуру.

Контрольные наплавки, выполненные с применением порошков ПС-14-80 и ПГС-27 и генератора ВЧГ3-160/0,66, показали, что основу сплава составляет легированный ледебурит. Последний состоит из карбидного каркаса, ячейки которого заполнены в зависимости от скорости охлаждения после кристаллизации или ферритно-карбидной смесью, или мартенситом. Кроме эвтектики в сплаве присутствует большое количество первичных карбидов, имеющих игольчатую или пластинчатую форму (рис. 2). В структуре практически отсутствовала неблагоприятная доэвтектическая

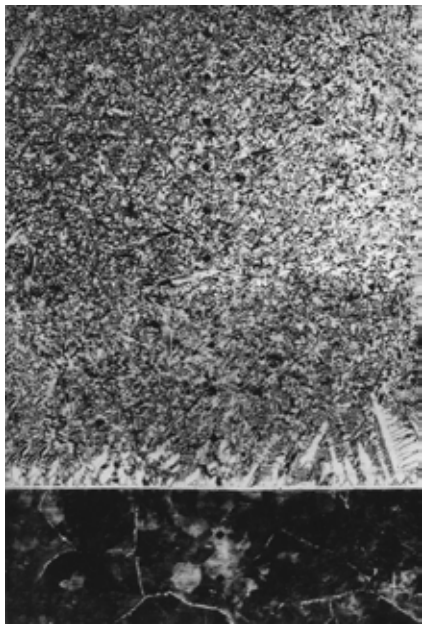


Рис. 2. Оптическая микрофотография износостойкой наплавки. ×500

[1] *Индукционная* наплавка твердых сплавов / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, Н. В. Казинцев, Д. А. Алдырев. М.: Машиностроение, 1970.

зона. Микротвердость диффузионной зоны составляла порядка 4690—4850 Па, зоны сплавления — 4390—5320 Па. Средняя микротвердость карбидной эвтектики колебалась от 6320 до 8950 Па. Твердость наплавленного слоя порядка 55—58 HRC и отвечает техническим требованиям, предъявляемым к изделию.

Вывод

1. Проведенные исследования позволили упростить методику определения температуры плавления многокомпонентных смесей, а также осуществлять контроль температуры упрочняемой поверхности.

2. Применение данной методики контроля при наплавке лап культиватора обеспечило повышение износостойкости наплавленного слоя на 20—30 %.

УДК 621.791.762.1

В. С. КУЧУК-ЯЩЕНКО, канд. техн. наук, В. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук,
А. Г. САХАЦКИЙ, инж., А. А. НАКОНЕЧНЫЙ, инж.
ИЭС им. Е. О. Патона

Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг

В ИЭС им. Е. О. Патона проводятся работы по разработке технологии контактной сварки сопротивлением трудно свариваемых материалов с использованием наноструктурных фольг в качестве вставок между соединяемыми деталями.

В данной работе[1] приведены результаты исследования особенностей формирования соединений алюминиевых сплавов разных систем легирования — АД0, 1460, АМг6. При сварке использовали фольги систем Al—Ni и Al—Cu, состоящие из наноразмерных слоев алюминия и никеля, алюминия и меди соответственно. Микроструктура фольги системы Al—Ni приведена на рис. 1. Фольги изготовляли методом электронно-лучевого испарения и последующей конденсации компонентов. Толщина фольг составляла от 10 до 50 мкм.

Эксперименты по сварке проводили на специализированной стыкосварочной машине К-766, оборудованной необходимой технологической оснасткой. В отличие от серийных машин такого класса, для которых характерно выполнение традиционного цикла сварки со свободной деформацией металла в процессе осадки, на данной машине реализуется новая технология стыковой сварки, для которой характерны следующие особенности.

В процессе сварки к деталям последовательно прикладывают два усилия: на начальной стадии нагрева — малое, которое регулируется до необходимой величины в процессе нагрева, и значительно большее — на конечной стадии процесса сварки при осадке. При прохождении тока нагревается только металл припусков под сварку, который выдавливается при объемном сжатии в процессе осадки, создаваемом специальным формирующим устройством технологической оснастки.

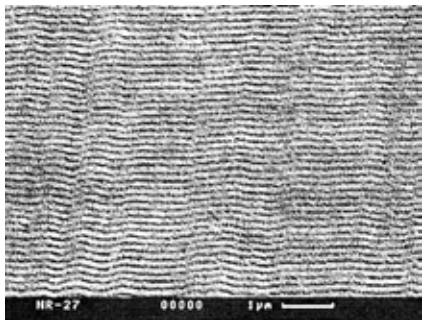


Рис. 1. Микроструктура фольги системы Al—Ni

Оптимальные режимы сварки подбирали на модельных образцах размером 10 × 10 × 150 мм без использования фольги. Определены следующие параметры сварки: максимальное усилие осадки 89—102 МПа, диапазон регулирования усилия при нагреве 1,5—6,0 МПа, максимальный вторичный ток при напряжении на первичной обмотке 380 В составил 8,3 кА, плотность тока 54—75 А/мм^2, время сварки 1,5—2,0 с.

Затем на таких же модельных образцах проводили эксперименты по сварке с использованием фольги. Установили, что использование фольги приводит к высо-

[1] Авторы выражают благодарность проф. А. И. Устинову за предоставленные нанослойные фольги, Т. В. Мельниченко — за помощь в проведении микроструктурных исследований.

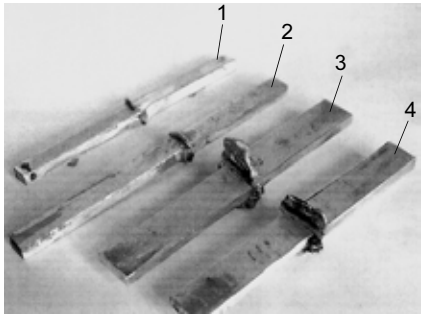


Рис. 2. Образцы соединений сплава АМг6, полученные контактной стыковой сваркой с использованием наноструктурной фольги системы Al—Ni со скоростью нагрева до 500 (*1*, *2*) и 500—750 (*3*, *4*) °С/с

коконцентрированному выделению теплоты в зоне соединения и, как следствие, уменьшению времени сварки на 0,3—0,5 с.

Энергетику процесса сварки оценивали по объему смещенного металла на этапах нагрева и осадки. При сварке без использования фольги общий объем смещенного металла составил 768—880 мм^3 за время 1,5—2,0 с, а при использовании фольги — 570—760 мм^3 за время 0,8—1,6 с. При этом на стадии нагрева объем смещенного металла составляет 240—300 мм^3, а на стадии осадки под током — 336—440 мм^3. Это является косвенным свидетельством того, что применение фольги при контактной сварке сопротивлением снижает энергоемкость процесса.

При использовании фольги системы Al—Ni возможно существенное увеличение выделения теплоты в зоне соединения за счет протекания экзотермической реакции между никелем и алюминием. Реакция начинается при температуре примерно 400 °С и идет с образованием интерметаллидных фаз.

Развитие этой реакции и, соответственно, формирование соединения зависят от скорости нагрева (рис. 2): с увеличением скорости нагрева увеличивается объем грата.

В том случае, когда нагрев идет со скоростью до 500 °С/с, в металле шва по линии сплавления присутствуют линейные фрагменты фольги, что ухудшает прочностные характеристики соединения. Разрушение образцов из сплава АМг6 происходило по стыку, а прочность на разрыв составила 130—150 МПа. При электронно-микроскопических исследованиях установили, что фрагменты фольги сохраняют слоистую структуру, т. е. реакция взаимодействия алюминия и никеля идет локально (рис. 3).

В макроструктуре соединений, полученных со скоростью нагревания 500—750 °С/с, линейные фрагменты фольги не наблюдаются. Разрушение соединений происходило по ОШЗ. Прочность на разрыв составила 290—300 МПа. Очевидно, в этом случае экзотермическая реакция прошла полностью. Продукты реакции вместе с расплавом преимущественно переходят в грат.

При скорости нагревания выше 800 °С/с экзотермическая реакция имеет взрывной характер.

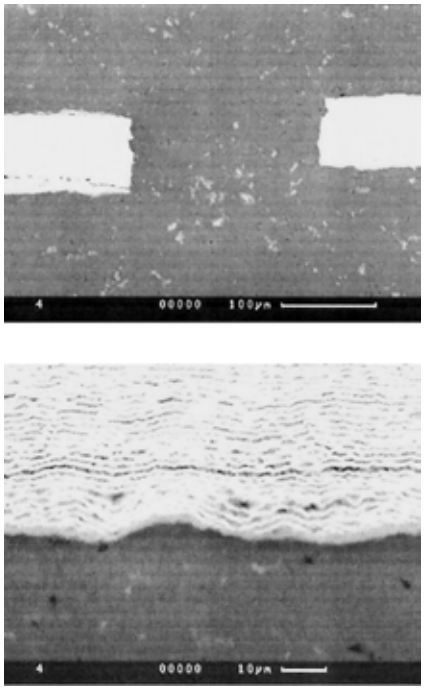


Рис. 3. Фрагменты фольги в металле сварного шва

Рис. 4. Образцы соединений сплава АМг6, полученные контактной стыковой сваркой с использованием наноструктурной фольги системы Al—Ni со скоростью нагрева выше 800 °С/с

Расплав, образующийся в стыке, выбрасывается из зоны соединения, что препятствует формированию шва (рис. 4).

При использовании фольги системы Al—Cu происходит значительное снижение температуры и времени сварки. Это обусловлено, вероятно, активацией диффузионных процессов при образовании в наноструктурной фольге эвтектики Al—Al_2Cu с температурой плавления 548 °С. Это находит подтверждение в наблюдаемом проникновении жидкой фазы в алюминиевый сплав по структурным границам. Сравнительный анализ макроструктуры соединений показал, что при сварке с использованием фольги объем металла, который удаляется в грат, увеличивается. Максимальная прочность сварных соединений составляет 75 МПа. Прочность соединений, полученных по стандартной технологии, не превышает 60 МПа.

Выводы

1. Использование наноструктурных фольг при контактной стыковой сварке алюминиевых сплавов приводит к высококонцентрированному выделению теплоты в стыке, что уменьшает время сварки и предотвращает разупрочнение металла.

2. При использовании фольги системы Al—Ni при контактной стыковой сварке алюминиевых сплавов происходит дополни-

тельное выделение теплоты в стыке, обусловленное протеканием экзотермической реакции между алюминием и никелем. Развитие экзотермической реакции зависит от скорости нагрева при сварке. Оптимальной для получения качественных соединений является скорость нагрева 500—800 °С/с.

3. Использование алюминиево-медных наноструктурных фольг позволяет заметно уменьшить температуру сварки алюминиевых сплавов (на 100—150 °С) благодаря протеканию процесса формирования в фольге эвтектики Al—Al_2Cu. Это имеет особое значение при сварке термически нестабильных алюминиевых сплавов.

УДК 621.791.927.6

Р. Н. САЙФУЛЛИН, канд. техн. наук
Башкирский государственный аграрный университет (Уфа)

Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций

Покрытия, полученные электроконтактной приваркой (ЭКП) порошковых композиций, применяют при восстановлении изношенных деталей машин и в качестве покрытий различного назначения. Состав привариваемого материала может быть различным и зависит от требуемых свойств.

В данной работе исследованы покрытия, полученные ЭКП порошково-полимерных лент (ППЛ), в состав которых входят порошки железа (основной компонент), меди и олова (функциональные наполнители для улучшения трибологических свойств), а также полимер, применяемый в качестве связующего компонента для металлических порошков при ЭКП (поливинилбутираль — ПВБ).

Прочность сцепления покрытия с основой является одной из определяющих характеристик соединения, обусловливающих сохранение в течение достаточно длительного времени работоспособности покрытия при эксплуатации. Прочность сцепления можно определять различными методами: отрывом при нормальном приложении силы, проворачиванием слоя тангенциальной силой, срезом (сдвигом) при приложении силы по оси образца. Учитывая, что большинство восстановленных ЭКП деталей работают в условиях трения скольжения, т. е. восстановленный слой испытывает деформации сдвига, прочность сцепления с основой исследовали на срез согласно методике, приведенной в работах [1, 2].

В качестве основного металла детали применяли образцы из высокопрочного чугуна, вырезанные из коренных шеек коленчатого вала Gh 75-50-3 по ТУ ВАЗ двигателя ВАЗ 2101. Выбор основного металла обусловлен худшей свариваемостью чугуна по сравнению со сталью. Обеспечивая необходимую прочность сцепления с высокопрочным чугуном, можно гарантировать не меньшую прочность сцепления со стальными деталями.

Вырезанные из коленчатого вала образцы после центрового сверления и растачивания шлифовали в центрах на специальной оправке, после чего на них приваривали ППЛ. На токарном станке оправку с образцом крепили также в центрах, и боковые поверхности приваренного слоя обтачивали до ширины 4 мм. Подготовленный таким образом образец продавливали на прессе П-125 (ГОСТ 8905—73) сквозь закаленное стальное кольцо.

Прочность сцепления определяли по формуле

$$\tau = F/\pi db,$$

где F — сила сжатия, Н; d, b — соответственно диаметр образца и ширина покрытия, м.

Оптимальные режимы приварки определяли по критерию максимальной τ, причем содержание функциональных наполнителей и связующего полимера назначали максимальным, так как по результатам поисковых экспериментов при меньшем содержании меди, олова и полимера в ППЛ прочность сцепления увеличивается. Максимальное содержание связующего полимера при определении оптимальных режимов приварки составляло 15 % общей массы навески. При большем содержании полимера (более 20 %) происходит сильная усадка ППЛ под давлением роликов-электродов и покрытие получается очень тонкое (менее 0,3 мм при приварке ленты толщиной 2 мм), наряду с этим значительно ухудшается прочность сцепления.

Максимальное содержание порошков меди или олова соответственно составляло 20 и 10 % общей массы навески, при большем содержании медного порошка в ППЛ уменьшается ее удельное электро-

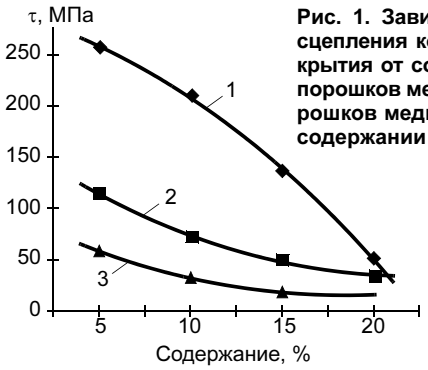
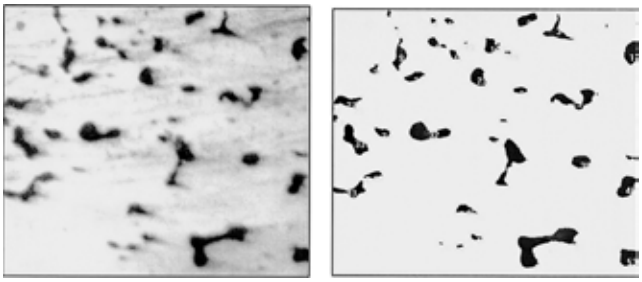


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления композиционного покрытия от содержания ПВБ (без порошков меди и олова) (*1*) и порошков меди (*2*) и олова (*3*) при содержании 5 % ПВБ



а) б)

Рис. 2. Изображение открытой пористости покрытий до (*а*) и после (*б*) обработки

сопротивление и в контакте частиц Fe—Cu свариваемость затрудняется. При высоком содержании в ППЛ оловянного порошка (более 10 %) приварка затруднена из-за большого выброса перегретого металла (олова) на поверхность покрытия при ЭКП, что обусловливает низкую прочность самого покрытия.

Экспериментально были подобраны оптимальные режимы приварки ППЛ: ток 7,5—8,0 кА, продолжительность импульса сварки 0,04 с, продолжительность паузы 0,06 с, давление роликов-электродов 0,4 МПа (показания манометра установки). Частота вращения детали составляла 2 мин$^{-1}$, приварку выполняли на образцах из высокопрочного чугуна диаметром 50 мм, толщина ППЛ составляла 1,0—1,2 мм. Данный режим приварки является жестким, так как характеризуется большой величиной тока и малой продолжительностью импульса и паузы, а также относительно высоким давлением на ролики-электроды.

Необходимость жестких режимов при приварке ППЛ с медным порошком обусловлена следующим. При малом $t_{имп}$ и большом $I_{св}$ процессы теплоотвода мало влияют на формирование литой зоны и, учитывая высокое давление роликов-электродов, увеличивается тепловложение в свариваемую точку за единицу времени. При увеличении же $t_{имп}$ в зоне контакта частиц Fe—Cu площадь их соприкосновения растет, следовательно, уменьшаются сопротивление и температура.

На подобранных режимах были получены композиционные покрытия с разным содержанием порошков меди, олова и связующего полимера. Зависимости между составом ППЛ и прочностью сцепления с основой приведены на рис. 1. Видно, что наиболее сильное влияние на прочность сцепления оказывает содержание связующего полимера в ППЛ (его увеличение с 5 до 20 % снижает прочность сцепления более чем в 4 раза). Это объясняется ухудшением приварки из-за продуктов выгорания полимера. Увеличение содержания порошков меди и олова также снижает прочность сцепления, при этом оловянный порошок в ППЛ примерно в 2 раза сильнее уменьшает сцепление по сравнению с медным порошком.

Кроме влияния на прочность сцепления связующий полимер в ППЛ также влияет на пористость покрытия, так как полностью выгорает при ЭКП. Для определения величины открытой пористости покрытия с помощью цифрового фотоаппарата и микроскопа ММУ-1 с заранее подготовленных микрошлифов снимали изображения пористости (для совмещения работы цифрового фотоаппарата и микроскопа подбирали соответствующий объектив). Отснятые кадры покрытий с пористостью обрабатывали с помощью программы визуальной обработки Image.pro, при этом каждую пору на снимке нумеровали и определяли ее площадь (рис. 2). По соотношению площади пор к общей площади кадра определяли величину открытой пористости покрытия.

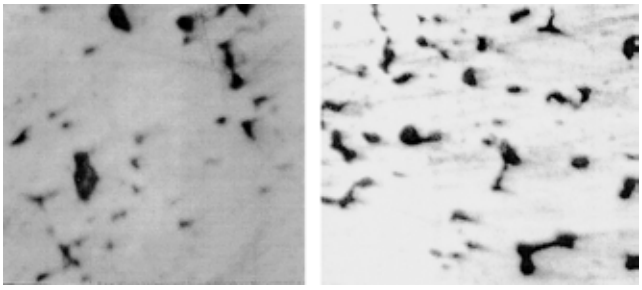
Значительное изменение пористости покрытий в зависимости от содержания порошков меди и олова не наблюдалось — разница не имела достоверных различий. Результаты изменения открытой пористости покрытий в зависимости от содержания связующего полимера в ППЛ приведены в таблице (все ленты приваривали на одних режимах ЭКП. поэтому пористость зависела только от состава ППЛ).

Как следует из таблицы, при увеличении содержания связующего полимера пропорционально увеличивается пористость покрытия. Этот факт может служить основой для регулирования пористости других покрытий, содержащих нетеплостойкие полимеры.

На рис. 3 приведены снимки поверхности с разным содержанием связующего полимера, а следовательно, и разной пористостью.

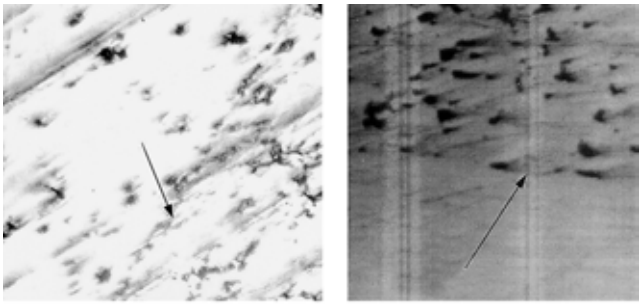
Анализ микроструктуры металла зоны приварки ППЛ на чугунные и стальные образцы показывает, что качество приварки ППЛ без порошков меди или олова или с малым их содержанием (до 1 %) хорошее, хотя и наблюдаются отдельные, прерывистые

Содержание связующего полимера в ППЛ, %	Пористость покрытия, %
3	3,5±0,6
10	7,5±0,8
17	12±1,6



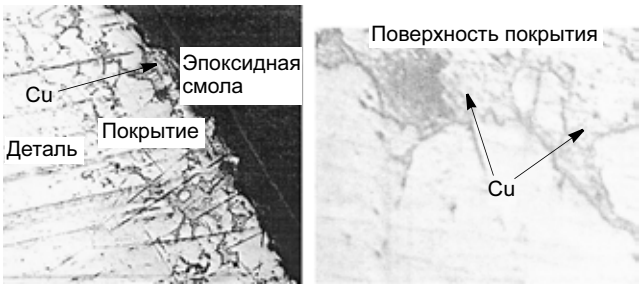
а) б)

Рис. 3. Изображение (×350) пор в покрытии с содержанием полимера 10 (*а*) и 20 (*б*) %



а) б)

Рис. 4. Микроструктура (×170) зоны приварки ПИЛ (ПЖРЗ.200.28 + ПВБ — 10%) на высокопрочном чугуне (*а*) и стали 40 (*б*) (граница приварки указана стрелкой)



а) б)

Рис. 5. Частичный выброс перегретого металла (меди) к поверхности покрытия: *а*, *б* — ×100 и 400 соответственно

участки несплавления, качество сцепления покрытия со стальными деталями намного лучше (меньшее количество участков несплавления) (рис. 4).

Большинство частиц меди и особенно олова после ЭКП располагаются ближе к поверхности или границе приварки (рис. 5). Данный факт свидетельствует о том, что при ЭКП температура в зоне приварки выше температуры плавления этих элементов, что вызывает частичный выброс жидкого перегретого металла к поверхности и границе.

Поскольку покрытия после приварки подвергают механической обработке (точению или шлифованию) и поверхностный слой с увеличенным содержанием частиц меди или олова удаляется, то содержание этих порошков в покрытии уменьшается по сравнению с первоначальным содержанием в ППЛ, что является отрицательным фактом.

Выводы

1. С увеличением содержания связующего полимера в порошково-полимерных лентах (ППЛ) значительно ухудшается прочность сцепления покрытия с основным металлом детали, поэтому его содержание не должно превышать 5 %.

2. Порошки меди и олова также снижают прочность сцепления, при этом даже незначительное их содержание в ППЛ (менее 5 %) сильно уменьшает этот показатель, а дальнейшее увеличение их содержания незначительно изменяет прочность сцепления, поэтому для получения высокой прочности сцепления покрытия с основным металлом детали присутствие олова нежелательно, а содержание порошков меди не должно превышать 5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонов А. Ю.* Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники электроконтактной приваркой твердосплавных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук. Балашиха, 1990.

2. *Дорожкин И. И.* Методические рекомендации по определению адгезионной прочности покрытий. Минск: Ураджай, 1985. 54 с.

ОАО "Издательство "Машиностроение" предлагает

	Цена с НДС, руб.
Богодухов С. И., Гребенюк В. Ф., Проскурин А. Д. **Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве:** учебное пособие. 1-е изд. 2005. 256 с.	**297**
Еремин В. Г., Сафронов В. В., Схиртладзе А. Г., Харламов Г. А. **Обеспечение безопасности жизнедеятельности в машиностроении:** учебное пособие для вузов. 2-е изд. 2002. 400 с.	**121**
Еремин В. Г., Сафронов В. В., Схиртладзе А. Г., Харламов Г. А. **Безопасность труда в машиностроении в вопросах и ответах:** учебное пособие. 1-е изд. 2004. 192 с.	**132**

Приобрести книги **по цене издателя** можно, направив заявку в отдел реализации **по факсу:** (495) 269 4897; **e-mail:** realiz@mashin.ru; **почте:** 107076, Москва, Стромынский пер., д. 4, ОАО "Издательство "Машиностроение". **Тел.:** (495) 269-6600, 269 5298.

УДК 621.791:621.642

В. А. РЕШАНОВ, канд. техн. наук
ЗАО "Волгонефтехиммонтаж" (Нижний Новгород)

Механизированная и автоматическая сварка двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м^3 в условиях Заполярья

В настоящее время в России развернуто строительство терминалов различного назначения с резервуарами вместимостью 20 000 м^3 и более. На побережье Баренцева моря завершаются монтажно-сварочные работы при изготовлении двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м^3 со стационарной стальной крышей основного корпуса (рис. 1).

Диаметр основного корпуса такого резервуара 60,7 м, высота стенки 18,2 м, купола крыши — 27,1 м, максимальная толщина стенки 28 мм. Диаметр защитного корпуса 66,07 м, высота стенки 15,6 м, толщина первого пояса 25 мм. Резервуары оснащены системами залива и слива нефти, ее подогрева, пожаротушения и орошения, лестницами, люками, патрубками различного назначения и другими устройствами.

Конструкцию резервуаров (проект КМ) и технологию их монтажа (проект производства работ — ППР) разрабатывали ведущие специализированные организации. Контроль за качеством монтажа и сварных соединений элементов конструкций резервуара осуществляли сотрудники инспекции Germanischer Lloyd, приглашенной предприятием-заказчиком в качестве гаранта безаварийной эксплуатации резервуаров в течение по крайней мере расчетного срока его службы.

Рис. 1. Общий вид двухкорпусного вертикального цилиндрического резервуара вместимостью 50 000 м^3 со стационарной стальной крышей основного корпуса

Все элементы резервуаров изготовляли специализированные предприятия из стали 09Г2С-12 (ГОСТ 19 281—89), обладающей высокой прочностью и хладостойкостью.

Сборку днища и стенки обоих корпусов резервуара проводили полистовым методом, обеспечивающим более высокую точность формы по сравнению с методом разворачивания рулонов. Крышу основного корпуса собирали из щитов заводского изготовления на специально отведенной площадке. Промежутки между щитами перекрывали настилом, подкрепленным снизу поперечными балками и ригелями. Сборку сваривали в различных пространственных положениях, общая протяженность сварных швов различных типов превышала 36,5 км. Вместе с установкой временных приспособлений и устройств, а также сваркой прихватками общая протяженность сварных швов одного резервуара достигала 45 км.

С учетом технических возможностей и экономической целесообразности, а также практического опыта для выполнения такого объема сварочных работ назначали следующие способы сварки:

— механизированную в защитных газах — для выполнения сварных соединений днища и настила крыши, вертикальных стыков и корневого шва горизонтальных соединений стенки, врезок люков и патрубков стенки и крыши и многих других элементов резервуара;

— автоматическую под флюсом — для производства основного объема горизонтальных соединений стенки;

— ручную дуговую покрытыми электродами — для выполнения большинства прихваток, сварки временных съемных приспособлений, выполне-

ния соединений с короткими швами и труднодоступных зон.

Механизированную сварку производили с помощью установок KempoMig-4000 (фирма Kemppi, Финляндия), TPS-4000 (фирма Fronius, Австрия), в нижнем положении — KempoWeld-4000 (фирма Kemppi, Финляндия). При этом применяли сварочную проволоку OK Autrod 12.51 (фирма ESAB, Швеция) и смесь аргона (80 %) и углекислоты (20 %) Fogon-20 (фирма Linde Gas, Германия). Смесь газов не замерзала при низких температурах и обеспечивала более высокое качество и чистоту поверхности сварных швов.

Автоматическую сварку под флюсом производили с помощью специализированной установки AGW-II, предназначенной для двухсторонней сварки горизонтальных швов на вертикальной стенке. При этом применяли сварочную проволоку L-61 и флюс FX860 (фирма Lincoln Elektric, США).

Ручную дуговую сварку покрытыми электродами выполняли с применением сварочных выпрямителей ВД-306, автономных агрегатов АДД-4004 и АДД-4х 2501ВУ1 (последний производства завода сварочного оборудования "Уралтермосвар") для работы в условиях крайне низких температур. В основном сварные швы выполняли электродами УОНИИ 13/55 (производства фирмы ESAB SWELL, Россия). В особо ответственных случаях для сварки корневого слоя шва применяли электроды ЛБ-52У (Япония).

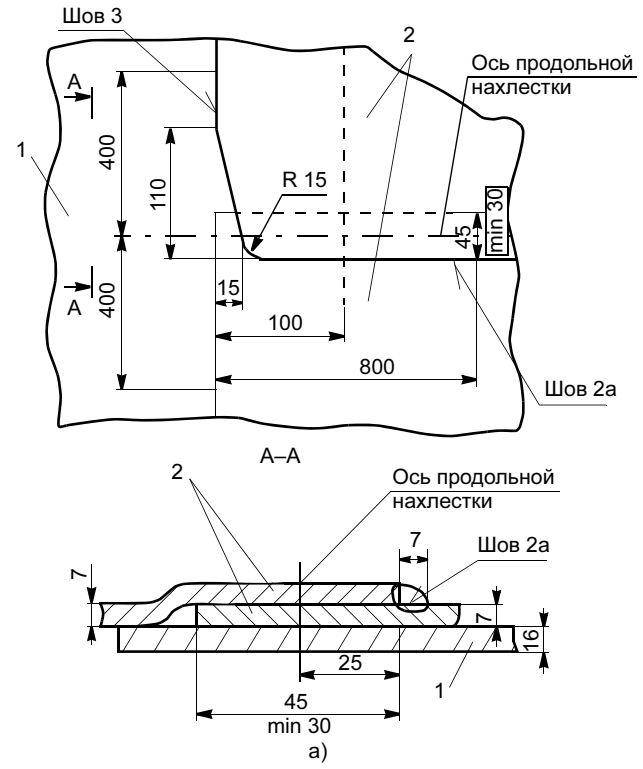
Технология сварки указанными способами, сварочное оборудование и сварщики (в том числе руководители сварочных работ) аттестованы НАКС в установленном порядке. *Тем не менее при сварке каждого узла оформляли допуск на технологию и квалификацию сварщиков. Все операции, включая сборку, сварку, контроль и испытания образцов допускных стыков, выполняли под наблюдением инспекторов Germanischer Lloyd*. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Днища состоят из окрайки *1*, на которой устанавливаются стенки резервуара, и настила *2* центральной части. Последняя собирается из листовых элементов с формированием подгибов в зонах двойного (соединение двух смежных листовых элементов) и трехслойного (соединение двух поперечных и продольно расположенного элементов) нахлестов (рис. 2), что придает всем узлам высокий уровень напряженного состояния металла сварных соединений в период их формирования. Сварку выполняли в несколько приемов. Вначале сваривали поперечные соединения каждой выложенной полосы от центра симметрии листа, по ширине и к его краям, не заканчивая сварку за 150—200 мм до пересечения с продольными соединениями. Далее сваривали продольные соединения обратноступенчатым способом. Длина каждой ступени сварного шва составляла 120—150 мм при ручной дуговой

Таблица 1

Стыки	$\sigma_в$, МПа	α, градус	KCV, ДЖ/см^2, при температуре, °С	
			20	–30
Вертикальные	508—512	127—137	42—80	36—68
Горизонтальные	511—518	132—136	56—82	34—77

Примечание. Испытания при отрицательных температурах назначены по техническим условиям ППР.



б)

Рис. 2. Схема сварки (*а*) и зоны тройного нахлеста (*б*) центральной части днища резервуара

сварке и 250—400 мм — при механизированной. В этом случае не сваривали края соединений, примыкающие к окрайке на протяжении 2000—3000 мм, периметр центральной части днищ и центральный монтажный шов. Все это сваривали после сборки и сварки не менее одного—трех поясов стенок и оставшейся части стыков окрайки. Продольные соединения центральной части днища сваривали от центра к окрайке, чтобы избежать образования вздутия металла ("хлопуна") от накопления тепловых остаточных деформаций при сварке и нагреве металла.

На третьем этапе сваривали все, что было не сварено на первых двух этапах монтажно-сварочных работ днища. Следует отметить, что сварку днищ проводили в зимний период при температуре воздуха –20 °С и ниже, а также сильном ветре и метелях. При этом производили просушивание металла соединений и подогрев до 100—150 °С газопламенным нагревом пропано-кислородными горелками. Сварку выполняли в палатках, уплотняемых во избежание сквозняков снегом. Режимы сварки приведены в табл. 2. Элементы стенки тол-

Таблица 2

Элемент конструкции	Способ сварки	Сварочные материалы	Тип[1] и положение шва в пространстве	Диаметр проволоки (электрода), мм	Параметры режимов сварки			Примечание
					Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость подачи проволоки, м/мин (скорость сварки, м/ч)	
Окрайка: корневой шов заполняющие облицовочный	Механизированная в защитных газах	Проволока OK Autrod 12.51 + Fogon-20 (80 % Ar + + 20 % CO_2)	С19 (стык), нижнее	1,2	190—220 230—250 230—250	21—23 24—26 24—26	4,7—5,2 5,0—5,5 5,0—5,5	Расход газа в зависимости от силы ветра 15—65 л/мин
Центральная часть днища: корневой шов облицовочный			Н1 (нахлестка), нижнее	1,2	130—170 190—220	15—19 21—23	2,4—3,2 4,7—5,2	
Стенка: 1. Вертикальные стыки: корневой шов заполняющие облицовочные 2. Горизонтальные стыки: корневой (подварочный) шов корневой АФ заполняющие облицовочные			С25 (стык), вертикальное С15 (стык), горизонтальное —"—	1,2 2,4	130—170 130—170 150—190 130—170 280—340/ 420—480 420—480/ 400—480 420—450/ 420—450	15—19 15—19 17—21 15—19 21—23/ 24—30 22—30/ 24—30 24—28/ 24—28	2,4—3,2 2,4—3,2 3,0—4,0 2,4—3,2 (15—16) (16—20) (26—45)	Основная/вспомогательная платформы
3. Уторный шов (соединение стенки с днищем): корневые, 2—5-й слои облицовочный	Автоматическая под флюсом	Проволока L61 + флюс FX860						
	Механизированная в защитных газах	Проволока OK Autrod 12.51 + Fogon-20	Т9, нижнее	1,2 1,2	240—270 250—290	25—28 26—30	5,4—5,7 5,5—5,9	2-й, 3-й слои шва с внешней, 4-й, 5-й — с внутренней сторон стенок резервуара
Крыша настила: корневой шов облицовочный	Механизированная в защитных газах	То же	Н1 (нахлестка), нижнее	1,2	130—170 150—200	15—19 17—21	2,6—3,2 2,9—4,2	—
Прихватка, сварка "узких зон"	Ручная дуговая покрытыми электродами	Электроды сварочные УОНИИ 13/55	Нижнее Вертикальное Горизонтальное Потолочное	3,0 4,0 3,0 4,0 3,0 4,0 3,0 4,0	90—130 140—180 80—120 120—160 80—120 120—160 70—110 110—140	—	—	—

[1] ГОСТ 14771—76.

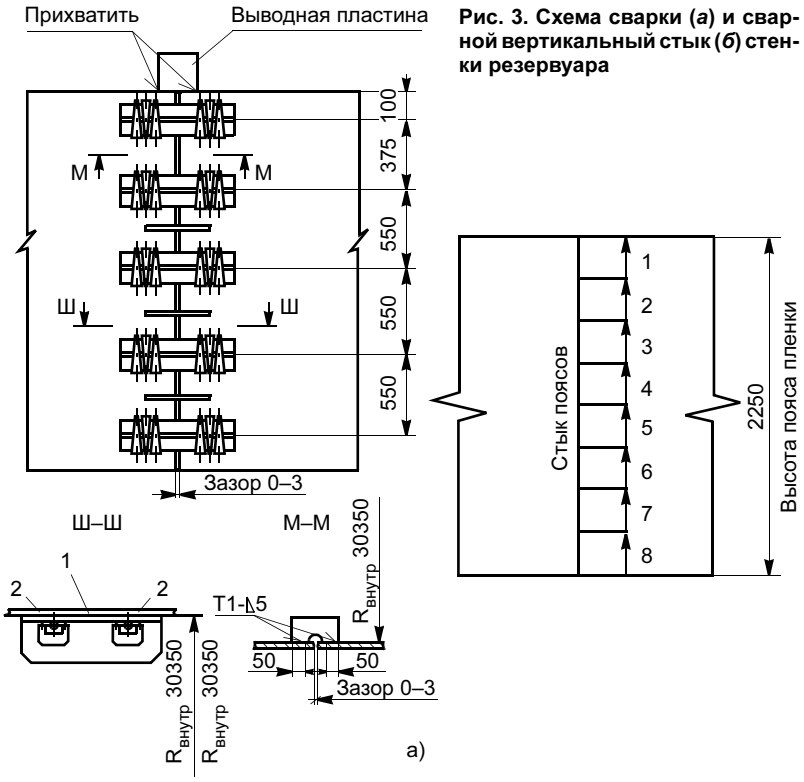


Рис. 3. Схема сварки (*а*) и сварной вертикальный стык (*б*) стенки резервуара

б)

щиной от 32 до 12 мм включительно поставляют, как правило, с недовальцованными краями протяжением 200—250 мм и перевальцованными на диаметр более 1 м при толщинах не более 10 мм. На монтаже эти недостатки заводского производства приходится устранять с помощью приспособлений и конических клиньев, что также способствует формированию напряженного состояния металла сварных соединений вертикальных и горизонтальных стыков в процессе их сварки. При монтаже стенок резервуара была выявлена неравномерность просадок грунта фундамента по их периметру. Это привело к разрушению отдельных прихваток при установке врезок заводского изготовления с вмонтированными в них люками и патрубками, а также усиливающими накладными листами. Эти узлы были подвергнуты термической обработке в заводских условиях в соответствии с требованиями API-650. При этом одинаковые параметры режима сварки для "сырого" и обработанного в печах металла вызывали появление у последнего подрезов, требующих исправления. Перед сваркой (рис. 3) вертикальных стыков стенки *1* (особенно его корневой зоны) в условиях низкой температуры и сильного ветра сварщиков предупреждали о необходимости обеспечения непрерывного процесса горения дуги, так как нарушение этого условия приводит к несплавлениям отдельных валиков швов. Для снижения вероятности образования подрезов на термообработанном металле, а также угловых деформаций в стыках предписано не форсировать сварочный ток. При малых толщинах листовых элементов стенки *2* с целью снижения вероятности образования остаточных угловых деформаций добавляли еще одно формирующее вертикальный стык приспособление. В любом случае на верхний край стыков выставляли выводную планку. Порядок выполнения сварки вертикальных стыков стенки зафиксирован в соответствующих технологических картах и приведен на рис. 3, режимы сварки — в табл. 2. Сварку вертикальных стыков стенки выполняли в следующей последовательности: вначале сваривали полностью часть шва с внешней стороны стенки; после зачистки корня с обратной стороны шва и демонтажа приспособлений сваривали шов с внутренней стороны стенки.

Горизонтальные соединения выполняли комбинированной сваркой (корень — механизированной сваркой, остальной объем — автоматической под флюсом).

Стенку толщиной не более 18 мм сваривали только автоматической сваркой под флюсом. Режимы сварки этих соединений приведены в табл. 2. При пересечении горизонтального стыка с вертикальными из-за наличия угловатости последних возможны потеки металла шва при неплотном прилегании ремня, поддерживающего флюс, к стенке резервуара.

Сварка крыши резервуара и элементов ее опорных конструкций представляет больший интерес с точки зрения монтажа, чем сварки, поэтому опустим особенности этих процессов. Однако это достаточно уникальное сооружение (рис. 4), требующее определенных навыков работы сварщиков, так как

а) б)

Рис. 4. Общий вид купола стационарной крыши резервуара с центральными стойками (*а*) и без них (*б*)

сварка элементов крыши на монтаже производится на высоте более 20 м при сильном ветре и низкой (–20...–35 °С) температуре окружающего воздуха.

Выводы

1. В условиях Крайнего Севера при низкой температуре и сильном ветре монтаж резервуаров вместимостью 50 000 м^3 можно выполнять механизированной сваркой в защитных газах и автоматической сваркой под флюсом.

2. Данный комплекс технологий сварки, применяемых при выполнении монтажно-сварочных работ при сооружении резервуаров большой вместимости, официально соответствует основным требованиям правил и руководящей документации Ростехнадзора. Однако технологии должны быть откорректированы в соответствии с требованиями международных организаций, приглашаемых в качестве гарантов надежной эксплуатации возводимых объектов в течение по крайней мере расчетного срока их службы.

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:621.642.411

В. С. МИЛЮТИН, канд. техн. наук
(УГТУ-УПИ),
Ю. Б. ЕЗДАКОВ, инж., А. Г. СИВОПЛЯСОВ, инж., А. А. МОРОЗОВ, инж.,
С. Н. ЕДКОВ, инж., Д. Е. КОСТЮК, инж.
(ЗАО "Уралтермосвар"),
В. И. БЕСПАЛОВ, инж., А. И. ЦЫПЛАКОВ, инж.
(ООО "ВНИИГАЗ"),
А. А. ЛАТЫШЕВ, инж., А. В. ФЕДОТОВ, инж.
(ОАО "Краснодаргазстрой")

Технологические комплекты источник + полуавтомат с микропроцессорным управлением для сварки неповоротных стыков трубопроводов

Универсальные тиристорные выпрямители ВДУ-306МТ и ВДУ-506МТ производства ЗАО "Уралтермосвар" предназначены для ручной сварки покрытым электродом, механизированной сварки плавящимся электродом и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. При отсутствии электрической сети применяют универсальные дизельные агрегаты АДДУ-4001 и АДДУ-2х2501. Шланговый полуавтомат ПДГО-512 "Урал" применяют при механизированной сварке сплошной проволокой в защитном газе или порошковой проволокой открытой дугой. Все эти устройства управляются микропроцессорными (МП) регуляторами. Важным достоинством комплектов с МП-регуляторами является то, что для придания им новых технологических свойств достаточно откорректировать алгоритм функционирования микроконтроллера без внесения существенных изменений в конструкцию силовых элементов. Конструктивное оформление выпрямителя ВДУ-506МТ приведено в работе [1].

Данная работа посвящена проверке технологических возможностей данных комплектов при монтаже и ремонте магистральных, промысловых и технологических трубопроводов. При сварке неповоротных стыков трубопроводов внедряется прогрессивная схема организации сварочных работ, заключающаяся в выполнении корневого прохода ручной сваркой электродами с основным и целлюлозным покрытием или механизированной сваркой сплошной проволокой в защитном газе на повышенной скорости методом сверху-вниз, а последующих — заполняющих и облицовочного слоев — более производительным способом механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой. Адаптация технологических комплектов ВДУ-306МТ (ВДУ-506МТ) + + ПДГО-512 и АДДУ-4001 (АДДУ-2х2501) + ПДГО-512 при сварке неповоротных стыков заключается в основном в выборе рациональной формы внешней ВАХ источника питания и настройке параметров специальных функций, обеспечиваемых источником и полуавтоматом, а также в небольшой коррекции МП-регулятора.

Ручная сварка покрытым электродом корневого прохода выполняется с применением выпрямителей ВДУ-306МТ и ВДУ-506МТ, обеспечивающих настройку следующих характеристик и функций:

— комбинированную внешнюю ВАХ с вертикально падающим основным участком;

— плавное регулирование тока, в том числе дистанционную подстройку в интервале ±60 или ±30 А;

— при необходимости ограничение напряжения холостого хода величиной 12 В;

— программируемый старт с регулировкой тока горячего пуска 100—150 % от сварочного и продолжительности от 0,1 до 2 с;

— защиту от прилипания электрода к детали при коротком замыкании более 0,5 с;

— форсирование дуги с увеличением тока до 170 % при переносе электродного металла.

Качество корневого прохода зависит от техники сварки, сварочных материалов, выбранного режима и характеристик источника. Разумеется, основное значение имеет квалификация сварщика, который целенаправленно и систематически управляет процессом при манипуляции электродом, поддерживая сварочную ванну, не давая ей стекать в вертикальном и потолочном положениях и обеспечивая этим равномерное формирование шва. Роль же источника сводится к программному управлению и стабилизации тока, а также его быстрому изменению с помощью дистанционного регулятора или за счет манипуляций электродом.

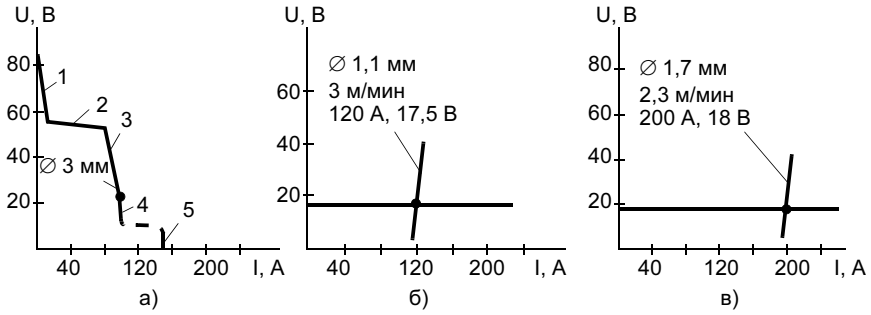


Рис. 1. Внешние ВАХ выпрямителя ВДУ-306МТ при ручной сварке покрытым электродом (*а*), механизированной в углекислом газе (*б*) и механизированной порошковой проволокой (*в*)

настройки тока короткого замыкания с целью управления переносом электродного металла (на рис. 1, *а* приведена настройка до 150 А).

Динамические свойства выпрямителя ВДУ-306МТ можно продемонстрировать с помощью осциллограмм напряжения и тока при сварке (рис. 2, *а*). Из состояния ожидания с безопасной вели-

Кроме того, источник должен реагировать на плавление электрода, способствуя направленному, энергичному, без чрезмерного разбрызгивания переносу электродного металла в ванну.

На рис. 1, *а* приведена внешняя ВАХ выпрямителя ВДУ-306МТ, состоящая из пяти участков и настроенная для ручной сварки электродом УОНИ-13/55 диаметром 3 мм. Участок *1* высоковольтной подпитки с напряжением холостого хода 85 В и током короткого замыкания 20 А предназначен для заполнения пауз между включениями вентилей тиристорного блока, что способствует повышению устойчивости дугового процесса, особенно при сварке небольшими токами. Жесткий участок *2* с напряжением холостого хода 55 В соответствует ВАХ тиристорного блока при полнофазном включении вентилей. Крутопадающий участок *3* с регулируемым наклоном от 0,4 до 2 В/А обеспечивает сварщику возможность кратковременного уменьшения тока посредством удлинения дуги. Такие манипуляции иногда применяют для управления сварочной ванной на вертикальной поверхности. На основном вертикально падающем участке *4* располагается точка установившегося режима сварки, изменением его положения выполняется настройка сварочного тока в диапазоне от 30 до 350 А (на рис. 1, *а* приведена настройка до 100 А). Наконец, участок *5* форсирования используется для

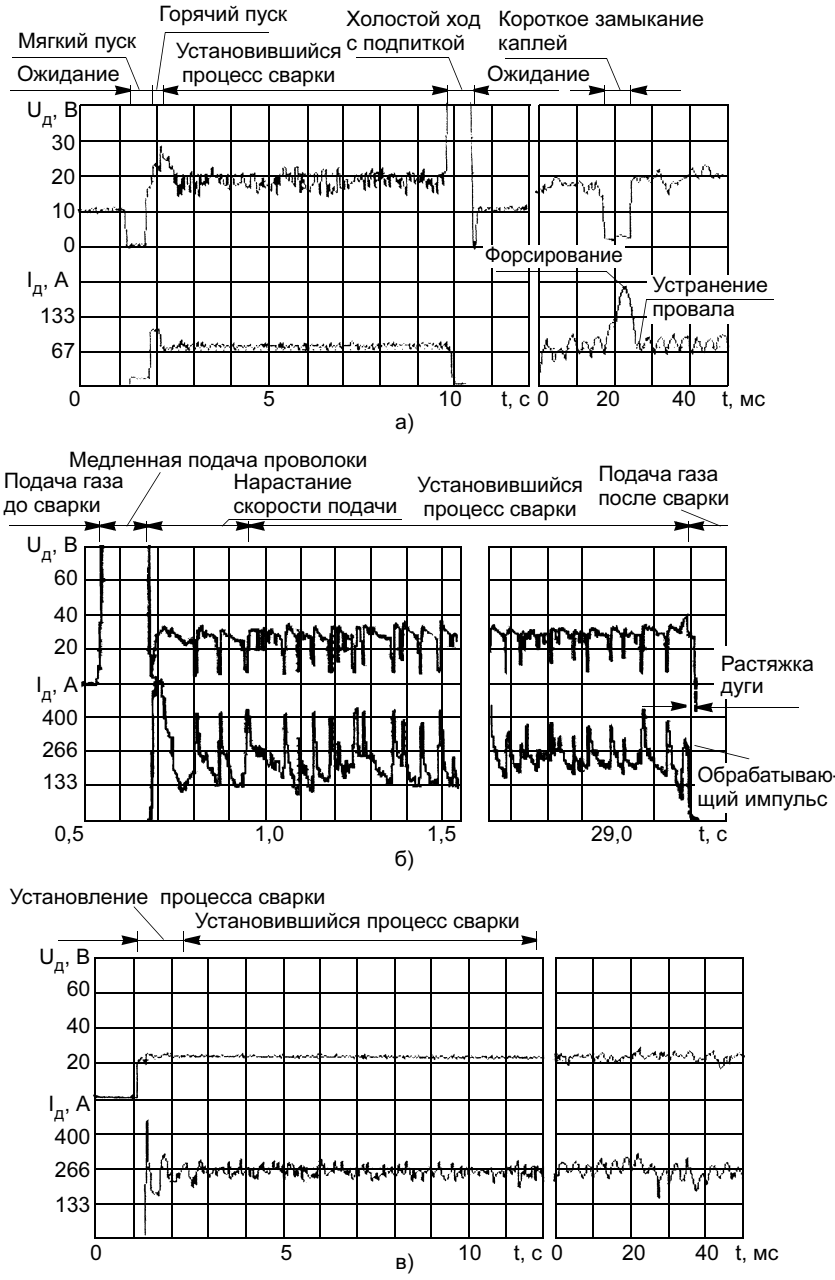


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения: *а* — ручная дуговая сварка (электрод LB-52U диаметром 2,6 мм, ток 80 А с форсированием 130 %); *б* — механизированная сварка в углекислом газе (проволока Св-08Г2С диаметром 1,6 мм, скорость подачи 4 м/мин); *в* — механизированная сварка открытой дугой (порошковая проволока NR-207 диаметром 1,7 мм, скорость подачи 3 м/мин)

чиной напряжения холостого хода 12 В выпрямитель переходит в режим "мягкого пуска" с момента касания электродом свариваемой детали. При этом включается только высоковольтная подпитка, которая приводит к разогреву металла в микроконтактах на поверхности электрода и детали, но не вызывает оплавления микроконтактов и прилипания электрода к детали. После отвода электрода от детали включается тиристорный блок и начинается режим "горячего пуска". Данный режим способствует быстрому проплавлению притупления стыка, формированию шва с полным проваром, а также предупреждает начальную пористость шва. Далее идет установившийся процесс сварки со стабилизацией настроенного значения сварочного тока. После обрыва дуги выпрямитель переходит в режим холостого хода с включенной высоковольтной подпиткой. Это необходимо для надежного повторного зажигания дуги, если ее обрыв был случайным. Если повторного зажигания не понадобилось, то по истечении 0,7 с выпрямитель возвращается в режим ожидания с пониженным напряжением.

В соответствии с ГОСТ 25616—83 и методикой УГТУ-УПИ [2] оценивали следующие сварочные свойства выпрямителя ВДУ-306МТ: надежность зажигания, эластичность дуги, устойчивость процесса, стабильность тока, характер переноса электродного металла и качество формирования шва (табл. 1). В соответствии с требованиями стандарта наплавляли валик электродами с основным покрытием УОНИ-13/55 диаметром 2,5, 3 и 4 мм на штатных режимах № 1, 2 и 5. Дополнительно с учетом особых условий выполнения сварных соединений трубопроводов проводили испытания также на пониженных режимах № 3 и 4.

Надежность начального зажигания дуги высокая, с первого касания дуга возбуждается в 80 % попыток. Этому способствуют программные изменения тока с сочетанием элементов мягкого и горячего пуска. Для объективной оценки надежности зажигания измеряли предельную начальную длину дуги, при которой еще происходит ее возбуждение. Эта величина составила от 10 до 12 мм, что в 3—4 раза превышает рекомендуемую при сварке длину, если считать последнюю, равной диаметру электрода. Приведенные значения положительно характеризуют источник, поскольку совпадают с результатами оценки лучших тиристорных выпрямителей.

Эластичность дуги характеризуется разрывной длиной дуги, равной 14—16 мм и превышающей диаметр электрода в 4—6 раз. Она задается положением жесткого участка *2* внешней ВАХ на уровне 50—55 В. Более значительное увеличение разрывной длины не рекомендуется, поскольку провоцирует сварщика к работе с длинной дугой, не гарантирующей качественной защиты шва.

Устойчивость процесса характеризуется полным отсутствием обрывов дуги при естественных возмущениях ее длины, связанных при сварке неповоротного стыка с изменениями сварщиком положения руки и тела. Такие макровозмущения хорошо отрабатываются благодаря работе высоковольтной подпитки, удерживающей дугу даже при кратковременном снижении тока до 20—25 А (участок *1* на внешней ВАХ, см. рис. 1, *а*). Объективным критерием устойчивости можно считать также минимальный ток устойчивого горения дуги, для указанных электродов диаметром 2,5, 3 и 4 мм равный соответственно 30, 35 и 40 А, что также совпадает с характеристиками лучших тиристорных выпрямителей.

Стабильность параметров режима обычно оценивают по относительным отклонениям тока от установленного значения, которые при работе на вертикальном основном участке *4* внешней ВАХ не превышают 2—4 %. При сварке кольцевого неповоротного стыка также решали задачу эффективной коррекции тока — снижение на 20—30 % по мере перехода от верхней точки трубы к нижней. Для этой цели применяют

Таблица 1

Номер режима	Диаметр электрода, мм	Положение в пространстве — нижнее (Н), вертикальное (В)	Сварочный ток, А	Критерии сварочных свойств по ГОСТ 25616—83					Критерии сварочных свойств по методике УГТУ—УПИ				
				Начальное зажигание дуги	Стабильность процесса сварки	Разбрызгивание металла	Качество формирования шва	Эластичность дуги	Предельная начальная длина дуги	Разрывная длина дуги, мм	Количество обрывов дуги на один электрод	Относительное отклонение тока, %	Минимальный ток горения дуги, А
1	2,5	Н	80	5	4,5	4,5	5	5	11	15	0	3	30
2	3,0	Н	100	4	5	4,5	5	4	10	14	0	3	35
3	4,0	Н	100	5	5	4	4,5	5					
4	4,0	В	110	5	4	—	5	—					
5	4,0	Н	150	5	5	5	5	5	12	16	0	2	40

пульт дистанционного управления, рукоятку которого сварщик вращает свободной рукой, не отвлекаясь от ведения процесса.

Управление переносом электродного металла выполняется параметрически благодаря функции "форсирование", т. е. увеличением тока в момент короткого замыкания от 110 до 170 % от установленного сварочного (участок *5* на рис. 1, *а*). С усилением форсирования увеличивается глубина проплавления, снижается возможность прилипания капли к ванне, особенно при сварке в вертикальном и потолочном положениях, что также повышает устойчивость дугового процесса. На осциллограмме рис. 2, *а* в установившемся процессе выполнена развертка записи, чтобы показать динамику переноса капель электродного металла с коротким замыканием на ванну. Видно, что при установке форсирования 150 % ток короткого замыкания действительно составляет 100—120 А, а пиковое его значение достигает 170 А, что гарантирует энергичный перенос капли без прилипания ее к ванне и без чрезмерного разбрызгивания. Одновременно решали задачу надежного восстановления дуги после схода очередной капли с электрода, поскольку известно, что одной из причин обрывов дуги у тиристорных выпрямителей является "провал" тока как типичный переходный процесс от короткого замыкания к дуге. Поэтому алгоритм МП-регулятора был дополнен функцией устранения такого "провала".

Качество формирования шва по ГОСТ 25616—83 при наплавке валиков в нижнем и вертикальном положениях и на всех режимах было оценено как очень хорошее (4,5—5 баллов). По критериям ГОСТ это означает, что валик равномерный, гладкий или мелкочешуйчатый с плавным переходом к основному металлу. Но

Рис. 3. Обратная сторона корневого прохода при ручной сварке

даже столь высокая оценка качества не дает еще полной уверенности в пригодности выпрямителя ВДУ-306МТ для сварки корневого прохода стыка.

В связи с этим на завершающей стадии оценки комплектов при ручной сварке проводили массовые испытания при выполнении корневых проходов на неповоротных стыках труб диаметром от 400 до 1420 мм. Техникой сварки корневого прохода сверху вниз предусматривается ведение процесса без поперечных колебаний, но с опиранием покрытием на кромки трубы. При этом сварщик добивается полного проплавления притупления стыка с образованием небольшого отверстия (технологического окна), через которое контролируется плавление свариваемых кромок и формирование обратной стороны корневого прохода [3]. На рис. 3 приведен корневой шов, выполненный на трубе диаметром 400 мм электродом LB-52U диаметром 2,6 мм дугой обратной полярности при токе 60—80 А, напряжении 20—24 В и скорости сварки 10—15 м/ч. Качество формирования корневого шва характеризуется хорошим сплавлением с кромками, достаточной выпуклостью обратной стороны валика, гладкими очертаниями его лицевой стороны с плавным переходом к основному металлу без наплывов, подрезов и глубоких зашлаковок.

Механизированная сварка в углекислом газе корневого прохода выполняется с применением комплекта ВДУ-306МТ (ВДУ-506МТ) + ПДГО-512 "Урал", обеспечивающего настройку следующих характеристик и функций:

— жесткую или комбинированную с подпиткой внешнюю ВАХ (на рис. 1, *б* показана при сварке проволокой диаметром 1,14 мм вместе с характеристикой саморегулирования, обеспечиваемой полуавтоматом при скорости подачи 3 м/мин);

— плавную дистанционную настройку напряжения дуги с шагом 0,1 В и стабилизацией установленного напряжения с точностью до ±0,3 В;

— плавную настройку и стабилизацию скорости подачи проволоки в диапазоне 0,7—16,7 м/мин;

— программный пуск привода и источника при установлении процесса;

— программное завершение процесса.

На рис. 2, *б* приведены осциллограммы тока и напряжения при сварке в углекислом газе, по которым можно пояснить и настройку цикла. При нажатии кнопки на горелке включается газовый клапан, а затем на малой скорости начинается подача проволоки. В момент касания проволокой детали источник обеспечивает напряжение на 3—5 В выше установленного сварочного для надежного перегорания проволоки в контакте с деталью, а привод в течение 0,3 с — настроенную скорость подачи. Далее идет установившийся процесс при заранее настроенных напряжении и токе. Завершение процесса выполняется остановкой привода при работающем источнике, что обеспечивает "растяжку" дуги в течение 0,05 с, а также подачей мощного конечного импульса тока для сбрасывания последней капли, что может быть полезным при следующем зажигании. Затем следует этап подачи газа после сварки.

В соответствии с ГОСТ 25616—83 оценивали установ-

ление процесса, потери металла и качество формирования шва при применении комплекта ВДУ-306МТ + ПДГО-512 (табл. 2). Дополнительно по методике УГТУ-УПИ определяли минимальные напряжение и ток устойчивого процесса, а также частоту и длительность коротких замыканий при капельном переносе. Испытания сварочных свойств проводили преимущественно при минимальных режимах из предписанных ГОСТом для конкретных проволок.

Надежность установления процесса высокая. Дуговой процесс протекает без многочисленных обрывов и коротких замыканий после одного-двух касаний, что объясняется согласованным изменением скорости подачи проволоки и напряжения источника.

В установившемся процессе решали задачу формирования спокойной невозмущенной сварочной ванны, хорошо удерживающейся в разделке в любых пространственных положениях и легко управляемой манипуляциями горелкой. При традиционной технологии процесс сварки в углекислом газе чрезвычайно динамичен, поскольку перенос электродного металла сопровождается короткими замыканиями крупными каплями на ванну, значительным разбрызгиванием электродного металла и расплескиванием ванны. Для успокоения ванны принимали меры по стабилизации тока и напряжения при действии типичных возмущений. Эффективная стабилизация тока в системе саморегулирования дуги достигается благодаря стабилизации скорости подачи проволоки с точностью не ниже 0,1 м/мин МП-регулятором подающего механизма с обратной связью по эдс двигателя. МП-регулятор выпрямителя организует два вложенных цикла регулирования с обратной связью по напряжению: внутренний — длительностью 6,4 мс для стабилизации напряжения собственно дуги и внешний — длительностью 51,2 мс для стабилизации сварочного напряжения, т. е. усредненного за несколько этапов дугового разряда и коротких замыканий каплями. Чтобы устранить зависимость режима от длины сварочных проводов, напряжение обратной связи подается в МП-регулятор непосредственно от горелки с помощью переносного зажима. Удается обеспечить устойчивый процесс при уменьшении напряжения до 15—16 В, а тока — в 2—3 раза ниже рекомендуемых ГОСТ 25616—83 значений.

Для уменьшения разбрызгивания электродного металла применяли несколько конструктивных и программных приемов. Конструктивные — подбор и автоматическое переключение индуктивности, а также включение подпитки. Программные — согласование частоты включения тиристоров с естественной частотой образования мелких капель, а

Таблица 2

Номер режима	Диаметр электрода, мм	Положение в пространстве	Режим сварки: ток, сварочное напряжение, скорость подачи, расход газа	Критерии сварочных свойств по ГОСТ 25616—83				Критерии сварочных свойств по методике УГТУ—УПИ			
				Частота обрывов дуги при установлении процесса	Коэффициент потерь на угар и разбрызгивание, %	Отношение высоты валика к ширине	Оценка внешнего вида шва, балл	Минимальное напряжение, В	Минимальный ток, А	Частота коротких замыканий каплями, Гц	Длительность коротких замыканий каплями, мс
1	0,8	Н	70 А, 17 В, 5,2 м/мин, 7 л/мин	0,4	1,8(6)	0,34	4	16	20	—	—
2	1,0	Н	100 А, 18 В, 4,2 м/мин, 7 л/мин	1,6	2,4(6)	0,30	4	15	40	—	—
3	1,2	В	140 А, 18 В, 4,7 м/мин, 12 л/мин	0,8	—	0,40	3	—	—	93±18	3,4±0,5
4	1,2	Н	150 А, 18 В, 5,2 м/мин, 10 л/мин	0,6	2,4(8)	0,33	4	15	50	120±10	2,3±0,4
5	1,6	Н	250 А, 23 В, 4 м/мин, 16 л/мин	0,8	3,8(8)	0,26	4	16	100	—	—
6	1,7 (порошковая)	В	200 А, 19 В, 2,3 м/мин	0,2	—	0,27	4	—	—	—	—
7	1,7 (порошковая)	Н	270 А, 21 В, 3 м/мин	0,2	7,0	0,22	4	17	30	—	—
Норма				⩽3	(⩽6—8)	⩽0,6	⩾3				

также оптимизация пиков тока короткого замыкания каплей в зависимости от диаметра проволоки и сварочного тока. Мелкокапельный перенос характеризуется частотой 70—130 Гц при длительности 2—4 мс. В результате удалось уменьшить разбрызгивание металла до 2—4 %. Главное же, мелкокапельный перенос позволил получить невозмущенную ванну, которой легко управлять, воздействуя на ее размеры, вязкость и проплавление кромок при сварке в различных пространственных положениях, с обеспечением качественного формирования шва по всему периметру трубы.

Высокое качество формирования шва в различных пространственных положениях иллюстрируют как данные табл. 2, так и фотографии внешнего вида сварных швов, полученных на натурных образцах труб. На рис. 4 приведена обратная сторона корневого прохода при сварке сверху вниз проволокой L-56 диаметром 1,14 мм на следующем режиме: скорость подачи 3 м/мин, ток 120 А, напряжение 17,5 В, расход газа 10 л/мин. При отработке режимов и техники сварки следовали рекомендациям работы [4].

Механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой при выполнении заполняющих и облицовочных проходов производительнее ручной сварки в 1,5—3,0 раза. Комплект ВДУ-306МТ (ВДУ-506МТ) + ПДГО-512 "Урал" при этом обеспечивает настройку следующих характеристик и специальных функций:

— жесткую внешнюю ВАХ (на рис. 1, *в* показана при сварке проволокой диаметром 1,7 мм вместе с характеристикой саморегулирования, обеспечиваемой полуавтоматом при скорости подачи 2,3 м/мин):

— предварительную плавную дистанционную настройку напряжения с шагом 0,1 В и стабилизацию установленного напряжения с точностью до ±0,3 В;

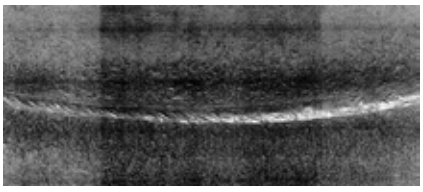


Рис. 4. Обратная сторона корневого прохода при сварке в углекислом газе

— плавную настройку и стабилизацию скорости подачи проволоки в интервале 0,7—16,6 м/мин;

— программный разгон привода при установлении процесса.

Сварку выполняли с использованием порошковой проволоки диаметром 1,7 мм NR-207 или NR-208S типа Innershield (Lincoln Electric, США). В лабораторных условиях оценивали следующие сварочные свойства комплекта: установление процесса, устойчивость дуги, стабильность параметров режима, характер переноса электродного металла и качество формирования шва (см. табл. 2).

Установление дугового разряда при сварке порошковой проволокой идет своеобразно (рис. 2, *в*). После короткого замыкания проволоки на деталь с крутым пиком тока наблюдается резкий "провал" тока, иногда вплоть до обрыва дуги. Поэтому алгоритмом МП-регулятора полуавтомата ПДГО-512 предусмотрен согласованный с пуском источника постепенный разгон привода подачи проволоки. С нажатием на кнопку горелки одновременно на проволоку подается напряжение и на малой скорости 1,5 м/мин — проволока. С момента касания проволокой детали привод в течение 0,5 с обеспечивает установленную скорость. При таком установлении процесса "провалы" тока уменьшаются, и начальный участок шва имеет лучший вид.

Устойчивость процесса обеспечивается действием двух механизмов стабилизации параметров режима: тока — за счет явления саморегулирования дуги, напряжения — с помощью МП-регулятора выпрямителя. Отклонения тока от среднего значения составляют не более 5 % благодаря стабилизации скорости подачи проволоки. Напряжение дуги стабилизируется еще более точно, что особенно заметно проявляется на осциллограмме напряжения, записанной с усреднением значений за 40 мс (см. рис. 2, *в*). Отклонения напряжения от установленного значения составляют всего ±0,3 В (1,5 %). Благодаря высокому быстродействию МП-регуляторов полностью устраняются обрывы дуги и длительные короткие замыкания проволокой на ванну. Становится возможным варьирование напряжения и скорости подачи в чрезвычайно широком диапазоне без ущерба для устойчивости процесса, но при сохранении оптимального соотношения между ними.

Перенос электродного металла при сварке самозащитной порошковой проволокой типа Innershield традиционно характеризуется значительным разбрызгиванием, хотя и происходит с очень редкими короткими замыканиями каплей на ванну. Поэтому электротехнические приемы воздействия на перенос отличаются от тех, которые применяются при сварке в углекислом газе. Тем не менее алгоритмом МП-регулятора приняты меры для ограничения пиков тока короткого замыкания, что вместе с коррекцией индуктивности дросселя позволило ограничить разбрызгивание приемлемой величиной 5—7 %.

Качеству формирования заполняющих и облицовочных проходов кольцевого шва при непрерывном изменении пространственного положения уделяется главное внимание. Желательно выполнение всего шва на одном режиме, оптимально удовлетворяющем требованиям формирования в любых положениях. Но для повышения производительности в верхней части трубы допустимо увеличение скорости подачи проволоки диаметром 1,7 мм до 3 м/мин, тогда как для верти-

кального и потолочного положений необходимо снизить скорость на 20—40 %. Для оперативного изменения режима предусмотрен тумблер дистанционного переключения скорости подачи.

На рис. 5 приведено поэтапное заполнение разделки при сварке проволокой NR-207 диаметром 1,7 мм (скорость сварки 2,3 м/мин, сварочный ток 200 А, напряжение 18 В). Видны корень шва, заполняющий и облицовочный проходы. При сварке первого из заполняющих проходов (горячего) гарантируется выплавление зашлакованных "карманов", если они случайно образовались при сварке корневого шва, но без чрезмерного его переплавления. В последующих заполняющих проходах обращает на себя внимание хорошее сплавление с обеими кромками с образованием вогнутого шва без наплывов, подрезов и зашлаковок. Облицовочный проход вследствие достаточной жидкотекучести ванны образует плавные переходы к основному металлу и мелкие чешуйки на поверхности, причем участки, выполненные в разных пространственных положениях, практически не отличимы друг от друга.

Технологические комплекты АДДУ-4001 (АДДУ-2х2501) + + ПДГО-512 "Урал" были также адаптированы к требованиям сварки неповоротных стыков. Первичным источником энергии в них является дизельный двигатель, что придает агрегату свойство автономности, т. е. независимости от электрической сети. В состав агрегата также входит индукторный генератор с тиристорным выпрямительным блоком. Поскольку частота переменного тока у такого генератора превышает стандартную частоту сети и составляет 240 Гц, то и частота включения тиристоров достигает 1440 Гц. А это предоставляет системе управления новые, гораздо более широкие возможности даже в сравнении с

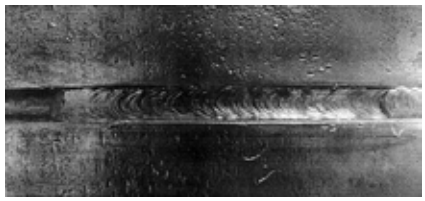


Рис. 5. Лицевая сторона заполняющих проходов при сварке порошковой проволокой

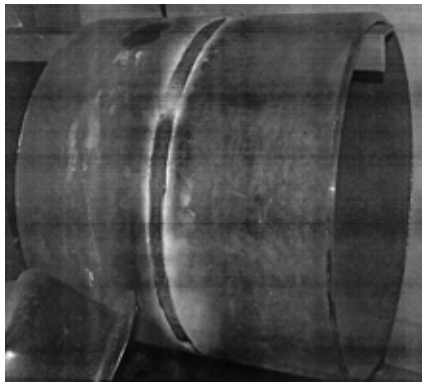


Рис. 6. Общий вид трубы при сварке порошковой проволокой

ВДУ-306МТ, в том числе воздействия на характер переноса электродного металла. Вспомогательный генератор (220 В, 50 Гц, 4 кВт) в составе агрегата используется для питания привода полуавтомата, а также для работы электрического инструмента и освещения. Лабораторные испытания комплекта при ручной сварке корневого шва и механизированной сварке порошковой проволокой заполняющих и облицовочных проходов установили высокий уровень сварочных свойств, а также высокое качество сварных соединений. Другие модификации агрегатов АДДУ-4001ПР и АДДУ-2х2501ПР укомплектованы также аппаратурой для плазменной резки (компрессором, осциллятором, плазмотроном). Благодаря этой дополнительной функции можно выполнять работы по разделительной резке металла толщиной до 45 мм.

Производственные испытания перечисленных комплектов охватывают широкий диапазон марок, типоразмеров и технологических схем сварки труб. Так, специалистами Центра повышения квалификации кадров "Пермьнефть" при использовании комплекта ВДУ-306МТ + ПДГО-512 при сварке неповоротных стыков труб диаметром 400 мм с толщиной стенки 10 мм была проверена комбинированная схема с выполнением корневого прохода покрытым электродом, а последующих — заполняющих и облицовочного проходов — порошковой проволокой методом сверху вниз (рис. 6). Специалисты "Пермьнефти" активно участвовали в выборе режимов сварки, а также коррекции параметров выпрямителя и алгоритма управления его МП-регулятора. В Учебном центре ОАО "Краснодаргазстрой" совместно со специалистами лаборатории сварки и контроля ООО "ВНИИГАЗ" отработана и внедряется технология сварки труб диаметром 325, 1020 и 1420 мм с толщиной стенки от 10 до 15,7 мм.

Эксперты — сварщики и технологи — при механизированной сварке как порошковой, так и сплошной проволокой визуально фиксируют отсутствие спонтанного динамического воздействия на головную часть сварочной ванны, четкую равномерность поступления теплоты и присадочного металла. Сварщики отмечают, что при необходимом проплавлении кромок контролировать ванну и обеспечивать качественное формирование шва стало значительно легче. Существенно снизился риск перегрева и стекания ванны на вертикальном и потолочном участках стыка. Отмечается также полное отсутствие пор при наложении облицовочного слоя. В связи с вышеизложенным сварщики предлагают расширить диапазон рекомендуемых режимов при сварке порошковой проволокой в сторону более производительных: для проволоки диаметром 1,7 мм увеличить скорость подачи до 4,3 м/мин, для диаметра 2 мм — до 3,3 м/мин. Большинство экспертов отмеча-

ют, что процесс сварки порошковой проволокой типа Innershield с применением приведенных технологических комплектов получился более мягким и "дружелюбным" для сварщика, чем на применяемых до настоящего времени тиристорных выпрямителях фирмы Lincoln Electric. При ручной сварке покрытым электродом эксперты одобряют возможность управления наклоном внешних ВАХ и форсированием. Высоко оценивают сварщики также и возможность записи и многократного воспроизведения эффективных режимов, которые предоставляет память МП-регуляторов.

В ООО "Институт "ВНИИСТ" совместно со специалистами ОАО "Краснодаргазстрой" были выполнены практические аттестационные испытания комплектов при сварке труб нескольких типоразмеров и марок по расширенной программе согласно РД 03-614—03. Проводили визуальный, измерительный и неразрушающий радиографический контроль, механические испытания сварных соединений и швов, а также металлографические исследования контрольных сварных соединений. Результаты испытаний подтвердили высокое качество сварки [5].

Комплекты ВДУ-306МТ с ПДГО-512 "Урал" и ВДУ-506МТ с ПДГО-512 "Урал" аттестованы ООО "ВНИИГАЗ" для применения при механизированной сварке корневого слоя сварного шва сплошной проволокой в защитных газах, а заполняющих и облицовочных слоев — самозащитной порошковой проволокой. Комплекты АДДУ-4001 с ПДГО-512 "Урал" и АДДУ-2х2501 с ПДГО-512 "Урал" аттестованы для применения при механизированной сварке заполняющих и облицовочных слоев самозащитной порошковой проволокой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Милютин В. С., Морозов А. А., Сивоплясов А. Г.* Отработка конструкции универсального тиристорного выпрямителя с микропроцессорным управлением // Сварочное производство. 2006. № 10. С. 16—22.
2. *Милютин В. С., Сивоплясов А. Г., Костюк Д. Е.* Методика объективной оценки выходных параметров сварочных источников питания // Сварочное производство. 2004. № 12. С. 15—22.
3. *Завалинич Д. А., Дзюба В. М.* Сравнительный анализ применения покрытых электродов при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов // Автоматическая сварка. 2006. № 5. С. 36—43.
4. *Зинченко А. В.* Мастер-класс по механизированной сварке в защитных газах многослойных вертикальных швов // Сварщик-профессионал. 2004. № 3. С. 22.
5. *Практические* аттестационные испытания оборудования ЗАО "Уралтермосвар" при сварке кольцевых стыков трубопроводов / М. П. Шалимов, В. С. Милютин, А. В. Дмитриенко и др. // Сварка и диагностика. 2007. № 3.

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.971:621.314.2

А. Ф. НОВИЦКИЙ, канд. техн. наук, Г. М. КРЮКОВ, инж.,
В. Н. АНИСИМОВ, инж., М. Ю. КНЯЗЕВ, инж.
ООО "Фирма "СВАРМЕТ" (Москва)

Создание сварочного комплекса для замоноличивания кромок гофрированных стенок корпусов трансформаторов нового поколения серии ТМГ[1]

В зарубежном и отечественном энергомашиностроении давно наметилась тенденция замены корпусов-баков масляных силовых и разделительных трансформаторов, снабженных трубчатыми радиаторами-охладителями, на новую конструкцию герметичных баков серии ТМГ, имеющую ряд существенных преимуществ: большую охлаждаемую поверхность, меньшие металлоемкость и эксплуатационные затраты. Коробчатая конструкция таких корпусов включает гофрированные боковые стенки, днище и крышку. Такие корпуса более технологичны и менее трудоемки в изготовлении за счет поточного производства и применения автоматизированных сварочных операций. Общий объем сварочных операций при их изготовлении сокращается в несколько раз, а сами операции достаточно просто автоматизируются. Производство таких корпусов в РФ в настоящее время сдерживает отсутствие оборудования по производству гофростенок.

Гофростенка для корпусов масляных трансформаторов представляет листовую конструкцию (рис. 1), изготовляемую на специальной профилегибочной машине с одновременным сдавливанием небольших участков краев полосы, с целью получения плотно собранных торцев для их последующей сварки в автоматической сварочной машине. В зависимости от типа трансформатора геометрические параметры гофростенки можно изменять в следующих диапазонах: длина гофростенки L = 300÷1500 мм, ширина гофростенки B = 400÷1200 мм, высота гофры H = 50÷300 мм, шаг гофрирования t = 40÷80 мм, толщина гофры e = 6 мм, ширина кромки d = 12÷14 мм. Материал изделия — полосы толщиной 1,0—1,5 мм из низкоуглеродистой стали.

Гофрированные стенки корпусов-баков, полученные из рулонированной полосы в агрегате гофрообразования, поступают на стенд заварки боковых кромок гофр. Эти кромки ориентированы в вертикальной плоскости и их сварку выполняют снизу вверх или сверху вниз, при этом одновременно сваривают кромки противоположных сторон гофр. Ширина стенок в зависимости от типоразмера корпуса-бака так же, как высота гофр и шаг гофрирования, может колебаться в широком диапазоне. В этих условиях требуется легко перестраиваемая и точная ориентация сварочной горелки относительно свариваемых кромок с сохранением возможности оперативной корректировки ее положения в процессе сварки. При этом свариваемые кромки необходимо перед сваркой фиксировать зажимными медными губками.

При выборе способа автоматической сварки руководствовались следующими известными данными.

Процесс автоматической сварки плавящимся электродом в инертном газе (аргоне, гелии или их смеси) характеризуется существенно меньшим разбрызгиванием по сравнению со сваркой в CO_2, однако устойчиво он протекает при более высоких энергетических показателях сварочной дуги [1, 2]. Процесс характеризуется высокой производительностью (до 2,0—2,5 м/мин), но достигнуть мелкокапельного или струйного переноса металла в сварочную ванну можно в весьма узком диапазоне оптимальных соотношений сварочного тока и скорости подачи присадочной проволоки. Обеспечить минимальную выпуклость шва и слабо выраженную чешуйчатость его поверхности в этих условиях достаточно сложно. При сварке вертикальных швов высока вероятность стекания жидкого металла и неравномерность заполнения сварочной ванны.

Более мягко протекает процесс сварки в защитных газах неплавящимся (вольфрамовым) электро-

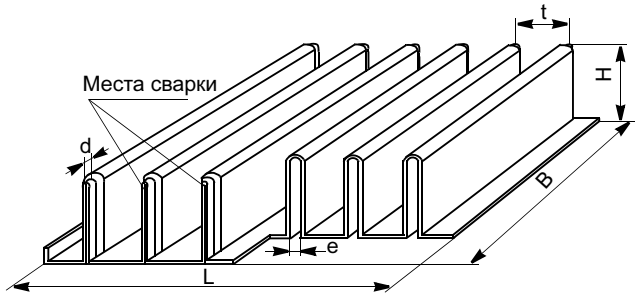


Рис. 1. Фрагмент гофростенки

[1] В работе принимали участие Д. В. Долгих, Н. А. Стрекалин, А. Л. Гольдельман и др.

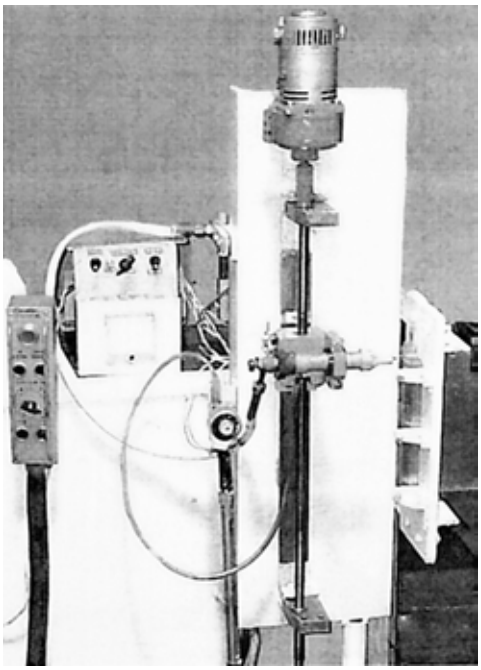


Рис. 2. Пилотная сварочная установка

дом с подачей присадочной проволоки в зону дуги. Присадочная проволока может подаваться как в головную часть сварочной ванны (углом назад), так и в ее хвостовую часть (углом вперед). За счет применения специальной проволоки обеспечивается легирование или рафинирование металла сварного шва. Производительность такого процесса ниже, скорость сварки неплавящимся электродом обычно не превышает 0,8—1,2 м/мин. К недостаткам рассмотренного варианта следует отнести необходимость жесткой координации тепловой мощности дуги, скорости подачи присадочной проволоки и перемещения горелки. При нарушении указанного баланса валик сварного шва получается неравномерным и с большой выпуклостью. Уменьшение тепловой энергии дуги часто приводит к ее блужданию, что еще больше ухудшает геометрию шва.

Наиболее простым вариантом процесса в этом случае является сварка вольфрамовым электродом без подачи присадочной проволоки в зону дуги. Учитывая, что при этом дуга будет принудительно ориентирована на торцы сжатых в кондукторе листов, создаются благоприятные условия для формирования валика шва на вертикальной плоскости. Для установления целесообразности выполнения сварки сверху вниз либо снизу вверх необходима ее экспериментальная проверка.

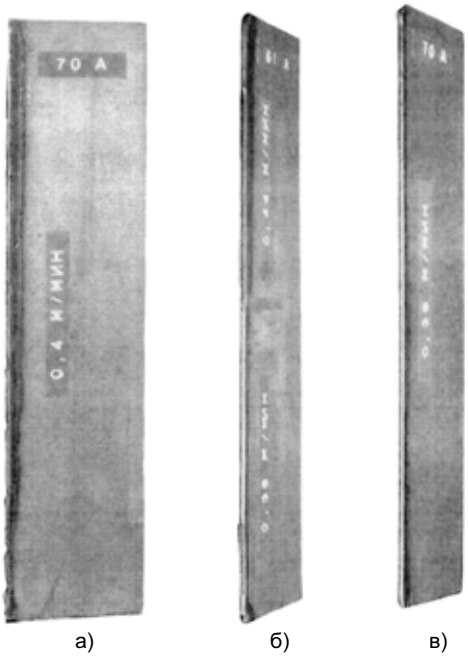
Наряду с рассмотренными способами автоматической дуговой сварки для решения данной задачи может быть применена и плазменная сварка. Однако при высокой стоимости оборудования для плазменной сварки ее применение на начальном, поисковом этапе работы считается нецелесообразным.

Для определения исходных данных, необходимых при проектировании оборудования, выполняли сварку неплавящимся электродом кромок двух полос из стали 08Ю толщиной 1,2 мм на специально разработанной пилотной сварочной установке. Были разработаны технологические режимы, а также уточнены требования, предъявляемые к гофрообразующему оборудованию и металлу полос.

Пилотная установка (рис. 2) состоит из сварочной горелки с реверсивным приводом перемещения от двигателя постоянного тока, зажимных губок, источника питания ВСВУ-315 и системы управления приводом перемещения горелки.

При проведении экспериментов определяли энергетические параметры процесса сварки — сварочный ток и напряжение холостого хода — для рационального выбора источника питания; уточняли скорость сварки, определяли оптимальные вылет электрода и выпуск кромок изделия из зажимных губок, усилие прижима кромок, расход защитного газа и др. Кроме того, уточняли требования к качеству гофрирования полос (совпадение кромок, наличие заусенцев, зазора между кромками, а также окалины, следов масла и др.).

На первом этапе ставилась задача выбора направления сварки. Эксперименты показали, что при движении сварочной горелки снизу вверх наблюдается нестабильность геометрических параметров шва, предупредить при этом образование натеков и стекание капель жидкого металла весьма сложно. На отдельных участках наблюдаются пропуски шва (рис. 3, *а*), визуальный контроль за фор-



а) б) в)

Рис. 3. Образцы, сваренные способом снизу вверх (*а*) и сверху вниз (*б*) при токе 61 А и скорости сварки 0,44 и 0,36 м/мин соответственно и токе 70 А и скорости сварки 0,36 м/мин (*в*)

мированием жидкой ванны затруднен. При движении горелки сверху вниз создаются более благоприятные условия для образования общей сварочной ванны, облегчается наблюдение за процессом и возможна оперативная корректировка положения электрода относительно кромок.

В связи с этим все дальнейшие эксперименты по отработке технологии сварки производили при движении сварочной горелки сверху вниз. Сварку выполняли постоянным током прямой полярности. Диаметр вольфрамового электрода составлял 3,2 мм.

Формирование сварного шва и его свойства определяются в первую очередь совокупностью двух основных и взаимосвязанных параметров процесса — скоростью сварки $v_{св}$ и сварочным током $I_{св}$. Скорость сварки варьировали в диапазоне от 0,36 до 0,44 м/мин, сварочный ток — от 40 до 70 А. С повышением скорости сварки сварочный ток должен быть, соответственно, увеличен. Однако при больших токах и недостаточной скорости сварки возрастал объем ванны жидкого металла, ее удержание на вертикальной поверхности становилось невозможным и часто стекание ванны приводило к замыканию электрода на изделие и прерыванию процесса сварки. С другой стороны, сварка при высоких скоростях и недостаточном токе сопровождалась появлением пропусков в шве. Оптимальное соотношение этих параметров выбирали путем ступенчатого изменения тока в процессе сварки при неизменной скорости движения горелки. При небольших значениях тока происходит оплавление кромок полос, однако общая сварочная ванна не образуется. С увеличением тока до 50—60 А формирование шва стабилизируется. Дальнейшее повышение тока резко увеличивает объем жидкого металла. При этом ширина шва превышает удвоенную толщину свариваемых полос. Увеличение скорости сварки до 0,44 м/мин расширяет диапазон токов, при которых формируется удовлетворительный шов.

На рис. 3, *б* приведен образец, полученный при $I_{св}$ = 61 А и ступенчатом повышении $v_{св}$ от 0,36 до 0,44 м/мин. Формирование общей сварочной ванны при повышении $v_{св}$ нарушалось и появлялись непровары.

Таким образом, в качестве исходного выбран режим: $I_{св}$ = 65÷68 А, $v_{св}$ = 0,4 м/мин.

В дальнейших экспериментах оценивали влияние предварительной сборки шва, и в частности точности совпадения торцев полос. Важность уточнения этого вопроса связана с тем, что иногда при гофрировании листов одна из кромок смещена относительно другой. Выступающая кромка в этом случае может затруднить формирование общего валика шва. При проведении экспериментов одновременно ставились две задачи: уточнение максимально допустимой величины несовпадения кромок с точки зрения их последующей сварки и корректировка технологии сварки с учетом указанного допустимого несовпадения для сохранения герметичности и геометрии шва.

Результаты экспериментов показали, что уже при смещении одной из кромок более 0,5 мм формирование шва нарушается. Увеличение сварочного тока до 70 А несколько стабилизирует процесс, однако возникают отдельные участки непроваров. Качественный шов в этом случае удается получить только при снижении скорости сварки до 0,36 м/мин. На этом же режиме удается удовлетворительно сварить листы с кромкой, выступающей на 1 мм. Однако эти результаты недостаточно стабильны.

Таким образом, при гофрировании допустимо смещение торцев в пределах 0,5 мм. В данных условиях целесообразна также корректировка режима сварки с увеличением сварочного тока до 70 А и уменьшением скорости сварки до 0,36 м/мин. Внешний вид шва удовлетворителен, чешуйчатость практически не наблюдается (рис. 3, *в*).

Необходимо отметить, что снижение скорости сварки в этом случае на 10—15 % приводит к соответственному удлинению сварочного цикла и повышению энергоемкости производства. В этой связи точность изготовления гофростенки на гибочной установке и ее последующая сборка в сварочной установке играют значительную роль в получении качественного изделия и снижении себестоимости продукции.

Устойчивость горения дуги и качество шва существенно зависят от расстояния между концом неплавящегося вольфрамового стержня и кромками изделия. При сварке гофростенок эта величина должна выдерживаться в диапазоне 2—3 мм.

На качество сварки также влияет величина выпуска свариваемого изделия из зажимных губок кондуктора, которая должна выдерживаться в диапазоне 2—3 мм. Ее уменьшение сопровождается повышенным износом прижимных медных губок и приводит к ухудшению зажатия свариваемых кромок. При чрезмерном удалении зажимных губок от зоны сварки наблюдается некоторое раскрытие кромок вследствие тепловой деформации металла, и образование сварного шва в этом случае затрудняется.

Качество сварки зависит также от надежности зажатия кромок листов в губках сварочного стенда. Установлено, что усилия зажатия 5000—6000 Н вполне достаточно для удовлетворительного формирования сварного шва.

Спроектирован и изготовлен сварочный стенд для сварки кромок гофростенки КСГ-1200 (рис. 4) — полностью автоматизированный агрегат, который состоит из механического и гидравлического оборудования, сварочной части, рампы для подачи защитного газа в зону дуги, установки водяного охла-

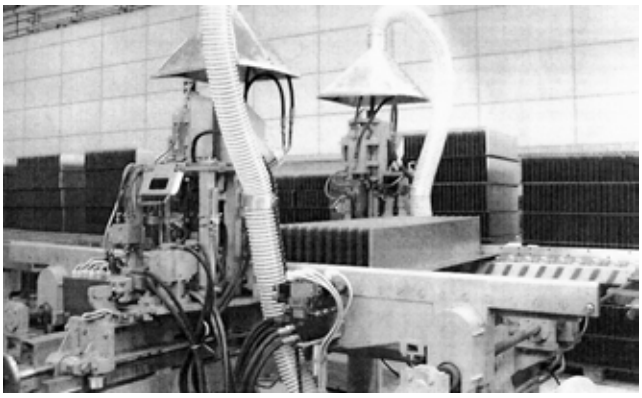


Рис. 4. Сварочный комплекс КСГ-1200

ждения сварочной горелки и зажимных губок и системы электрического управления.

Конструктивно комплекс для сварки гофростенок корпусов-баков трансформаторов выполнен следующим образом. На общей раме смонтированы два устройства — подвижная и неподвижная линейки. Подвижная линейка имеет возможность перемещения относительно продольной оси комплекса по направляющим при переходе на изготовление гофростенки другого типоразмера. Это перемещение осуществляется вручную — вращением маховика, связанного с парой винт—гайка. На подвижной и неподвижной линейках закреплены ролики, на которых устанавливается заготовка, а также планки для предварительного центрирования полосы. На общей раме имеется также привод цепной передачи, которая с помощью специальных планок и эксцентриковых роликов осуществляет пошаговую подачу сформованной гофростенки в зону сварки.

Основными узлами комплекса являются два сварочных устройства, каждое из которых имеет возможность перемещения от гидропривода в поперечном направлении, центрируя гофростенку относительно продольной оси агрегата подпружиненными упорами, необходимыми для точной установки гофростенки. На сварочных устройствах установлены механизмы перемещения горелок — каретки, двигающиеся на катках по направляющим вверх и вниз. Перемещение кареток осуществляется асинхронными двигателями через пару винт—гайка с резьбой Tr 20×4. Режим работы двигателя повторно-кратковременный, реверсивный. Регулирование частоты вращения вала (вниз от номинала) производится в диапазоне 1 : 10 за счет изменения частоты питания, подводимой к двигателю от преобразователя частоты. Скорость перемещения кареток при сварке регулируется в диапазоне 0,3—2,0 м/мин, а при подъеме вверх на маршевой скорости составляет 2,5 м/мин. Привод снабжен датчиком положения E6C2—CWZ6C, определяющим начало и окончание сварки в каждом цикле. Кроме того, сварочные устройства имеют зажимные медные губки с гидроприводом для обеспечения гарантированного зажатия свариваемых кромок в непосредственной близости от электродов и для интенсификации отвода теплоты, выделяемой при сварке в кромки.

Имеющиеся также два упора вертикального перемещения с гидравлическим приводом служат для определения положения гофростенки в продольном направлении.

Все перечисленные узлы и механизмы снабжены бесконтактными концевыми выключателями, регистрирующими их фактическое положение в любой момент времени.

Гидравлическое оборудование комплекса включает станцию СВ-М1 с баком объемом 25 л, рассчитанную на рабочее давление 3,0 МПа, и блоки с аппаратурой модульного исполнения.

Сварочное оборудование комплекса состоит из двух источников питания дуговой сварки и двух горелок для аргонодуговой сварки с цанговым зажатием электрода, а также комплекта соединительных водоохлаждаемых электрических кабелей.

Комплекс снабжен автономной системой охлаждения сварочных горелок и зажимных губок, включающей насосную установку, бак для охлаждающей жидкости и разводку из труб и соединительных шлангов.

Автоматизация технологического процесса сварки осуществляется программной системой управления, реализованной на базе программируемого контроллера фирмы OMRON. В зависимости от типоразмера свариваемого изделия (высоты гофр) и их количества выбирают одну из заранее отработанных и занесенных в память системы управления программ, в соответствии с которой реализуется алгоритм работы машины.

Техническая характеристика сварочного комплекса КСГ-1200

Номинальное усилие, Н:	
зажатия кромок	5000
центрирования заготовок	800
Скорость перемещения, м/мин:	
гофростенки транспортером	0,3—1,4
сварочных горелок	0,2—2,5
Количество горелок, шт.	2
Источник сварочного тока (тип)	Telwin SuperTIG250/1
Гидравлический привод:	
давление в системе (номинальное), МПа	3
вместимость гидравлического бака, $дм^3$	25
производительность насоса (максимальная), $дм^3$/мин	12
Автономная система водяного охлаждения:	
вместимость бака, $дм^3$	600
давление в системе (максимальное), МПа	0,6
производительность насоса (максимальная), $дм^3$/мин	12
Масса оборудования, кг	1760

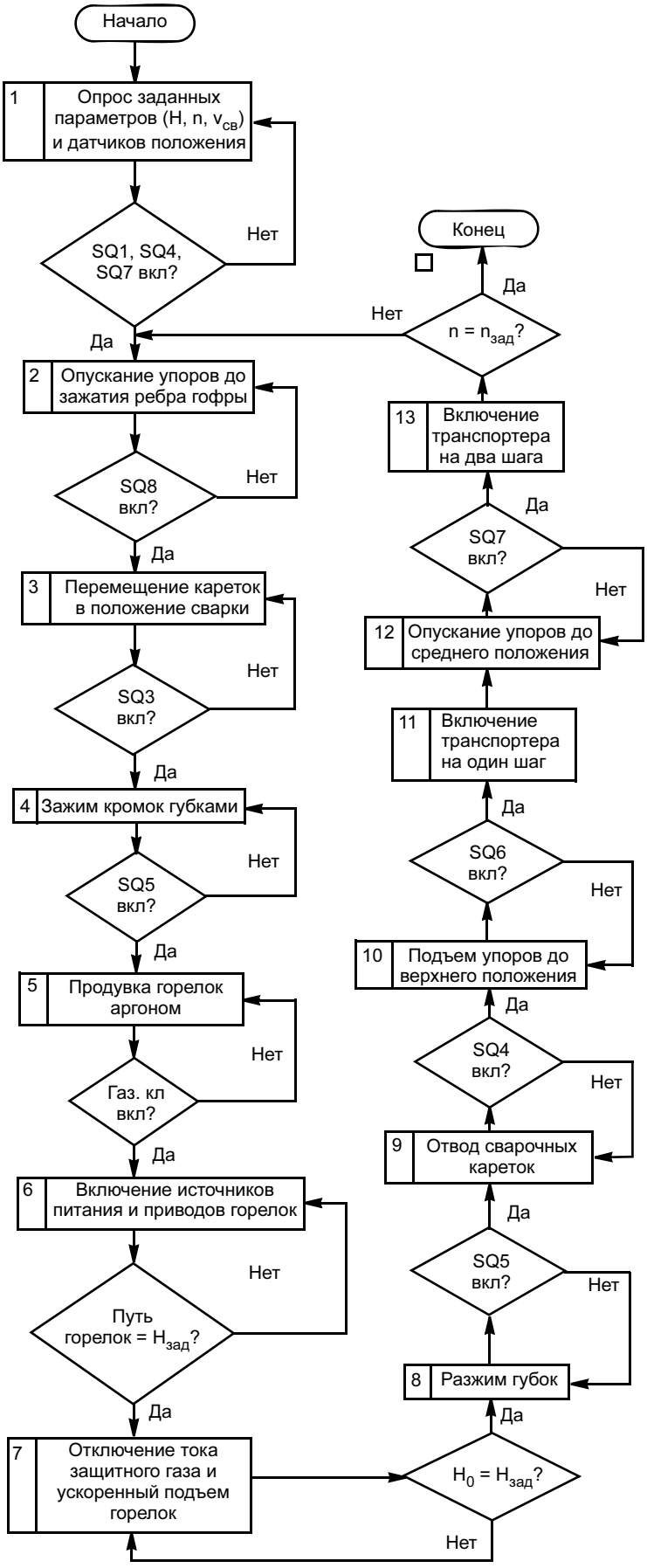


Рис. 5. Блок-схема алгоритма управления сварочным комплексом

Схема управления предусматривает ручной (наладочный) и полуавтоматический режимы работы.

В ручном режиме раздельное управление всеми механизмами осуществляется оператором с пульта управления (с сохранением блокировок, предохраняющих механизмы от поломок) при помощи соответствующих аппаратов управления.

В полуавтоматическом режиме работы оператор машины устанавливает на задатчике пульта управления номер программы, соответствующий конкретному типоразмеру гофростенки (высоте гофр, количеству ребер в гофростенке *n*, т. е. ее длину, а также скорость сварки). Затем с помощью соответствующего маховика устанавливает подвижную линейку таким образом, чтобы расстояние между прижимными планками обеих линеек (подвижной и неподвижной) соответствовало ширине гофростенки.

После завершения настроечных операций комплекс готов к приемке заготовок гофростенки на сварку. Подготовительные операции завершаются, когда заготовка гофростенки доходит до упоров вертикального положения, находящихся в среднем положении. После нажатия кнопки "Цикл" все дальнейшие операции производятся автоматически. Блок-схема алгоритма управления работы комплекса приведена на рис. 5.

Сварочный комплекс введен в эксплуатацию в составе линии по производству гофростенок на производственных площадях АХК ОАО "ВНИИМЕТМАШ" [4]. Линия производит гофростенку по заказу электротехнических заводов по выпуску трансформаторов серии ТМГ.

Экспериментальные исследования позволили установить, что при плазменной сварке скорость процесса увеличивается в 4 раза при высоком качестве сварных соединений. Отработанная технология может быть рекомендована к применению для повышения производительности сварочного комплекса.

Выводы

1. На основании проведенных исследований особенностей сварки тонких стальных полос рекомендуется герметизацию боковых кромок гофростенок корпусов новой конструкции для силовых трансформаторов, работающих в масляной среде, вы-

полнять автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом способом сверху вниз.

2. Разработанный опытно-промышленный сварочный комплекс для замоноличивания кромок гофростенок обеспечивает их серийное производство при высоких качестве и производительности процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974.
2. *Новожилов Н. М., Суслов В. Н.* Сварка плавящимся электродом в углекислом газе. М.: Машгиз, 1958.
3. *Технология* и оборудование сварки плавлением / Под ред. Г. Д. Никифорова. М.: Машиностроение, 1978.
4. *Вакаренко В. В., Родников С. В., Тимофеев Ю. В.* Линия по производству гофростенок силовых трансформаторов // Тяжелое машиностроение. 2006. № 5. С. 24—25.

УДК 621.791.14

М. М. ШТРИКМАН, д-р техн. наук
ОАО "НИАТ"

Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор)

Ч. 1

Более пяти лет прошло с первой публикации в России [1], затем в Украине [2] обзора зарубежных сообщений о разработке процесса сварки трением линейных соединений, названного за рубежом сваркой трением с перемешиванием (СТП). Анализ сообщений о СТП на различных симпозиумах, а также множества научно-технических публикаций за этот период свидетельствует об интенсивных исследованиях процесса и расширяющемся практическом применении его в различных отраслях промышленности, главным образом для изготовления сварных конструкций из алюминиевых сплавов.

Термомеханические процессы при сварке

В базовом процессе СТП, известном в России с 1967 г.[1] и реализованном за рубежом[2] в 90-х годах, вращающийся инструмент (рис. 1), содержащий корпус *1*, рабочий стержень *2* с различным рельефом поверхности и опорный бурт *3*, медленно погружают в стык деталей на глубину, примерно равную толщине соединяемых кромок; при этом опорный бурт опирается на поверхность кромок. Материал кромок за счет теплоты, выделяющейся при трении, нагревается до пластичного состояния, вследствие чего уменьшается усилие, действующее на инструмент. При поступательном перемещении вращающегося инструмента по стыку пластическое течение выносит материал в зону, освобождающуюся сзади движущегося инструмента. При этом образуется шов. Одним из важнейших факторов, наиболее заметно влияющих на структуру шва и формирование соединения при СТП, является конструкция инструмента, особенно таких его элементов, как рабочий стержень и опорный бурт. Они контактируют с материалом, нагретым за счет работы сил трения до пластичного состояния, и формируют потоки пластического течения. При этом сам инструмент и особенно его рабочий стержень подвергаются высоким термомеханическим нагрузкам. На разогретый рабочий стержень одновременно действуют крутящий момент и знакопеременные циклические изгибающие силы. Сведения о нагреве инструмента в процессе СТП расходятся. В работе [3] по результатам термомеханического анализа с моделированием процесса СТП построены температурные поля. Показано, что максимальные температуры (600 °С и более) достигаются вблизи поверхности опорного бурта у основания рабочего стержня. В работе [4] на основании результатов математического анализа соотношения внешних сил и сил деформации утверждается, что на тепловложение в инструмент при СТП приходится примерно 50 % вводимой мощности. В работе [5] авторы отмечают, что энергия, затраченная на тепловложение в инструмент по мере его нагрева в период от начала процесса СТП до выхода на стационар-

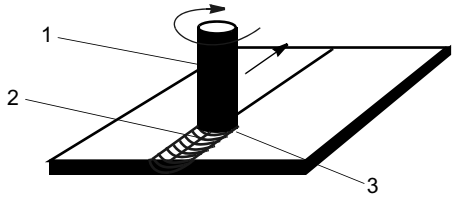


Рис. 1. Схема процесса СТП

[1] А. с. 195846 (СССР).

[2] Патент 92/02203 (Великобритания).

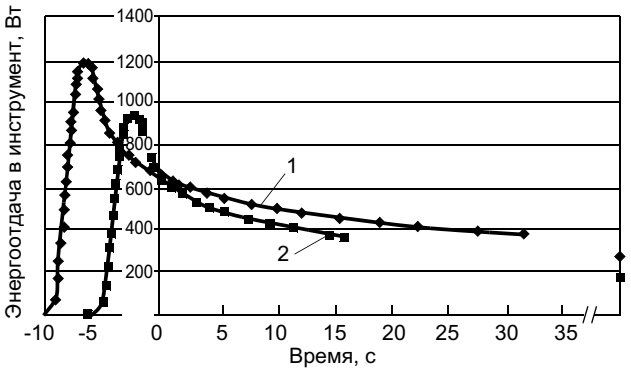


Рис. 2. Прогнозируемая потеря тепловой энергии во вращающемся инструменте от начала его перемещения до выхода на стационарный режим при СТП сплавов 6082-Т6 + + 2024-Т4 (*1*) и АМ60 + АМ60 (*2*)

ный тепловой режим, может снижаться от 20 и более до 10 % общей производимой энергии (рис. 2). Авторы работы [6] путем моделирования процесса доказывают, что при полностью установившемся тепловом режиме на тепловложение в инструмент затрачивается до 2 % вводимой тепловой энергии. Такое различие связано, возможно, с точностью принятых авторами разных методик, а также с тем, что исследованы, по-видимому, разные стадии процесса СТП.

Более достоверным представляется результат, полученный экспериментально [7] прямым замером температуры нагрева инструмента в процессе СТП листов из алюминиевого сплава 6061-Т6 толщиной 3 мм при разных параметрах режима сварки. При этом использована система телеметрии (принцип работы системы не приведен), с помощью которой результаты измерения температуры передавались с термопар, закрепленных в различных участках инструмента на разном расстоянии от поверхности (рис. 3, *а*), в приемное компьютерное устройство. Результаты измерения показали, что с увеличением частоты вращения температура инструмента повышается (рис. 3, *б*), температура на поверхности опорного бурта инструмента составляет около 530 °С (определена экстраполяцией) и по мере удаления от поверхности снижается по линейной зависимости; при увеличении скорости сварки температура опорного бурта инструмента практически не изменяется. Однако авторы не приводят результаты измерения температуры рабочего стержня, хотя в него встроена термопара, как показано на схеме (см. рис. 3, *а*).

Значительно большее число публикаций связано с определением температур нагрева разных зон сварного соединения при СТП. Температурные поля в зоне соединения определяют физическую возможность пластического течения разогретого материала и получения качественного формирования структуры шва. Следует отметить, что большинство специалистов, исследующих этот вопрос [3—6, 8, 9], используют моделирование процесса для построения тепловых полей. Однако сообщаемые разными авторами результаты расчетов отличаются значительным разбросом значений максимальных температур нагрева в зоне сварки при СТП алюминиевых сплавов — от 450 до 660 °С.

В работах [7, 10—12] приведены результаты измерения температуры нагрева материала в разных точках зоны соединения с помощью термопар и получены реальные картины тепловых полей при СТП алюминиевых сплавов. В сообщаемых результатах интервал значений максимальных температур составляет примерно 480—550 °С. На графиках термических циклов отмечен резкий спад температуры за первые 2—3 с после достижения максимума. Высокие температурные градиенты и малое время пребывания металла шва при высоких температурах благоприятно сказываются на его структуре. Во многих работах отмечается, что с увеличением частоты вращения инструмента температура в зоне сварки

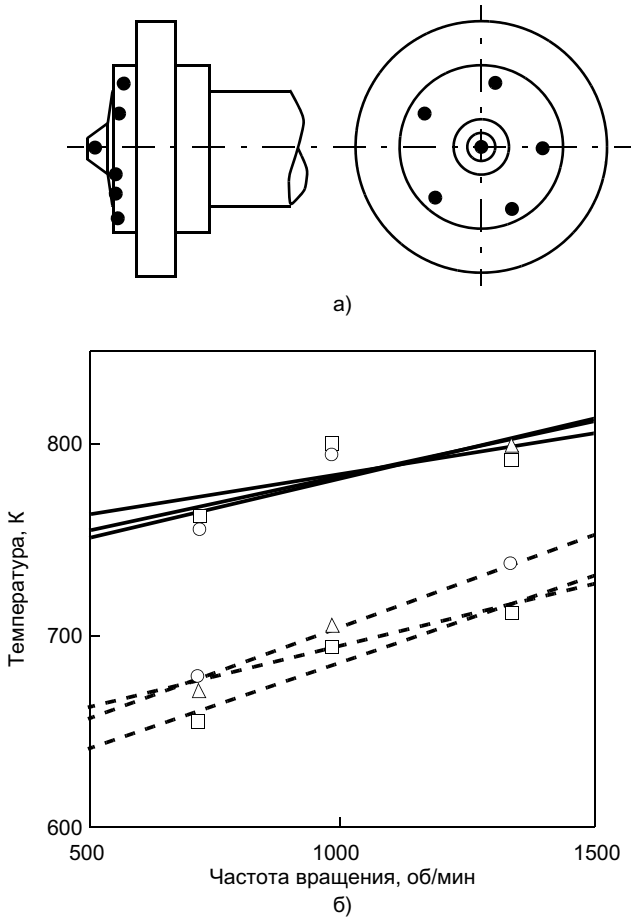


Рис. 3. Схема размещения термопар в инструменте (*а*) и зависимость температуры опорного бурта и технологической подкладки (штриховая линия) от частоты вращения инструмента (сплошная) (*б*) при скорости сварки, равной 30 (○), 50 (△) и 70 (□) мм/мин

Система	Марка сплава	
	США	Россия
Al—Cu—Si—Mn	2014	АК8
Al—Cu—Mg—Mn	2024	Д16
Al—Cu—Mg	2095	—
	2195	—
Al—Cu—Mn	2219	1201
Al—Cu—Mg—Mn	2524	—
Al—Mg—Mn	5083	АМг4,5
Al—Mg—Si	6005	АД31
	6061	АД33
Al—Si—Mg—Mn	6082*	АД35
Al—Zn—Cu—Mg	7010**	—
	7050	—
	7075	В95

* Европейская алюминиевая ассоциация (EAA).
** Великобритания.

повышается, а с увеличением скорости сварки — понижается.

В работе [13] тепловложение в соединяемые детали при СТП сплава 6N01 системы Al—Si—Mg определяли калориметрическим методом. Для этого детали размещали на медной опорной плите, находящейся в воде, и по повышению температуры воды при MIG-сварке и СТП определяли тепловложение. Установлено, что при скорости сварки 500 мм/мин тепловложение в деталь при MIG-сварке и СТП составляет соответственно 390 и 190 Дж/мин. В таблице приведены марки российских сплавов, аналогичных по химическому составу сплавам зарубежных маркок, рассмотренным в данном обзоре.

Заслуживает внимания сообщение [14] о положительном влиянии пониженной начальной температуры деталей. При сварке предварительно охлажденного до –30 °С алюминиевого сплава 2024 максимальная температура металла в зоне сварки на расстоянии 10 мм от центра шва не превысила 140 °С и структура шва по всему его объему состояла из равноосных зерен величиной до 0,8 мкм, в то время как при начальной температуре деталей 30 °С температурный максимум в той же точке составил 330 °С, а величина зерна в центральной зоне шва — 10 мкм. Этот результат интересен, однако его эффективность необходимо подтвердить повышением механических характеристик соединения. Кроме того, снижение температуры соединяемых деталей должно повлечь за собой необходимость повышения давления (силового параметра) для реализации физико-химических процессов, обеспечивающих образование металлических связей и получение соединения [15]. В работе также не освещено влияние подхолаживания материала на работоспособность инструмента.

Одним из важнейших параметров процесса СТП является давление вращающегося инструмента на разогретый материал, необходимое для формирования соединения. Одновременно с вращением рабочий стержень инструмента, погруженный в массу разогретого материала, продвигается со значительным усилием вдоль стыка, преодолевая сопротивление материала. При этом он испытывает высокотемпературный нагрев и сложное напряженное состояние: кручение и знакопеременный изгиб. Максимальные напряжения от крутящего момента и изгибающих сил приходятся на основание рабочего стержня инструмента. Поэтому возникла необходимость исследования силовых параметров процесса СТП и повышения прочности инструмента.

В работах [12, 16—18] приведены результаты измерения сил, прикладываемых к инструменту и воспринимаемых свариваемыми деталями и оснасткой в процессе сварки, с помощью встроенных в оснастку или головку станка динамометров. Регистрировались усилия в трех направлениях — вдоль, поперек стыка, а также в вертикальном направлении в течение обеих стадий процесса СТП: от начала до окончания погружения вращающегося инструмента в стык и от начала до окончания его перемещения по линии стыка [17, 18]. На основании полученных данных о величине усилий (до 20 кН и более) были определены требования к сборочно-сварочной оснастке. Установлена также взаимосвязь между усилием, действующим на инструмент, и углом отклонения его от вертикали, а также временем остановки инструмента (с продолжающимся вращением) после погружения его в стык.

Во многих работах, сообщающих об исследовании термомеханического цикла при СТП методом моделирования [3, 6, 19—21], отмечается основное требование к оборудованию и оснастке для СТП — обеспечение жесткой фиксации соединяемых кромок и положения инструмента относительно их поверхности (глубины погружения в стык) в течение сварочного цикла. Приводы рабочего перемещения инструмента и его вращения чутко реагируют на любые текущие изменения реактивных сил, действующих на вращающийся инструмент при его погружении в материал и перемещении с вращением сквозь массу разогретого материала по линии стыка. Особенно резко изменяется сопротивление материала продвижению в нем вращающегося инструмента при изменениях глубины его погружения в материал. В работе [20] разработана система адаптивного регулирования глубины погружения инструмента. При малейшем изменении глубины погружения или какого-либо другого параметра соответствующий сигнал передается в обрабатывающий модуль, который фильтрует его, переводит в единый

Рис. 4. Изменение усилия на инструменте при погружении в стык и перемещении вдоль стыка

масштаб и передает в компьютер, откуда на функциональный орган поступает команда на корректировку определенного параметра режима сварки.

Экспериментальная разработка системы проведена на вертикально-фрезерном станке Willis CNC, модифицированном для СТП. Усилие и крутящий момент, действующие на инструмент, измеряли с помощью вращающегося динамометра 9124B, встроенного в шпиндельный узел станка. На стадии погружения инструмента (сплав 6061-T6) осевое усилие нарастало до значения более 13 кН, а затем снижалось до 4,4 кН на стадии перемещения вдоль стыка (рис. 4). Показано также, как при изменении скорости сварки от 1,7 до 27 мм/с возрастает осевое усилие на второй стадии СТП. В работе [22] также показано, что такая система регулирования способна поддерживать постоянное усилие, действующее на инструмент по всей длине шва. В работе [23] на основании анализа потоков пластического течения материала предлагается использовать для системы регулирования установленную зависимость усилия, действующего на инструмент, от частоты его вращения (по изменению крутящего момента).

Таким образом, во многих разработках силовые параметры использованы в системах управления процессом СТП в качестве интегрального критерия для формирования сигнала управления глубиной погружения инструмента в стык, скоростью сварки и частотой вращения инструмента.

Величина и векторы сил воздействия инструментом на материал, находящийся в пластическом состоянии, определяют направления и скорости движения его потоков, влияя тем самым на формирование структуры соединения. Понимание закономерностей пластического течения в зависимости от конструкции инструмента и параметров режима СТП очень важно, поскольку с ними связана возможность получения плотного, качественного шва.

В работах [5, 8, 19, 23—25 и др.] предложены различные методики исследования пластического течения материала в процессе СТП. В ранних работах [23, 24] была использована техника остановки потока "на месте", дающая лишь примерное представление о перемещении материала, а также методика, основанная на размещении в процессе сборки под СТП стальных шариков диаметром 0,38 мм в канавках торцев соединяемых кромок. Шарики выполняли роль маркеров, наблюдаемых после сварки алюминиевого сплава на рентгенограммах. Эта методика также дает качественную картину массопереноса, а не детализирует процесс пластического течения. То же можно сказать о методике [25], в которой авторы судят о перемещении материала в зоне стыка по перемещению маркеров в виде медных шпилек, размещенных в кромках соединяемых алюминиевых пластин и наблюдаемых с помощью просвечивающей рентгенографии, а также о методике [26], в которой для маркирования применяли медную фольгу, размещенную в стыке между соединяемыми кромками пластин. В работе [27] приведен ряд аналогичных методов исследования для выявления течения материала в зоне, прилегающей к вращающемуся инструменту. При этом в качестве маркера использован композитный материал Al—SiC, который в виде прокладок толщиной 0,6 мм размещали между вертикально установленными пластинами из алюминиевого сплава 7050-T7 толщиной 6,35 мм (рис. 5). Частицы композита SiC микронного размера хорошо видны на непротравленной поверхности шлифов, изготовленных с сохранением в них остановленного "на месте" рабочего стержня инструмента. Показано, что материал перед инструментом перемещается в направлении его вращения, а также из корневых зон в верхние.

В работе [28] в качестве материала маркера использована медная отожженная фольга толщиной 0,1 мм, размещенная в стыке. Для анализа течения материала в процессе СТП построены томографические модели. Для этого с помощью двумерных изображений, получаемых рентгеновским просвечиванием под разными углами (360 ракурсов через 1° относительно оси вращения), строили трехмерную модель, которой можно манипулировать в реальном времени на мониторе компьютера. Однако это не всегда позволяет выявлять детали пластическо-

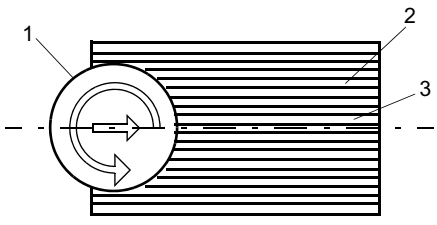
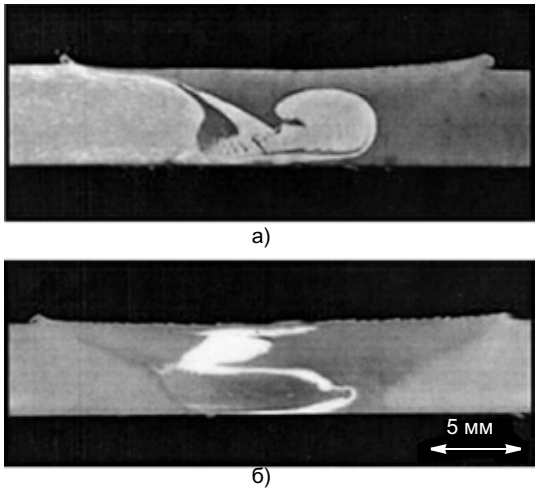


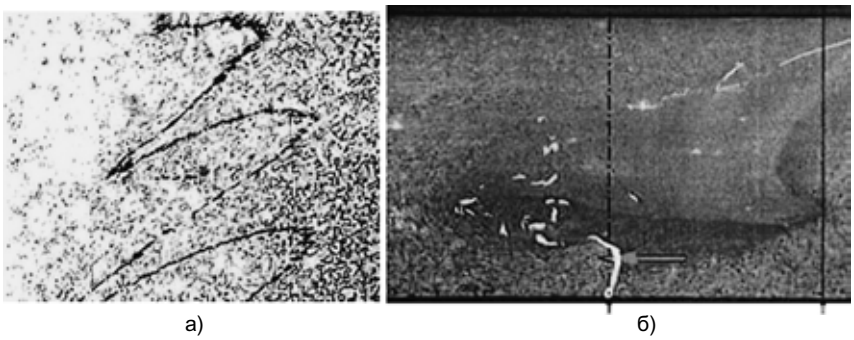
Рис. 5. Схема СТП с поступательным перемещением вращающегося инструмента *1*, погруженного в пакет пластин *2* из сплава 7075 с прокладками *3* из композитного материала Al—SiC (ось инструмента параллельна плоскости пластин)



а)

б)

Рис. 6. Макроструктура швов, выполненных СТП алюминиевых сплавов 6082 + 5083 (*а*) и 6082 + 6082 (*б*) со вставкой из сплава 5083



а) б)

Рис. 7. Расположение на протравленном шлифе (×250) в горизонтальном сечении шва частиц оксида (СТП алюминия Al 99,95) [33] (*а*) и меди (СТП сплава 2024-Т3) [28] (*б*)

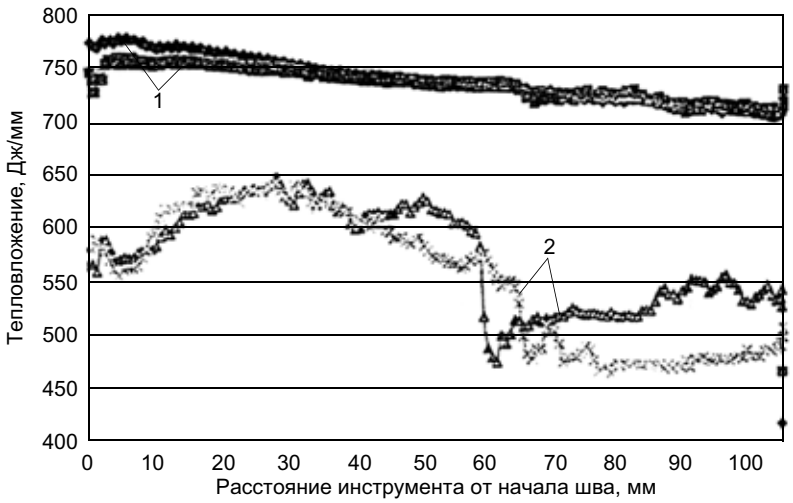


Рис. 8. Зависимость тепловложения в шов от расстояния инструмента от начала шва при СТП (по два образца толщиной 3 мм на каждое сочетание сплавов, маркер расположен в стыке начиная с 65 мм от начала шва и до 105 мм (конец шва))

го течения из-за недостаточной разрешающей способности оборудования, а также вследствие разрушения медного маркера вблизи инструмента на мелкие частицы, которые не выявляются при рентгенографии. Поэтому в качестве дополнительного эффективного средства авторы привлекают металлографию: частицы маркера четко наблюдаются на нетравленых шлифах.

Оригинальные исследования пластического течения при СТП разнородных алюминиевых сплавов приведены в работах [29—32]. Приведенная методика позволяет наблюдать за массопереносом, однако при менее детальном исследовании кинетики процесса пластического течения. В работах [29, 30] отмечено существенное влияние параметров сварки на течение металла и его перемешивание. В работах [31, 32] исследовано формирование соединения разнородных алюминиевых сплавов в результате пластического течения материала с четким изображением участков каждого из сплавов, что обусловлено разной их травимостью (рис. 6). Участки имеют форму, вытянутую в направлении вращения инструмента и, соответственно, в направлении пластического течения материала.

В работе [33] исследовано поведение оксидных частиц при пластическом течении материала в процессе СТП. По мнению авторов, мелкие оксиды, полученные измельчением и перемешиванием поверхностной оксидной пленки, осаждаются на алюминиевых частицах микронного размера, обволакивают их, увеличивая их объем и травимость. Расположение частиц хорошо видно на шлифах, как и при использовании медных маркеров (рис. 7).

Авторы работы [28] считают необходимым подбирать материал маркера для исследования каждого сочетания соединяемых материалов. Критерием подбора, по их мнению, может служить минимальное влияние маркера на величину крутящего момента или усилия, определяющую тепловложение в стык при СТП [5]. На приведенных зависимостях (рис. 8) видно, что при использовании в качестве маркера медной фольги толщиной 0,1 мм при СТП сплавов 2024-Т3 + 2024-Т3 (кривая *1*) мар-

кер практически не влияет на термомеханику процесса, в то время как при СТП сплавов 6082-Т6 + + 2024-Т3 (кривая *2*) с таким же маркером влияет заметно, снижая достоверность результатов.

Приведенные методики исследования пластического течения материала при СТП позволяют наблюдать перемещение материала лишь после окончания процесса сварки либо прослеживать расположение потоков дискретно, фиксируя текущее положение процесса остановками на "месте". По-видимому, правильнее вести речь о результатах экспериментального исследования не пластического течения, а массопереноса.

Анализ публикаций позволяет представить следующую феноменологическую связь в процессе СТП: режим сварки (частота вращения инструмента, скорость сварки) — термомеханические процессы (температура нагрева, усилия на инструменте) — пластическое течение (тепломассоперенос) — формирование структуры соединения (ядро, зона термического влияния) — свойства соединения (прочность, плотность и др.). Однако не всегда указывается, инструментом какой конструкции выполнялась сварка экспериментальных образцов. Детали конструкции инструмента не учитываются также при моделировании процесса, тогда как конструкция инструмента является параметром, не менее значимым по влиянию на термомеханические процессы, чем параметры режима сварки. Поэтому результаты таких сообщений справедливы лишь для конструкции конкретного инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Штрикман М. М.* Новый способ сварки трением и перспективы его применения (обзор) // Сварочное производство. 2001. № 11. С. 36—41.
2. *Третяк Н. Г.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) // Автоматическая сварка. 2002. № 7. С. 12—21.
3. *Heurtier P., Desrayaud C., Montheillet F.* A thermomechanical Analusis of the friction stir welding process // Materials Science Forum (Trans Tech Publications, Switzerland). 2002. Vol. 396—402. P. 1537—1542.
4. *Бровман М. Я.* Основные энергосиловые параметры процесса фрикционного соединения заготовок // Вестник машиностроения. 2002. № 12. С. 12—20.
5. *Dickerson Terry.* Heat flow into friction stir welding tools // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
6. *Colegrove P., Shercliff H., Threadgill P.* Modelling and Development of the Trivex™ Friction Stir Welding Tool // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
7. *Nishihara T., Nagasaka Y.* Measurement of tool temperature during friction stir welding // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
8. *Smith C. B., Bendzsak G. B., North T. H.* Heat and material flow modeling of the friction stir welding process // NJST Special Publication SP. 2002. Vol. 949. P. 475—486.
9. *Song M., Kovacevic R.* A coupled heat transfer model for workpiece and tool in friction stir welding // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
10. *Kumagai M., Tanaka S.* Application of friction stir welding to welded construction of aluminium alloys // Journal of light metal welding construction. 2001. Vol. 39 (1). P. 22—28.
11. *Служебные* характеристики соединений алюминиевых сплавов 1201 и АМг6, выполненных фрикционной сваркой / В. А. Половцев, М. М. Штрикман, Г. В. Шилло и др. // Сварочное производство. 2005. № 12. С. 8—14.
12. *Enomoto M.* Friction Stir Welding: research and industrial applications // Journal of light metal welding construction. 2002. Vol. 40 (10). P. 59—63.
13. *Aota K.* et al. Heat inputs and mechanical properties in friction stir welding // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe, Japan, 2001.
14. *Low-temperature* friction stir welding of 2024 — aluminium / S. Benavides, Y. Li, L. Murr et al. // Scripta Materialia. 1999. Vol. 41. N 8. P. 809—815.
15. *Гельман А. С.* Основы сварки давлением. М.: Машиностроение, 1970. 312 с.
16. *Schuler V.* FSW — Possibilities and application // Proc. of the int. conf. on the joining of materials. JOM-10. Helsingor — Denmark, 2001. P. 238—257.
17. *Фрикционная* сварка листовых конструкций из алюминиевых сплавов 1201 и АМг6 / М. М. Штрикман, В. А. Половцев, Г. В. Шилло и др. // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 41—47.
18. *Johnson R.* Forces in friction stir welding of aluminium alloys // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe, Japan, 2001.
19. *Shinoda T.* Effect of tool angle on metal flow phenomenon in friction stir welding // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe, Japan, 2001.
20. *Controlling* robotic friction stir welding / G. E. Cook, H. B. Smartt, J. E. Mitchell et al. // Welding Journal. 2003. N 6. P. 28—34.
21. C*hen C., Kovacevic R.* Finite element modeling of thermomechanical performance of friction stir welding // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
22. *Smith C. B., Hinrichs J. F., Crusan W. A.* Robotic friction stir welding — the state of art // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
23. *Colligan K.* Material flow in friction stir welding process // Welding Journal. 1999. Vol. 78 (7). P. 229—237.
24. *Colligan K.* Material flow behaviour during friction stir welding of aluminium // 1st International Symposium on Friction Stir Welding. California, USA, 1999.
25. *Rassell M. J.* Development and modeling of friction stir welding // PhD Thesis. University of Cambridge, 2000.
26. *Metal* flow during friction welding / M. Guerra, J. C. McClure, L. E. Murr, A. C. Nunes // TMS. 2001.
27. *Experimental* methods for determining material flow in friction stir welds / B. London, M. Mahoney, W. Bingel et al. // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe, Japan, 2001.
28. *Dickerson T., Shercliff H., Schmidt H.* A weld marker technique for flow visualization in friction stir welding // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.
29. *Reynolds A. P., Seidel T., Simonsen M.* Visualization of material flow in an autogenous friction stir weld // 1st International Symposium on Friction Stir Welding. California, USA, 1999.
30. *Visualization* of material flow during friction stir welding of the same and dissimilar aluminium alloys / J. H. Ouyang, R. Kovacevic, Jandric et al. // Proc. 6th International Conference on trends in welding research. Pine Mountain, GA, USA, 2002.
31. *Joining* of dissimilar Al-alloys by friction stir welding / H. Larsson, L. Karlsson, S. Slotz, E.-L. Bergqvist // 2nd International Symposium on Friction Stir Welding. Gothenburg, Sweden, 2000.
32. *Особенности* формирования соединения из разнородных алюминиевых сплавов Д19 и 1420 при фрикционной сварке линейных швов / М. М. Штрикман, А. А. Филатов, А. А. Гельман, Л. Б. Бер // Сварочное производство. 2005. № 1. С. 15—21.
33. *Palm F., Steiger H., Henneboehle U.* The origin of particle (oxide) traces in friction stir welds // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah, USA, 2003.

УДК 621.791.052:620.179.152.1

С. Б. КРАСИЛЬНИКОВ, Г. И. СОНИН
ЗАО "Синтез НДТ" (С.-Петербург)

Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов

Необходимость обеспечения надежной работы магистральных газопроводов с одновременным сокращением затрат на контроль качества требует повышения доли современного автоматизированного оборудования, использующего цифровую обработку видеоизображения и имеющего показатели качества контроля не хуже, чем при традиционных методах НК.

Для проведения радиационного контроля при строительстве магистральных газопроводов разработана и изготовлена опытно-промышленная радиометрическая установка (РМУ), которая может эксплуатироваться как с рентгеновскими аппаратами, так и с радионуклидными источниками. Ее применение значительно повысит оперативность и объективность радиационного контроля, уменьшит временные и финансовые затраты, долю ручного труда, позволит архивировать результаты контроля в цифровом виде.

Принцип работы радиометрической установки

Радиометрический контроль относится к системам цифровой радиационной дефектоскопии. В этих системах радиационное изображение преобразуется в цифровой массив данных (цифровое изображение), который в процессе проведения контроля может подвергаться различным видам цифровой обработки и в виде полутонового изображения построчно выводиться на монитор ПК.

Радиометрический метод основан на принципе измерения изменения потока гамма- или рентгеновского излучения, прошедшего через материал контролируемого объекта. Детектором для радиометрического контроля является фотодиод с наклеенным на него сцинтиллятором. Под действием излучения сцинтиллятор испускает видимый свет, световой выход сцинтиллятора пропорционален энергии квантов. Это световое излучение вызывает ток в фотодиоде.

Итак, детектор преобразует излучение, проходящее через контролируемое изделие, в электрический сигнал, величина которого пропорциональна интенсивности гамма-излучения.

Приемник рентгеновского излучения представляет собой линейку сцинтилляционных детекторов, каждый из которых оснащен своим усилителем, образуя с ним единый независимый канал. Число детекторов в линейке определяется требуемой шириной зоны контроля. Каждый канал в каждом детекторном блоке последовательно опрашивается, и с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) полученные сигналы оцифровываются. Блок сбора информации проводит опрос детекторных блоков и передает полученный цифровой массив на ПК.

Перемещая детекторные блоки относительно контролируемого сварного соединения, получаем непрерывно считываемый массив данных. Этот массив записывается в память ПК для последующего более детального исследования и архивирования, а в обработанном виде выводится в виде полутонового изображения на монитор для оперативной оценки качества контролируемого участка в реальном времени.

Требования к рентгеновским аппаратам

Как известно, в радиографическом методе контроля флуктуации интенсивности и энергетического спектра проходящего через объект излучения не влияют на чувствительность контроля, поскольку фиксируемое на рентгеновской пленке изображение определяется интегральной дозой излучения за время экспозиции.

Поэтому при радиографическом контроле можно применять рентгеновские аппараты любых типов. Изготовители рентгеновских аппаратов не приводят данных по флуктуации интенсивности излучения, так как эта величина абсолютно не критична при радиографическом контроле.

Радиометрия — метод измерения в режиме реального времени при построчном сборе информации. Сканирование одной строки занимает десятые доли секунды. Поэтому к рентгеновскому аппарату предъявляются два

основных требования: во-первых, плотность потока излучения, прошедшего через контролируемую толщину объекта, должна быть достаточна велика, чтобы можно было зарегистрировать за это время изменение толщины объекта вдоль участка сканирования на фоне постоянной составляющей прошедшего и рассеянного излучения. Во-вторых, интенсивность излучения в течение сканирования должна быть постоянной. Итак, при радиометрическом контроле требуется применение высокостабильных источников ионизирующего излучения с максимально возможной плотностью потока излучения и постоянным энергетическим спектром.

Для сравнения современных панорамных рентгеновских аппаратов постоянного потенциала был разработан переносной прибор, который обеспечил проведение измерений интенсивности рентгеновского излучения в полевых условиях. С точки зрения применимости этих аппаратов для радиометрического контроля их можно разделить на три группы.

К первой группе относятся аппараты, имеющие фиксированную частоту флуктуации интенсивности рентгеновского излучения. Эти регулярные изменения интенсивности создают поперечные полосы на изображении. Среднеквадратичные отклонения интенсивности при этом в 2—3 раза превышают статистические шумы. Влияние этих флуктуаций можно ослабить программным образом. Для этого радиометрическая установка должна быть оснащена программами, которые будут определять спектральную составляющую флуктуации для каждого применяемого рентгеновского аппарата. Такие аппараты можно считать условно применимыми для радиометрического контроля.

Ко второй группе отнесем рентгеновские аппараты постоянного потенциала, имеющие высокочастотные случайные во времени флуктуации. Величина среднестатистических отклонений интенсивности излучения превышает 1 %. Такие аппараты нельзя применять при радиометрическом контроле.

Идеальным вариантом являются аппараты, у которых стабильность излучения выше 0,5 %, а частота флуктуаций ниже 0,1 Гц. Такие незначительные по величине низкочастотные изменения интенсивности легко устраняются на изображении программно.

Для работы с РМУ был выбран рентгеновский панорамный аппарат РПД-200 П. После определенной модификации системы питания он показал, что может быть успешно применен для проведения радиометрического контроля.

Выбор параметров РМУ

Параметры РМУ определяются прежде всего требованиями к чувствительности и производительности контроля.

Главным элементом установки являются апертура детектора и его размер вдоль направления распространения излучения (лучевая протяженность детектора). При выборе этих размеров необходимо максимально учесть все факторы и возможные условия, при которых будет эксплуатироваться данная РМУ.

К таким факторам относятся:

— диапазон контролируемых толщин;

— требуемая чувствительность контроля;

— критерии отбраковки сварного соединения согласно нормативной документации на радиационный контроль;

— требуемая производительность контроля;

— вид применяемого источника гамма-излучения;

— интенсивность гамма-излучения (радиационная загрузка детектора);

— экономически целесообразная стоимость аппаратуры.

Как известно, чувствительность радиометрического контроля к дефектам — величина регулируемая, зависящая от параметров контроля [1]. В свою очередь, чувствительность контроля определяется соотношением контрастного и пространственного разрешения детектирующего элемента. Контрастная чувствительность определяется квантовой эффективностью детекторов, которая прямо пропорциональна объему сцинтиллятора. Пространственное разрешение обратно пропорционально апертуре детектора. Конструктивные решения и условия сбора информации могут улучшить пространственное разрешение аппаратуры.

Как известно, для контроля сварных соединений на трубопроводах диаметром 1420 мм применяются как рентгеновские аппараты, так и радионуклидные источники ^{192}Ir. При этом требуемая производительность контроля должна быть не менее пяти сварных соединений в 1 ч.

Исходя из этих условий, были выбраны детекторы с лучевой протяженностью 20 мм и апертурой 1,4 × 1,5 мм. Как показали измерения, для ^{192}Ir квантовая эффективность этих детекторов превышает 70 %. Необходимо учесть, что столь значительная величина лучевой протяженности детекторов требует строгой юстировки блока детекторов относительно источника гамма-излучения, что технологически легко достижимо. Оптимальное соотношение между пространственным разрешением и контрастной чувствительностью определяет выбор апертуры детектора. Качество полутонового видеоизображения должно обеспечивать получение требуемой чувствительности согласно

нормативной документации на контроль данного сварного соединения. Это необходимое и достаточное условие правомерности выбора размеров детекторов.

Для проверки чувствительности радиометрического контроля использовались проволочные, канавочные и пластинчатые эталоны качества изображения. Самые объективные оценки пространственного разрешения позволяют получить пластинчатые эталоны с отверстиями. При толщине стенки 20 мм выявляются отверстия *2T* на эталоне № 17 и отверстие *1T* на эталоне № 30. Это соответствует самым жестким требованиям на радиационный контроль. Естественно, изображение проволочных и канавочных эталонов показывало чувствительность, превышающую требуемую.

В случае применения при контроле только рентгеновских аппаратов и при фокусном расстоянии не более 500 мм с любым источником можно применять детекторы с меньшей апертурой и лучевой протяженностью.

Применение линейки детекторов при радиометрическом контроле имеет два существенных недостатка, которые могут привести к ухудшению выявляемости дефектов:

— между элементами в линейке детекторов всегда существует технологический зазор, что уменьшает величину сигнала от объекта в контролируемом участке, часть проекции которого может приходиться на технологический зазор;

— существует вероятность, величина которой зависит от соотношения ширины детектора и величины технологического зазора между детекторами, что сигнал от узкого дефекта типа непровара распределится между двумя соседними детекторами.

При этом условии дефекты с малой шириной и низким контрастом, к которым относятся непровары и трещины в сварном соединении, могут вообще не выявиться на изображении.

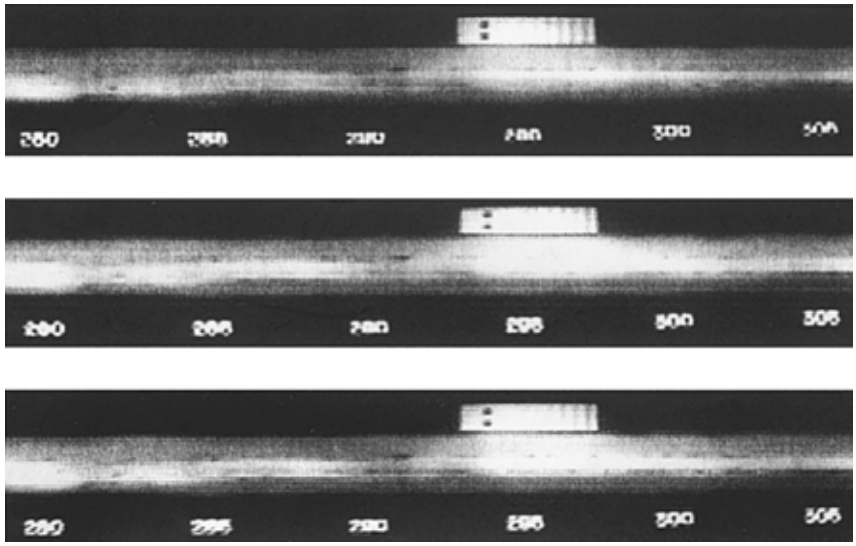


Рис. 1. Автоматическая сварка. РПД-200 П — 190 кВ, 4,8 мА. Сверху — два изображения, полученные от каждой линейки детекторов в блоке, внизу — суммарное изображение этих двух линеек

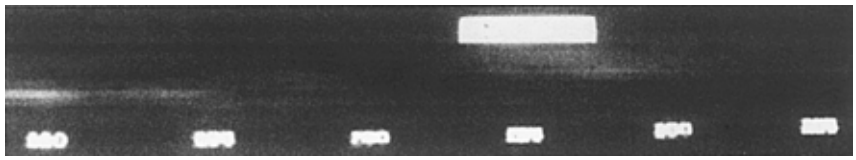


Рис. 2. Результат от действия вычитания "усредненного профиля" на том же участке сварного соединения

Влияние этих факторов можно значительно уменьшить, применяя для радиометрического контроля устройство, оснащенное двумя параллельно ориентированными линейками детекторов, последовательно считывающими информацию с контролируемого участка. При этом линейки смещены относительно друг друга на половину ширины детектора. В этом случае проекция технологического зазора в одной линейке приходится на центр детектора в другой линейке. При работе с двумя детектирующими линейками информация о контролируемом участке содержится как в каждом из двух независимых изображениях от каждой линейки, так и в суммарном изображении от обеих линеек. На суммарном изображении возрастает выявляемость и точность измерения дефектов, зарегистрированных обеими линейками, так как отношение сигнал/шум от этих дефектов на суммарном изображении в 1,4 раза больше, чем на изображениях от каждой линейки.

Базовым элементом механизма сканирования для радиометрического контроля сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов выбран бандаж, аналогичный применяемому при автоматической сварке. Замыкание бандажа осуществляется натяжной рычажной защелкой. Для обеспечения производительности контроля применяли шесть детекторных блоков, которые одновременно проводят контроль своих сегментов сварного шва. Каждый детекторный блок установлен на своей пассивной каретке на роликах. Роли-

ки выполнены на шарикоподшипниках и опираются на бандаж.

Перемещение приводной каретки с мотор-редуктором по образующей трубы и бандажу на длину 1/6 периметра (с учетом перекрытия смежных участков) осуществляется звездочкой и цепью Галля, закрепленной на бандаже. Натяжение цепи и исключение самопроизвольного перемещения достигаются талрепом и двумя подпружиненными натяжителями цепи, установленными на приводящей каретке. Синхронное перемещение детекторных блоков обеспечивается металлическими шарнирами с рычагами, связывающими каретки между собой. После завершения контроля очередного сварного соединения бандаж с закрепленными на нем детекторными блоками перемещается к следующему шву с помощью транспортной тележки. Транспортная тележка перемещается по контролируемому трубопроводу. На ней можно располагать источники питания и необходимую аппаратуру.

Программное обеспечение радиометрической установки состоит из четырех основных блоков — программы сбора информации, программы улучшения изображения, программы управления блоками и аппаратурой в целом и программы автоконтроля.

Проведение радиометрического контроля

Отработка методики радиометрического контроля, отладка и согласование блоков и узлов аппаратуры проводили в рентгеновской камере на катушке диаметром 1420 мм с двумя сварными соединениями (сварка покрытым электродом, автоматическая сварка под флюсом). При проведении измерений применяли радиоактивный источник ^{192}Ir активностью от 40 до 65 Ки и различные рентгеновские аппараты. Все источники излучения при проведении измерений располагались в центре катушки, т. е. фокусное расстояние составляло 760 мм.

Предельную чувствительность радиометрического контроля измеряли с применением рентгеновского аппарата направленного действия ERESCO65 MF2 при 225 кВ и анодном токе 3,8 мА. Считывание информации проводилось одним детекторным блоком с учетом диаграммы направленности рентгеновского излучения. Скорость сканирования детекторных блоков при проведении измерений выбиралась от 2,2 до 3 мм/с. Чувствительность контроля составляла 0,3 мм по канавочному эталону № 1, 0,25 мм — по проволочному, на пластинчатом с отверстиями ASTM № 17 выявлено отверстие *2T*, на ASTM № 30 — *1T*.

Контроль сварных соединений на катушке диаметром 1420 мм проводили с применением панорамного рентгеновского аппарата РПД-200 П с модифицированным источником питания. Параметры излучения — 190 кВ, анодный ток — 4,8 мА. Так как интенсивность рентгеновского излучения аппарата РПД-200 П в выбранном режиме в 2 раза ниже, чем от аппарата ERESCO, то отношение сигнал/шум в 1,5 раза ниже, следовательно, и чувствительность контроля ниже.

Радиометрическую установку испытывали в полевых условиях при контроле поворотных стыков трубопровода при температуре окружающей среды от –30 до 0 °С с дождем и мокрым снегом. РМУ и РПД-200 П продемонстрировали свою работоспособность в этих условиях. Были, конечно, и сбои в работе аппаратуры по зависящим и не зависящим от авторов статьи причинам. Замечания по работе аппаратуры были учтены, отработана технология радиометрического контроля поворотных сварных соединений при строительстве газопроводов.

Сварной шов, выполненный автоматической сваркой под флюсом, имеет выпуклость над основным металлом 6—8 мм, а с учетом выпуклости внутренней подварки толщина в районе корня шва превышает толщину стенки трубы на 10 мм. При радиационном контроле сварных соединений переменного сечения с большим перепадом просвечиваемых толщин на контролируемых участках (тонкостенных сварных соединений с относительно большой выпуклостью шва, швов приварки патрубков, различных тавровых соединений и т. д.) оценка качества сварного соединения затруднена из-за значительного контраста изображения контролируемого участка.

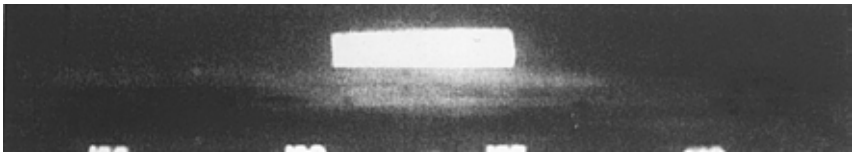


Рис. 3. Сварное соединение, выполненное ручной сваркой

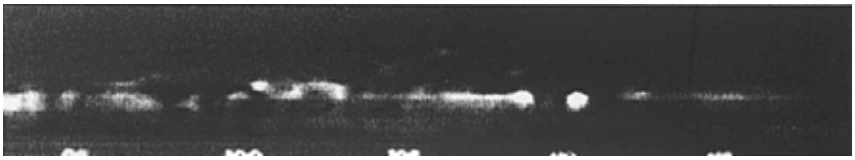


Рис. 4. Контроль сварного соединения с применением ^{192}Ir. Активность ^{192}Ir — 80 Ки. Скорость сканирования 8,7 м/ч. Изображение после вычитания "усредненного профиля"

При радиометрическом контроле большинства сварных соединений с переменной толщиной значительное изменение толщины поглотителя распределяется вдоль ориентации линейки детекторов, а в направлении сканирования изменения толщины под каждым элементом шейки детекторов незначительны. Это позволяет определить среднюю толщину поглотителя — "усредненный профиль", зарегистрированную каждым детектором, усредняя текущие значения выходных сигналов в данном канале.

Для уменьшения диапазона градаций серого в получаемом изображении участка с переменной толщиной поглотителя достаточно из текущих значений сигналов, полученных в процессе контроля сварного соединения, вычесть значения "усредненного профиля" в каждом канале. Применение вычитания "усредненного профиля" приводит к тому, что резко повышается выявляемость дефектов в сварном соединении, а изображение сварного шва с выпуклостью и ОШЗ лежат практически в одном и том же диапазоне градаций серого. Необходимо учесть, что вычитание "усредненного профиля" может привести к исчезновению на изображении протяженного непровара. Но его изображение всегда присутствует в необработанном массиве данных, в который не вносятся изменения, вызванные последующей обработкой изображения.

На рис. 1 показано, в каком виде выводится на мониторе ПК изображение сварного шва (автоматическая сварка) в реальном времени при радиометрическом контроле. Сверху располагаются изображения от двух линеек детекторов в блоке, которые последовательно считывают информацию с контролируемого участка. Нижняя часть изображения — выполненное программным образом суммарное изображение от этих двух линеек. На рис. 2 приводится результат от действия вычитания "усредненного профиля" на том же участке сварного соединения. Естественно, чем меньше продольные колебания толщины усиления, тем выше эффективность применения этого метода.

На рис. 3 изображено сварное соединение, выполненное ручной сваркой. Анализ изображения такого шва показал необходимость разработки программного обеспечения по подавлению пространственных шумов, обусловленных неравномерностью поверхности сварного соединения. Наличие сопутствующего сигнала значительно ухудшает выявляемость дефектов как при оценке качества оператором (как и на рентгеновской пленке), так в еще большей степени при автоматизации обнаружения дефектов с помощью программного обеспечения. Поэтому поверхность сварного соединения с грубой чешуей должна быть зачищена с использованием средств механической обработки до начала проведения радиометрического контроля. При контроле швов с ручной сваркой метод вычитания "усредненного профиля" дает положительный эффект, но в меньшей степени, чем при контроле швов, сваренных автоматом.

На рис. 4 приведено изображение, полученное при контроле ручного сварного соединения с применением радионуклидного источника ^{192}Ir. Предварительные расчеты показали, что при радиометрическом контроле трубопроводов диметром 1420 мм для обеспечения производительности контроля 6 мин на шов активность ^{192}Ir должна быть не меньше 60 Ки. В нашем распоряжении был источник с начальной активностью 65 Ки. Чувствительность контроля без снижения скорости сканирования по канавочному эталону выполнялась вплоть до активности 45 Ки. При более низкой активности необходимо уменьшать скорость контроля.

Анализ результатов радиометрического контроля

Выявляемость дефектов в сварных соединениях при радиометрическом контроле определялась сравнением с радиографическим изображением. По рентгеновскому снимку определялся размер выявленных в сварном соединении дефектов. Чувствительность контроля и, как следствие, выявляемость дефектов при радиометрии уменьшается по мере уменьшения радиационной загрузки детекторов и увеличения энергии гамма-излучения. Наилучшие результаты получены при использовании аппарата ERE3C065 MF2 при 225 кВ и анодном токе 3,8 мА (с прямым пучком), наихудшие — при применении ^{192}Ir.

Основной объем работы проводился с использованием аппарата РПД-200 П. Получена полная воспроизводимость по выявляемости дефектов, конечно, в пределах статистической погрешности. Выявляемость пор размером 0,7 мм составляла 90 % при работе с ERESCO, 70 % — при работе с РПД-200 П и не более 20 % — при использовании ^{192}Ir. Все дефекты размером больше чем 1,2 мм были выявлены во всех случаях. Поэтому можно утверждать, что несмотря на то что активность ^{192}Ir была низкой, аппаратура обеспечила требования чувствительности контроля при времени сканирования 6 мин.

Все сказанное выше относится к контролю швов, сваренных в автоматическом режиме. Измерения показали, что радиометрическому контролю можно также подвергать швы, выполненные ручной сваркой. Но перед прове-

дением контроля такие швы должны обязательно зачищаться в соответствии с нормативной документацией. Даже на рентгеновском снимке иногда невозможно отличить шлаковое включение от резкой впадины между грубыми чешуйками сварки.

Конечно, принятые в данной установке размеры детектора не оптимальны для контроля толщин около 20 мм, но только такие детекторы позволяют проводить контроль с использованием ^{192}Ir. Эксперименты на плоских образцах сварных соединений различной толщины показали, что такой размер детекторов является оптимальным для радиометрического контроля сварных соединений толщиной от 30 до 100 мм как с применением рентгеновского излучения, так и с использованием радионуклидных источников. При контроле толщин от 45 мм и выше пространственное разрешение радиометрического изображения близко к пространственному разрешению радиографии, а коэффициент накопления рассеянного излучения при радиометрии значительно меньше, чем при радиографии при тех же условиях просвечивания. При размерах апертуры 1,4 × 1,5 мм разрешение изображения в направлении сканирования составляет 0,4 мм, поперек движения — 1,7 мм, а с учетом применения двух параллельных линеек детекторов — около 1 мм. Применяя технологические и программные решения, можно достичь размера пикселя 0,4 × 0,7 мм.

При радиационном контроле сварных соединений пространственное разрешение детектирующего устройства должно обеспечить более точное определение формы и размеров выявленных дефектов, разделить близко лежащие дефекты. Но прежде всего эти дефекты должны быть выявлены. Выявляемость дефектов в первую очередь зависит от контрастной чувствительности детектирующего устройства. В свою очередь, контрастная чувствительность метода определяется эффективностью и линейностью регистрации гамма-излучения, динамическим диапазоном детектирующего устройства [2, 3]. По всем этим параметрам РМУ значительно превосходит все остальные методы радиационной дефектоскопии во всем диапазоне энергий гамма-излучения. С учетом того, что дефектоскопическая чувствительность радиометрического контроля — величина регулируемая, радиометрический контроль — универсальный метод в широком диапазоне толщин исследуемых материалов и энергий гамма-излучения.

Выводы

Радиометрический контроль имеет наихудшее пространственное разрешение по сравнению с другими радиационными методами, однако этот недостаток может быть скомпенсирован наивысшей контрастной чувствительностью. Это обеспечивает выявление и измерение недопустимых дефектов в контролируемых изделиях. При радиометрическом контроле могут применяться как рентгеновские аппараты, так и радионуклидные источники. Для обеспечения радиометрического контроля в диапазоне толщин от 10 до 200 мм достаточно применение 3—4 типоразмеров детектора.

Радиометрический контроль может широко применяться для исследования большого объема однотипных изделий, он обеспечивает высокую производительность, оперативность и степень автоматизации. Этот метод может применяться при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов, на трубных заводах, при изготовлении цистерн для агрессивных сред, на машиностроительных заводах, в авиа- и ракетостроение и т. д. По данным статистики, в толстостенных сварных соединениях до 70 % дефектов располагаются в корне шва. Как правило, толстостенное изделие, на котором заварен только корень шва, нельзя передать на рентгеновскую камеру для технологического контроля. С помощью радиометрической установки можно проводить контроль корня шва прямо на сварочном стенде, не отключая обогрев свариваемого соединения.

Стремительно развивающаяся электронная и вычислительная техника открывает широкие возможности для усовершенствования и удешевления радиометрической аппаратуры.

Измерения, проведенные с помощью панорамного рентгеновского аппарата РПД-200 П, показали, что на базе рентгеновских аппаратов этого типа могут быть созданы радиометрические комплексы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедев В. А., Сонин Г. И.* Область применения радиометрических установок // В мире НК. 2002. № 1 (15). С. 24—27.
2. *Неразрушающий* контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995.
3. *Зуев В. М., Табакман Р. Л., Удралов Ю. И.* Радиографический контроль сварных соединений. СПб.: Энергоатомиздат, 2001.

"В мире неразрушающего контроля", 2006, № 4

УДК 621.791:658.51

А. П. ШУТЧЕНКО, канд. экон. наук
(Рязанский институт бизнеса и управления национального открытого института России),
Д. В. МАЛАХОВ, инж.
(ПО счетно-аналитических машин, Рязань)

Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия

Экономико-математические методы являются одним из мощнейших инструментов для совершенствования планирования. Особенную актуальность они приобрели в настоящее время, когда возможности ЭВМ значительно расширились. Экономико-математические методы применяют во многих отраслях народного хозяйства. Одним из распространенных является метод линейного программирования в оптимизации экономических процессов. Однако практическая реализация данного метода требует учета множества факторов, особенно в машиностроительном комплексе, где их число чрезвычайно велико. Учет всех необходимых ограничений, как правило, приводит к значительному усложнению подобных моделей и создает трудности для их реализации. Кроме того, существует общий закон, согласно которому 20 % факторов обусловливают 80 % результата. Другими словами, довольно ограниченное число факторов оказывает решающее влияние на итог.

Одним из основных направлений перспективного планирования на предприятиях является использование метода "input—output" ("затраты—выпуск"). В отечественной научно-технической литературе этот метод известен как метод межотраслевого баланса, который довольно широко применялся на межотраслевом и отраслевом уровнях. Однако на уровне предприятия его применение было незначительными и до недавнего времени ограничивалось разработкой так называемых матричных техпромфинпланов. В соответствии с принципиальными положениями этого метода строили только технико-экономическую модель, являющуюся лишь подготовительным (хотя и, безусловно, важным) этапом по расчету техпромфинплана. Что касается экономико-математической составляющей этой методики, то она представляла задачу линейного программирования. Большая часть времени при этом уходила на заполнение этих моделей необходимой информацией.

Общими проблемами моделирования, особенно на уровне планирования производства с многономенклатурной, многостадийной характеристикой, являются недостоверные предпосылки, информационные ограничения, плохое использование результатов расчета и чрезмерные расходы.

В рамках данной работы рассматривается модель, построенная на формализации функциональных связей технологических переделов в производстве отдельных видов продукции, во многом решающая большую часть проблем в области внутрипроизводственного планирования. Предлагаемый метод включает модели расчета производственной возможности технологического цеха расчета плана производства технологических цехов. Анализ используемых подходов во внутрипроизводственном планировании на машиностроительных предприятиях не приводится.

Модель расчета производственной возможности технологического цеха

В результате расчета производственной мощности определяется максимально возможный выпуск изделий цехом в соответствии с планируемым ассортиментом продукции завода и максимальным использованием основного оборудования.

Для расчета производственной возможности в цехах механической обработки машиностроительного производства необходима следующая информация:

- номенклатура изделий n;
- годовая программа выпуска всех изделий N;
- годовая программа выпуска j-го изделия N_j;
- номенклатура i-х деталей, входящих в j-е изделие r;
- норма времени обработки i-х деталей на p-й группе оборудования t_{ip};
- количество единиц оборудования по группе p C_p;
- действительный фонд времени работы оборудования p-й группы $F_{\partial p}$.

В предлагаемом методе определения производственной мощности механических цехов использован механизм расчета средней величины трудозатрат на единицу изделия. В целом по предприятию он отражает трудозатраты всех изделий, входящих в объем продукции планируемого ассортимента:

$$t_1^y = \frac{\sum_j^n t_j N_j}{N} = \sum_j^n t_j \frac{N_j}{N} = \sum_j^n t_j d_j, \qquad (1)$$

где t_1^y — условная (средняя) величина трудозатрат на одно изделие годовой программы выпуска всех изделий; t_j — трудозатраты на производство одного изделия j-го вида; d_j — удельный вес планируемого выпуска j-х изделий в общем выпуске всех изделий.

Этот метод применяют в расчетах по каждой технологической операции, повторяющейся в производстве отдельных видов продукции.

Алгоритм расчета производственной мощности отдельного цеха включает:

1. Определение трудоемкости j-го изделия на p-й группе оборудования (технологической операции):

$$t_{jp} = \sum_i^r t_{ijp}, \qquad (2)$$

где t_{ijp} — норма времени обработки i-й детали j-го изделия на p-й группе оборудования. Такие расчеты производятся на предприятиях в отделах АСУ.

2. Определение условной (средней) трудоемкости обработки j-х изделий на p-й группе оборудования:

$$t_{1p}^y = \sum_j^n t_{jp} d_{jp}, \qquad (3)$$

где d_{jp} — удельный вес планируемого выпуска j-х изделий в общем выпуске всех изделий, детали которых проходят обработку на p-й группе оборудования.

3. Расчет производственной мощности на p-й группе оборудования в изделиях. Трудоемкость обработки деталей этих изделий равна условной (средней) трудоемкости (t_{1p}^y) на одно условное изделие. Количество условных изделий

$$N'_p = \frac{F_{\partial p}}{t_{1p}^y}, \qquad (4)$$

где $F_{\partial p}$ — действительный фонд времени работы всех единиц C_p оборудования p-й группы, который в свою очередь может быть представлен произведением условной (средней) трудоемкости изделий, обработанных на p-й группе оборудования, на количество изделий с условной трудоемкостью каждого изделия:

$$F_{\partial p} = t_{1p}^y N'_p. \qquad (5)$$

4. Расчет производственной мощности цеха по каждому наименованию изделия планируемой номенклатуры по каждой группе оборудования (N_{jp}):

$$N_{jp} = N'_p d_{jp}. \qquad (6)$$

Действительный фонд времени работы оборудования p-й группы рассчитывают по формуле

$$F_p = \Sigma N_p d_i t_{ip} = N_p \Sigma t_{ip} d_{jp},$$

из которой суммарный объем производства продукции планируемого ассортимента, произведенный на p-й группе оборудования, определяется зависимостью

$$N_p = F_p / \Sigma t_{jp} d_{jp},$$

следовательно, приведенные (рассчитанные) в формулах величины — N_j и N'_p — идентичны.

Рассчитанная производственная возможность по всем цехам представляет матрицу с элементами производственной мощности отдельных цехов по каждой группе оборудования, рассчитанной по выпуску продукции планируемого ассортимента (см. таблицу).

Номер цеха	Изделие					
	Первое			Второе		
	Группы оборудования (p = 1,2,...) для обработки					
	Токарная	Шлифование	Фрезерная	Токарная	Шлифование	Фрезерная
2	1192	670	2587	178	100	387
3	6168	3951	1569	922	591	234
4	891		965	133		144
5	3377	3189	3258	505	477	487
7	2747	1456	3125	411	218	467
8		1465	987		219	147
9	1198		856	175		128
14		2854	907		427	136
24		865	918		129	137
Итого	15 573	14 450	15 172	2321	2324	2267

В условном примере выпуск указанных двух изделий в планируемом их количественном соотношении составит: по выпуску первого изделия — 14 450 шт. (по шлифовальным станкам всех цехов), по выпуску второго изделия — 2287 шт. (по фрезерным станкам всех цехов).

Итоговая величина по каждому *j*-му продукту и на *p*-м виде оборудования всех цехов определяет производственную возможность завода в целом по производству отдельного изделия. Исходная информация в матрице является базой для разработки маршрутной схемы обработки заготовок и поступающих полуфабрикатов со стороны.

Предлагаемая модель расчета производственной мощности цехов позволяет:

— определить наличие "капитального" ресурса в многоцеховой, многооперационной и многопродуктовой системе, характерной для большинства машиностроительных заводов;

— влиять на использование мощности;

— модель расчета производственной мощности рассматривать в динамике как единую систему, представленную в виде матрицы;

— достигать высокой точности в расчете производственной возможности цехов в выпуске продукции планируемого ассортимента, установленного для предприятия в целом.

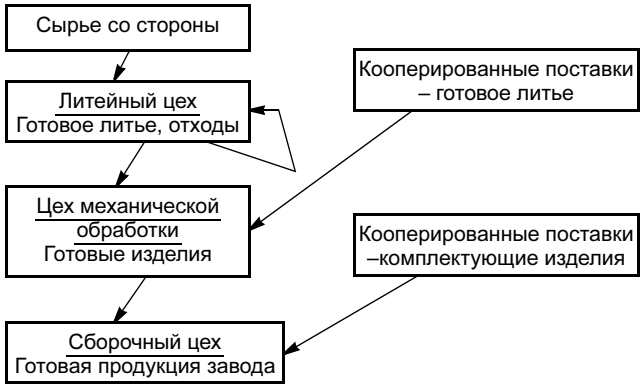
Разработанная модель является инструментом, обеспечивающим все происходящие события в режиме реального времени. Предпосылкой этого является наличие информационной базы на большинстве машиностроительных предприятий.

Модель расчета плана производства технологических цехов

Формирование производственной программы машиностроительного предприятия и ее технологических переделов рассматривается как единая система с установлением ее количественной определенности.

В основе разработки производственной программы лежат установление и поддержание объективно формируемых пропорций, играющих главную роль в общей системе пропорций производства. В разработанной модели предусмотрена возможность перехода от сложившихся пропорций производства к новым, соответствующим изменившимся условиям рынка и самого производства, исходя из установленного технологического маршрута и максимально возможного использования производственной мощности (см. таблицу).

Производственная программа определяет роль и место каждого звена. При ее расчете учитывают технологические связи переделов, участвующих в



Технологическая схема производства продукции

производстве продукции, которые позволяют определить количественную оценку влияния основных факторов на процесс функционирования рассматриваемой системы.

Схема взаимосвязи структурных подразделений, участвующих в процессе получения продукта на условном заводе, приведена на рисунке.

Для формирования связей в этой системе введены условные обозначения: *r* — вид продукции в планируемом ассортименте; *i* — вид деталей, входящих в *r*-ю продукцию; *iu* — детали, поставляемые по кооперации как комплектующие изделия; *in* — заготовки для *i*-х деталей, поступающих по кооперации; Z_j — продукция *j*-го цеха; Z_{cj} — сырье или продукция предыдущего технологического передела.

Расчет по цехам проводят в направлении, обратном направлению технологического процесса. В результате расчета по каждому цеху определяют объем перерабатываемого сырья с учетом поступления кооперированных поставок и изменения незавершенного производства.

По рассматриваемому заводу (см. рисунок) для сборочного цеха общий объем перерабатываемого сырья $Z_{oc}3$ определится как сумма готовых деталей, поступающих из цеха механической обработки Z_c3, и комплектующих изделий, поступающих со стороны $Z_к3$.

Для планируемого объема производства определенной номенклатуры планируют и объем комплектующих изделий. Кроме того, определяют величину изменения незавершенного производства в конце планируемого периода $\hat{}Z_{нз}3$. Исходя из плана производства, кооперированных поставок и изменения запасов готовых деталей рассчитывают объем сырья, поступающего из предыдущего технологического передела (готовой продукции цеха механической обработки):

$$Z_c3 = Z_{oc}3 - Z_к3 - \hat{}Z_{нз}3. \qquad (7)$$

С учетом приведенных выше условных обозначений представленная зависимость имеет вид:

$$\sum_i \sum_r N_{irc}3 = \sum_i \sum_r N_{ir}3 - \sum_i \sum_r N_{irk}3 - \sum_i \sum_r \wedge N_{irнз}3, \quad (8)$$

где $N_{irc}3$ — число деталей для производства планируемой номенклатуры, поступающее из цеха механической обработки; N_{ir} — общее количество деталей, необходимых для выпуска продукции планируемого объема; $N_{irk}3$ — количество деталей — комплектующих изделий, поступающих по кооперации для производства продукции; $\wedge N_{irнз}3$ — изменение остатков деталей каждого вида для продукции планируемого ассортимента.

Рассчитанная величина — планируемый объем продукции цеха механической обработки. По предлагаемой модели (7) рассчитывают объем сырья (готового литья), поступающего из предыдущего передела, необходимого для выполнения плана цехом механической обработки, с учетом кооперированных поставок и изменения запасов заготовок:

$$\sum_i \sum_r N_{irc}2 = \sum_i \sum_r N_{ir}2 - \sum_i \sum_r N_{irk}2 - \sum_i \sum_r \wedge N_{irнз}2, \quad (9)$$

где $N_{irc}2$ — количество заготовок, поступающих из литейного цеха; $N_{ir}2$ — общее количество заготовок, необходимое для выпуска планируемого объема обработанных деталей, направляемых в сборочный цех; $N_{irk}2$ — количество заготовок для производства определенных видов деталей, поступающих по кооперации для производства каждого вида продукции; $\wedge N_{irнз}2$ — изменение остатков заготовок определенных видов деталей для продукции планируемого ассортимента.

Рассчитанная величина — объем планируемой продукции литейного цеха. Для этого цеха, исходя из технологической потребности, предусматривается переработка определенного объема собственных возвратных отходов. Расчет объема металлсодержащего сырья, поступающего со стороны и необходимого для выполнения плана по выпуску заготовок для цеха механической обработки, с учетом изменения запаса сырья производится по формуле

$$Z_c1 = Z_{oc}1 - Z_{во}1 - \wedge Z_{нз}1, \quad (10)$$

где Z_c1 — количество сырья, поступающего со стороны в литейный цех, для выполнения плана производства по выпуску заготовок машиностроительного цеха; $Z_{oc}1$ — общий объем сырья, необходимый для выполнения плана, который определяется исходя из количества планируемых заготовок ($N_{irc}2 = N_{ir}1$), массы каждой заготовки *mir* и выхода годного по литейному производству *E1*. Формула расчета имеет вид

$$Z_{oc}1 = \frac{\sum_i \sum_r (N_{ir}1mir)}{E1}, \quad (11)$$

где $Z_{oc}1$ — планируемый объем переработки собственных возвратных отходов; $\wedge Z_{нз}1$ — изменение остатков незавершенного производства.

При разработке плана в показателях весовой категории продукции в установленных зависимостях учитывают массу отдельных деталей, а в расчете — выход годного по каждому переделу. По условному заводу, исходя из установленной взаимосвязи (с учетом переработки сырья по кооперации и переработки возвратных отходов), экономико-математическая модель расчета плана производства для *j*-го технологического передела в общем виде имеет следующий вид:

$$Z_{cj} = Z_{ocj} - Z_{кj} - Z_{воj} - \wedge Z_{нзj}, \quad (12)$$

где Z_{cj} — масса сырья, поступающего с продуктом предыдущего передела (или со стороны); Z_{ocj} — общий объем сырья, необходимый для выполнения плана *j*-м переделом, с учетом переработки кооперированных поставок и возвратных отходов

$$Z_{ocj} = Z_j / E_j, \quad (13)$$

(Z_j — продукция *j*-го цеха; E_j — выход массы готовой продукции по *j*-му переделу); $Z_{кj}$ — масса кооперированных поставок, перерабатываемых в *j*-м переделе; $Z_{воj}$ — масса собственных возвратных отходов или отходов других цехов, перерабатываемых в *j*-м цехе; $\wedge Z_{нзj}$ — изменение массы незавершенного производства *j*-го передела.

Разработанная модель определения плана производства для цехов завода представляет единую систему разукрупнения производственной программы предприятия на планы отдельных подразделений, нацеленных на одни и те же задачи всего предприятия.

Представленная модель, которую можно рассматривать в динамике, включает:

— механизмы взаимосвязи участников производственного процесса в выпуске продукции и между участниками и конечным результатом предприятия в целом;

— возможность определения плана производства отдельного цеха в соответствии с планируемой номенклатурой продукции предприятия;

— возможность учета в плане цеха организационно-технических условий производства: переработки возвратных отходов, выхода годного и др.

Полученную в результате расчета информацию можно эффективно использовать для принятия управленческих решений в процессе контроля за выполнением плана и при его корректировке.

УДК 621.791:061.2/.4

8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века"

23—26 апреля 2007 г. в Москве на территории ЗАО "Экспоцентр" состоялась 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века", организованная ООО "Экспо-Экос" и ЗАО "Экспоцентр". В выставке приняли участие около 500 экспонентов из России и зарубежных стран, которые продемонстрировали более четырех тысяч экспонатов, включающих инновационные проекты предприятий и региональные инновационные программы. Объединенные стенды представили Министерство обороны, Росатом, Роспром, Министерство промышленности Московской обл. (наукограды), РАН и ее региональные отделения.

Ниже приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, а также предложения предприятий, вызвавшие большой интерес у специалистов.

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова (Москва) предложил потребителям различные лазерные установки для упрочнения и наплавки деталей:

— *автоматизированную линию для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения.* Лазерное упрочнение и наплавка деталей — прогрессивная технология в современном промышленном производстве. Наиболее эффективно энергия лазерного излучения используется при многопозиционной обработке. Лазерная установка работает в непрерывном режиме, поэтому время, затрачиваемое на холостой ход и другие вспомогательные операции, минимально. Эффективность лазерной установки приближается к 100 %. Упрочнение и наплавку ведут с помощью специальных оптических головок, оснащенных сканирующими устройствами с колеблющимися и вращающимися зеркалами, с частотой 150—600 Гц. Твердость упрочненных слоев при глубине 0,5—2,0 мм достигает 67 HRC для стали 65Г. Мощность излучения — 2,5 кВт. Размеры обрабатываемых деталей: сложной пространственной формы — 1500×1000×300 мм, тел вращения — 250×1500 мм. Потребляемая мощность 26 кВт. Скорость перемещения оптических головок 20 м/мин. Точность позиционирования 0,05 мм. Габаритные размеры линии 5600 × 2200 × 1900 мм;

— *технологии лазерной, лазерно-плазменной, лазерно-ультразвуковой, лазерно-электроискровой, лазерно-фрикционной обработки* для упрочнения и наплавки поверхностей трения. Лазерное упрочнение применяется для обработки локальных поверхностей трения, а также маложестких и длинномерных деталей. Глубина упрочненного слоя 0,5—2,0 мм. Твердость поверхностного слоя зависит от содержания углерода и, например, для сталей 45, 40Х составляет 57—61 HRC.

Технологии упрочнения и наплавки разработаны с применением сканирующих устройств, с частотой колебаний луча 150—600 Гц с целью выравнивания плотности мощности на обрабатываемой поверхности и придания прямоугольной формы пятну нагрева. При этом в 3—5 раз повышается износостойкость поверхности трения, деформация деталей отсутствует или минимальная, имеется возможность обработки труднодоступных мест, технологический процесс экологически чистый, обработка поверхностей происходит без применения охлаждающих сред;

— *лазерную систему* (рис. 1) для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала. Например, лазерная закалка сталей 45 и 40Х позволяет получить твердость упрочненного слоя 57—60 HRC, что невозможно обеспечить при традиционных методах термической обработки. Глубина зоны закалки 0,9—1,2 мм. Применение лазерной резки позволяет отказаться от изготовления дорогостоящей оснастки: вырубных и просечных штампов, кондукторов и шаблонов. Скорость лазерной резки стального листа толщиной 1 мм при мощности излучения 2,5 кВт достигает 10 м/мин. Перемещение лазерного луча по оси *X* составляет 1700 мм, по оси *Y* — 1200 мм, по оси *Z* — 300 мм. Точность позиционирования лазерной системы 0,05 мм;

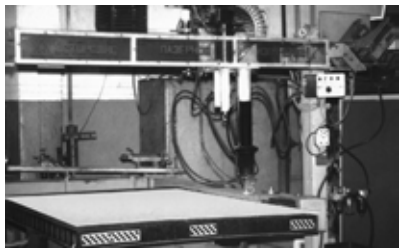


Рис. 1. Лазерная система для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала

— *сканер* для пространственного управления лазерным лучом при упрочнении поверхностей трения деталей сложной формы. Перемещение лазерного луча по оси *X* составляет 1500 мм, по оси *Y* — 1350 мм, по оси *Z* — 200 мм при скорости перемещения до 20 м/мин. Точность позиционирования 0,05 мм, мощность, потребляемая сканером, 1,2 кВт. Габаритные размеры сканера 2100×1580×1800 мм. При лазерной закалке детали из стали 65Г твердость упрочненного слоя глубиной до 1,5 мм составляет 65—67 HRC. Износостойкость детали повышается в 4 раза по сравнению с серийно выпускаемыми и упрочненными традиционными методами термической обработки.

Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН (Новосибирск) демонстрировал на выставке различные установки, в том числе лазерные для маркировки различных изделий:

— *лазерную систему* (рис. 2) для контурной размерной резки и точечной перфорации листовых материалов из стали и сплавов цветных металлов с применением концентрированного импульсного источника нагрева — лазерного луча — в сочетании с высокоточными схемами позиционирова-

ния и перемещения обрабатываемых изделий. Устройство работает под управлением интеллектуального контроллера и ПЭВМ PC/AT. Рабочая программа задает параметры перемещения и обработки: шаг, размер зоны обработки, время нахождения в заданной точке, формирует сигнал включения и выключения, подачи лазерного излучения в зону обработки. Перфорирование можно производить на листе металла из коррозионно-стойкой стали толщиной 0,5—3,0 мм, диаметр минимального отверстия 0,05—0,1,0 мм. Размер обрабатываемой заготовки 33×500×1000 мм. Лазерная резка и перфорация в сравнении с традиционными способами (механической обработкой, плазменной резкой, штамповкой) выполняется с большей точностью, меньшим числом отходов, меньшим допуском реза. Лазерная резка, обеспечивая качественную поверхность кромки реза, исключает необходимость последующей ее обработки;

Рис. 2. Лазерная система для контурной размерной резки и точечной перфорации листовых материалов

— *лазерную систему маркировки для конвейерных производственных линий*. В качестве источника излучения в системе использован CO_2-лазер мощностью 50 Вт. Двухкоординатная развертка лазерного пучка осуществляется блоком сканирования на основе электромеханических зеркальных сканеров. Фокусировка излучения на поверхность обрабатываемого изделия производится инфракрасным объективом. Для повышения качества маркировка производится на неподвижном изделии, которое останавливается специально встроенным механическим блоком позиционирования. Блок не снижает производительность линии. Для работы блока позиционирования используется привод от конвейера основной технологической линии. Этим достигается точная синхронизация процессов маркировки и работы конвейера. Управление маркером осуществляется автономным микропроцессорным блоком управления. Для подготовки и загрузки информации применен Windows-PC, соединенный с блоком управления стандартным последовательным каналом. Производительность системы до 10 000 маркировок/ч;

— *лазерный комплекс для прецизионной маркировки изделий инструментального производства* в условиях промышленного производства (производительность процесса маркировки до 1000 изделий/ч) однородной продукции в виде изделий с осевой симметрией, загрузка и позиционирование которых производятся в механизированном режиме. Маркировка производится методом лазерного гравирования поверхности изделий остро фокусированным лучом твердотельного ИАГ: Nd лазера. Комплекс может работать в составе автоматической технологической линии. Размер зоны обработки: при работе с роторным полуавтоматом загрузки — 50×50 мм; при работе с плоским столом, регулируемым по высоте — 100×100 мм. Скорость маркировки 2500 мм/с. Тип выводимых изображений — контурные и растровые, текстовые, графические и штрих-код. Мощность комплекса 5 кВт, питающее напряжение 380 В. Маркируемые материалы: сталь, алюминий, титан, медные сплавы, окрашенные металлические поверхности, пленки Tesa laser, резина, пластмасса, полупроводники и т. п. Комплекс успешно эксплуатируется на Новосибирском инструментальном заводе.

ООО "ЭПДМ" (г. Химки Московской обл.) предложило потребителям *технологию штамповки металлических материалов с использованием электрического тока высокой плотности* — до 10 000 А/мм^2 — непосредственно в зоне деформации. Технология отличается уменьшением усилий штамповки на десятки процентов, увеличением производительности прессов, сокращением числа переходов и промежуточных отжигов, улучшением структуры и физико-механических свойств материала штампуемых листов и ленты, а также экологической чистотой производства. Возможна интенсификация гибки профилей с одновременным растяжением заготовки в направлении действия тока, а также поперечная обтяжка профилей двойной кривизны с обтеканием линиями тока обшивки с двух сторон по мере облегчения пуансона. В результате повышается точность изготовления деталей, уменьшаются остаточные напряжения и устраняется пружинение заготовки. Возможно применение при производстве штамповок листового материала и ленты из труднодеформируемых, тугоплавких и хрупких материалов, а также из композиционных материалов.

ОАО "Научно-исследовательский и конструкторский институт средств измерения в машиностроении" (Москва) демонстрировало на выставке различные измерительные приборы:

— *толщиномер БВ-6392* (рис. 3) с цифровым отсчетом для измерения наружных размеров и толщин деталей. Диапазон измерений 0—25 мм, шаг дискретности 0,001 мм, предел допустимой погрешности 0,004 мм, наибольшее расстояние от места измерения до края изделия 120 мм, максимальная скорость перемещения измерительного штока 2 м/с;

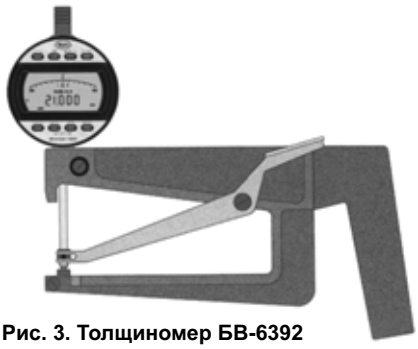


Рис. 3. Толщиномер БВ-6392

— *глубиномер БВ-6389* для измерения глубины уступов, проточек, выточек и пазов в деталях машин в условиях машиностроительных предприятий. Принцип действия глубиномера — емкостной. Диапазоны измерений: 0—25, 25—50, 50—75, 75—100, 100—125, 125—150, 150—175, 175—200 мм. Диапазон показания цифровой индикации ±999,999 мм. Предел допустимой погрешности 0,009 мм;

— *штангенрейсмас БВ-6435* для высокоточных измерений высот и разметки деталей в условиях любых машиностроительных предприятий. Принцип действия измерительного прибора — электронный, емкостной. Диапазон измерения 0—60 мм. Допустимая погрешность ±0,04 мм;

— *портативную измерительную систему БВ-6436* (рис. 4) с индуктивным преобразователем в составе приборов для контроля размеров деталей и средств автоматизации технологических процессов. Диапазон измерений (показаний) при дискретности отсчета 1 мкм — 2000

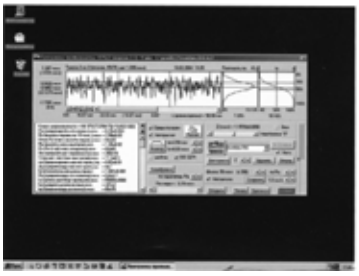
Рис. 4. Портативная измерительная система БВ-6436

(±1999), 0,1 мкм — 399,8 (±199,9), 0,01 мкм — 39,98 (±199,9), 0,01 мкм — 39,98 (±19,99). Основная погрешность измерения размера при дискретности отсчета 1 мкм — 1 + *L*/333, 0,1 мкм — 0,1 + *L*/666, 0,01 мкм — 0,01 + *L*/400;

— *измерительную систему БВ-2045* для контроля формы и расположения поверхностей деталей типа тел вращения. Габаритные размеры измеряемой детали: диаметр 260×250 мм; масса до 10 кг. Предельные размеры контролируемых поверхностей: наружный диаметр 1—250 мм, внутренний диаметр 7—250 мм, высота детали до 250 мм, глубина измерения до 110 мм. Погрешность измерения отклонений формы (некруглость, огранка, волнистость) 1,5 мкм; отклонений расположения (неперпендикулярность, несоосность) — 2,5 мкм; радиального биения — 3 мкм;

— *профилограф—профилометр БВ-7669* (рис. 5) для измерения в автоматическом режиме параметров шероховатости наружных и внутренних поверхностей, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию. Класс шероховатости контролируемых поверхностей по ГОСТ 2789 — 1—12. Длина трассирования 1—12 мм, скорость трассирования 0,5—2 мм/с;

а)



б)

Рис. 5. Профилограф-профилометр БВ-7669 (*а*) и вид окна рабочей программы (*б*)

— *портативный профилометр БВ-7646* для измерения параметров шероховатости методом ощупывания плоских и цилиндрических (наружных и внутренних) поверхностей ответственных деталей. Измеряемые параметры шероховатости: *Ra*, *Rq*, *Rz*, R_{max}, *Sm*. Базовая линия — 0,08/0,25/0,8/2,5/8. Длина трассирования 2—50 мм. Основная относительная погрешность измерения — не более 2,5 %;

— *прибор БВ-7601* для контроля диаметра роликов сферических подшипников в условиях машиностроительных предприятий. Контролируемый параметр — наибольший наружный диаметр. Диапазон размеров контролируемых роликов по диаметру 21—50 мм. Допустимая погрешность контроля не более 1 мкм;

— *цифровой показывающий и регистрирующий прибор БВ-7492* для контроля внутреннего диаметра кольца подшипника. Принцип действия прибора — индуктивный. Число контролируемых сечений — 2 шт. Прибор контролирует диаметр, овальность, конусообразность. Диапазон контроля — 129, 935—130, 0,35 мм при погрешности измерения 4 мкм.

ООО НПП "Мобильные лазерные системы" (Санкт-Петербург) предложило потребителям свои разработки:

— *технологию лазерной сварки* разнородных материалов — медь + + сталь толщиной 10 мм. Сварка производится в сильном магнитном поле. Особенность такого вида сварки — высокие скорость процесса и инертность лазерного луча к магнитным полям, что незаменимо при изготовлении конструкций с расположенными внутри мощными постоянными магнитами;

— *мобильный лазерный комплекс* для бесконтактного удаления нагара с поверхности турбинных лопаток и дезактивации узлов и агрегатов. Длинна волны излучения 1,06 мкм длительность импульса 10 нс, средняя мощность излучения 15 Вт. Максимальные расстояние от излучателя до зоны обработки 2 м; скорость обработки — 0,3 м^2/ч; толщина удаляемого слоя — 100 мкм. Питающее напряжение 220 В, потребляемая мощность 3,5 кВт.

ЦНИИ технологии судостроения (Санкт-Петербург) демонстрировал на выставке свои разработки, в том числе оборудование для резки и сварки металлов:

— *газорежущую машину "Ритм М ПКП2,5 ЗР"* для высокоточной резки листов из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, а также листов из сплавов цветных металлов. Система управления на базе ПК и зарубежный цифровой привод с вентильным двигателем обеспечивают высокую точность работы машины. Толщина разрезаемого листа плазменным резаком 5—100 мм; микроплазменным резаком — 1—16 мм; газовым резаком — 5—200 мм. Ширина разрезаемого листа 2,5—5 м, длина его не регламентирована. Машина оснащена четырьмя каретками. Скорость перемещения резаков 0,1—12 м/мин с точностью до ±0,05 мм;

— *полуавтомат ППН-200* (рис. 6) для плазменной сварки и наплавки на обратной и прямой полярности изделий из алюминия, меди, их сплавов и коррозионно-стойких сталей толщиной от 1,5 мм. Мощность полуавтомата 6 кВт, переделы регулирования тока 20—200 А, диаметр присадочной проволоки 0,6—1,6 мм. Расход газа: защитного — 5—10 л/мин; плазмообразующего — 0,1—1 л/мин;

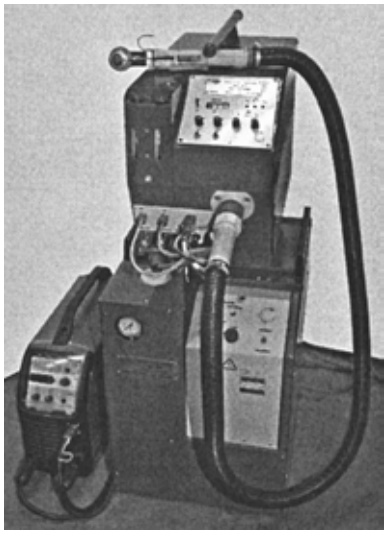


Рис. 6. Полуавтомат ППН-200 для плазменной сварки и наплавки

— *автомат "Юниор"* для сварки стыковых соединений конструкций ответственного назначения, в том числе из высокопрочных материалов. Возможна сварка во всех про-

странственных положениях, в том числе неповоротных стыков при радиусе кривизны более 2,5 м. При сварочных работах манипуляторы не требуются. Толщина деталей, свариваемых автоматом 10—50 мм, номинальный ток 250 А, диаметр сварочной проволоки 0,8—1,6 мм.

Производственное объединение "Старт" (г. Заречный Пензенской обл.) демонстрировало оригинальные разработки:

— *малогабаритный паяльник ПМУ-2 "Журавлик"* для пайки мягкими припоями электромонтажных соединений. Высокое качество паяных соединений достигается за счет самостабилизации температуры паяльного стержня, основанной на использовании "эффекта точки Кюри". Паяльник имеет четыре фиксированных температурных режима. Перевод паяльника на выбранный режим осуществляется установкой в нагреватель паяльника соответствующего паяльного стержня из комплекта. Паяльные стержни имеют износостойкое, легко смачиваемое припоем покрытие. Блок питания паяльника с индикатором "Вкл" совмещен с сетевой вилкой, обеспечивается защита паяемого соединения от воздействия статического электричества. Конструкция подставки для разогретого паяльника препятствует случайному прикосновению к паяльному стрежню. Питающее напряжение 36 В;

— *инвертор сварочного тока "ИСТ-160-01"* для ручной дуговой сварки плавящимся электродом и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Питание сварочной дуги осуществляется постоянным током с пульсациями повышенной частоты 4—32 кГц, что обеспечивает крутопадающую внешнюю ВАХ, легкое зажигание и стабильность дуги, сварку во всех пространственных положениях стали любых марок, меди, никеля, титана и их сплавов, мелкозернистую структуру и гладкую поверхность шва, без подрезов и прожогов; минимальные потери металла на брызги и угар при сварке покрытыми электродами; увеличенную глубину проплавления шва при сварке массивных деталей. Переход с режима дуговой сварки на режим аргонодуговой осуществляется переключателем "Способ сварки". Зажигание устойчивой дуги происходит при напряжении до 52 В. Главная регулировка сварочного тока осуществляется в каждом диапазоне, в том числе с пульта дистанционного управления. Выносной дистанционный пульт управления сварочным током инвертора и низкие значения напряжений зажигания дуги и холостого хода обеспечивают безопасность и широкие возможности при сварке в стесненных условиях. Инвертор эффективно подавляет электромагнитные помехи до уровня ниже минимально допустимого, что позволяет использовать сети, задействованные для питания электронной аппаратуры и систем автоматики объекта без их профилактического или аварийного отключения. Уровень шума, создаваемого инвертором при работе, не превышает 80 ДБ.

ОАО "Мотор Сич" (Запорожье, Украина) предложило потребителям свою продукцию и новые технологии:

— *технологию электронно-лучевого отжига* сварных роторных деталей газовоздушного тракта. Технологический процесс осуществляется на электронно-лучевой установке с контролем постоянства заданной температуры инфракрасным термометром. Технология позволяет сваривать и термообрабатывать электронным лучом сборочные единицы с радиальными и торцевыми швами в автоматическом режиме по заданным программам, хранящимся в памяти компьютера, с применением камер слежения, расположенных на обеих пушках установки. Технология обеспечивает сварку деталей, изготовленных с минимальными припусками под механическую обработку. Деформация деталей в процессе термической обработки исключена. Габаритные размеры сборочных единиц: диаметр до 1200 мм, длина до 1000 мм, точность замера температуры ±10 °С;

— *технологию сварки трением разнородных материалов* с различными свойствами (температурой плавления, теплопроводностью, твердостью в нагретом состоянии) и, кроме того, склонных к образованию трещин при сварке. Возможна сварка на машинах МСТ-41-3Н и МФ-362 вала-крыльчатки турбонаддува двигателей внутреннего сгорания, где крыльчатка выполнена из жаропрочного сплава, а вал — из углеродистой стали. Технология обеспечивает экономию 40 % жаропрочного сплава и повышает качество сварной детали;

— *технологию взрывной штамповки* для изготовления деталей сложной конфигурации из листа штамповкой с использованием энергии взрыва. Материал штампуемых деталей: алюминиевые, титановые и жаропрочные сплавы, коррозионно-стойкие стали. Штамповка производится в бассейнах диаметром до 5 м, заполненных водой, расположенных в бронекамерах. Бассейны рассчитаны на взрыв зарядов массой до 1 кг и получение деталей диаметром до 3000 мм и высотой 80—800 мм. Технология повышает качество деталей, обеспечивает стабильность их размеров. Снижается трудоемкость изготовления деталей по сравнению с глубокой вытяжкой. Получена возможность изготовления деталей, которые другими способами изготовить невозможно;

— *САПР/АСТПП "Зубообработка"* для технологических и конструкторских подразделений, занимающихся проектированием зубчатых передач и зуборезного инструмента. Система имеет модульную структуру и предназначена для проектирования и подбора зуборезного инструмента, анализа пригодности инструмента для обработки зубчатых венцов деталей, анализа точности зуборезного инструмента, создания электронных эталонов для контроля зуборезного инструмента и профилей зубчатых венцов деталей. Применение САПР/АСТПП обеспечивает уменьшение времени проектирования и повышение производительности при изготовлении червячных фрез и зуборезных долбяков; сокращение времени контроля, повышение качества контролируемых деталей и зуборезных инструментов.

Выставка прошла с большим успехом. Гостям и участникам выставки были продемонстрированы передовые разработки, реализация которых предусмотрена в рамках приоритетных национальных проектов. Была организована международная конференция "Высокие технологии — стратегия XXI века". На секционных заседаниях, семинарах и "круглых столах" обсуждались проблемы формирования национальной инновационной системы, возможности регионов России в области высоких технологий и межрегионального сотрудничества.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий[1]

QFD
quality function deployment
технология развертывания функций качества, структурирование функций качества
QT
quench & temper
закалка и отпуск
R&D
research & development
научные исследования и опытно-конструкторские работы (НИОКР)
RB
resistance brazing
высокотемпературная пайка с применением электроконтактного нагрева
RC
remote control
дистанционное управление
RMS
root mean square (value)
среднеквадратичное (среднеквадратическое) (значение)
ROW (RW)
roll welding
сварка прокаткой
RP
reverse(d) polarity
обратная полярность
RS
resistance soldering
низкотемпературная пайка с применением электроконтактного нагрева
RSEW
resistance seam welding
контактная шовная [роликовая] сварка
RSEW-HF
resistance high-frequency seam welding
контактная шовная [роликовая] сварка с высокочастотным нагревом
RSEW-I
resistance induction seam welding
контактная шовная [роликовая] сварка с индукционным нагревом
RSW
resistance spot welding
контактная точечная сварка
RTA
reverse transferred arc
дуга прямого действия переменной полярности
SA
semiautomatic
полуавтоматический
SAW
submerged-arc welding
дуговая сварка под флюсом
SAW-S
series submerged-arc welding
дуговая сварка под флюсом последовательными дугами
SCAW
shielded carbon arc welding
дуговая сварка угольным электродом с применением флюса
SCC
stress corrosion cracking
коррозионное растрескивание под напряжением
SCW-SAW
synergic cold wire submerged-arc welding
синергетическая сварка под флюсом холодной проволокой
SCWT
synergic cold wire tandem (welding)
синергетическая сварка двумя холодными проволоками
SIGMA
shielded inert-gas metal arc (welding)
дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в инертном газе
SMAC
shielded metal arc cutting
дуговая резка металлическим (плавящимся) покрытым электродом
SMAW
shielded metal arc welding
дуговая сварка металлическим (плавящимся) покрытым электродом
SP
straight polarity
прямая полярность
SPC
statistical process control
статистическое управление производственным процессом
SRD
step-recovery (charge-storage) diode
диод с накоплением заряда (ДНЗ)
SSG
standard signal generator
генератор стандартных сигналов (ГСС)
SSW
solid-state welding
сварка в твердом состоянии [сварка давлением]
STIR process [FSW]
friction stir welding process
сварка трением с перемешиванием [СТП; СТВИ — сварка трением вращающимся инструментом]
SW
stud welding
приварка шпилек
TB
torch brazing
высокотемпературная пайка с применением нагрева пламенем [газовая пайка]
TBC
thermal barrier coating
теплозащитное промежуточное покрытие (барьерного типа)
TC
thermal cutting
термическая резка
TCAB
twin carbon arc brazing
двухдуговая высокотемпературная пайка угольным электродом
TCAW
twin carbon arc welding
двухдуговая сварка угольным электродом
TCP
tool center point
точка перемещения вершины инструмента
THSP
thermal spraying
газотермическое напыление
TIG
tungsten inert gas (welding)
дуговая сварка вольфрамовым электродом в инертном газе
TIG-F
tungsten inert gas (welding) over the flux layer
аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом по слою флюса (АДС-Ф)
TIG-S
tungsten inert gas arc surfacing
аргонодуговая наплавка вольфрамовым электродом (АДН)
TIG-WF
tungsten inert gas (welding) with filler flux cored wire
аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом с присадочной порошковой проволокой (АДС-ПП)
T.I.M.E. welding
transferred ionized molten energy welding
сварка дугой прямого действия металлическим электродом в ионизированных защитных газах с высокой плотностью энергии
TMAZ
thermal mechanical-affected zone
зона термомеханического влияния
TMP
thermomechanical processing
термомеханическая обработка
TOFD
time-of-flight diffraction (method)
дифракционно-временной метод (контроля) [метод определения времени полета дифракционной волны]
TQM
total quality management
комплексное управление качеством
TS
torch soldering
низкотемпературная пайка с применением нагрева пламенем [газовая пайка]
TSAW (TSW)
tungsten submerged-arc welding
сварка погруженным вольфрамовым электродом
TTT
time temperature transformation
изотермическое превращение
TW
thermit welding
термитная сварка
TWB
tailor-welded blanks
специальные составные заготовки (автомобилестроение)
TWI
The Welding Institute
Институт сварки (Великобритания)
UIT
ultrasonic impact treatment
ультразвуковая ударная обработка (УУО)

[1]Материал подготовлен сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона В. Н. Бернадским, Т. К. Василенко, Н. Д. Дмитриевой, О. С. Осыка, Н. Г. Хоменко. Продолжение. Начало — см. "Сварочное производство". 2007. № 5—7.

UNS
unified numbering system
единая [универсальная] система счисления
USAS
USA Standard
Американский стандарт [стандарт США]
USS
ultrasonic soldering
ультразвуковая низкотемпературная пайка
UST [UT]
ultrasonic test
ультразвуковой контроль
USW
ultrasonic welding
ультразвуковая сварка
UT [UST]
ultrasonic test
ультразвуковой контроль
UTS
ultimate tensile strength
предел прочности при растяжении [временное сопротивление разрыву]
UW
upset (butt) welding
стыковая сварка сопротивлением
UW-HF
high-frequency upset (butt) welding
высокочастотная стыковая сварка сопротивлением
UW-I
induction upset welding
стыковая сварка сопротивлением с применением индукционного нагрева

VPD
vacuum plasma deposition
плазменное осаждение в вакууме
VP-GMAW
variable-polarity gas metal arc welding
дуговая сварка металлическим (плавящимся) электродом в защитном газе током изменяемой полярности
VEGA
vibratory electrogas arc welding
вибродуговая сварка в защитных газах
VPS
vacuum plasma spraying
вакуумное плазменное напыление
VR
virtual reality
виртуальная реальность

WAN
wide area networks
глобальные сети
WBP
welding-brazing under pressure
сварка-пайка под давлением
WDS
wavelength-dispersive spectrometry
дисперсионная длинноволновая спектрометрия
WEMCO (USA)
Welding Equipment Manufacturers Committee
Комитет изготовителей сварочного оборудования (США)
WF
welding fume
сварочный аэрозоль
wire feed
подача проволоки
WFS
wire feed speed
скорость подачи проволоки
WG [wg]
wire gauge
сортамент (диаметр) проволоки
WM
weld metal
металл сварного шва
WPQ
welder performance qualification
оценка работы сварщика
WPS
welding procedure specification
спецификация на сварочные работы [технологическая карта сварки]
WPSF
weld penetration shape factor
коэффициент формы провара [проплавления]
WRFF
weld reinforcement form factor
коэффициент выпуклости шва [коэффициент формы шва с усилением]
WS
wave soldering
низкотемпературная пайка волной припоя
WSP
water stabilized plasma
плазма, стабилизированная водой

XRD
X-ray diffraction
дифракция рентгеновских лучей
XRF
X-ray fluorescence spectrometry
рентгеновская флуоресцентная спектрометрия

YS
yield strength
предел текучести

Публикуется на правах рекламы

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке[1]

BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURĂ ŞI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE – BID ISIM (N 2, 2006, Румыния)

Pekkari B. Изменения в мире сварки. P. 3—12.

Dilthey U., Stein L. Сварка и соединение — ключевые технологии будущего. P. 13—24.

Dehelean D. et al. Ультразвуковая сварка прогрессивных биосовместимых сплавов и сплавов, обладающих памятью. P. 25—32.

Mateiu H. et al. Конкретные случаи применения концепций контроля на основании техобслуживания и степени риска к компонентам трубопроводов острого пара на ТЭЦ. P. 33—44.

(№ 3, 2006, Румыния)

Cerjak H., Kozeschnik E. Текущее состояние математического моделирования явлений, имеющих место в процессе сварки. P. 3—10.

Quintino L. et al. Международные системы обучения, аттестации и сертификации в области сварки. P. 11—18.

Toth L. Подход на основе уровня риска как связующее звено между экономистами и инженерами при оценке целостности конструкции. P. 23—31.

Savu D., Savu S. Нанодатчик скорости подачи защитного газа в сварочных установках. P. 33—40.

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 7, 2006, Япония)

Ogawa T., Asai S. Гибридная сварка CO_2-лазером и МИГ-сварка. P. 5—6.

Специальный выпуск. Сварочное производство

Yamane K. Сварочные материалы с низким показателем дымообразования. P. 7—13.

Hashimoto T., Morimoto T. Сварочные материалы с низким показателем брызгообразования для дуговой сварки в защитном газе. P. 14—18.

Era T., Ueyama T. Снижение брызгообразования при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе путем управления формой волны тока. P. 19—23.

Ikegami Y. et al. Влияние состава защитного газа на снижение брызгообразования. P. 24—28.

Kaji Sh. et al. Подавление выплесков при точечной сварке. P. 29—32.

Sano Y. ei al. Лазерная проковка как способ предупреждения коррозионного растрескивания под напряжением конструкций атомных станций. P. 33—36.

Takemoto T. Низкотемпературная пайка бессвинцовыми припоями. P. 37—42.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (№ 1, 2007, Польша)

Nowacki J. et al. Механизированная автоматическая сварка тавровых соединений со стыковыми соединениями грузовых емкостей из дуплексной стали в химических танкерах, строящихся на Щецинской Верфи. S. 9—13.

Tasak E., Ziewiec A. Разрушение сварных соединений при кристаллизации. S. 14—18.

Furmański T., Tasak E. Технология сварки при монтаже трубопроводов из стали L41515MB с помощью комбинированного метода 141. S. 22—26.

Nowakowski E. Расчетный поток объема газа, используемого при сварке. S. 27—29.

Jarosinski J. et al. Наплавка сплавами на основе никеля стали, применяемой в энергетике. S. 30—33.

QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 24, N 4 (Nov.), 2006, Япония)

Zenitani S. et al. Характеристики атмосферной коррозии сварных соединений высокопрочной стали, выполненных с использованием расходуемых сварочных материалов с низкой температурой фазового превращения. P. 291—298.

Nakacho K. Теория ступенчатого итеративного метода определения упруго-пластического состояния при большом увеличении температуры. Ч. 1. Разработка эффективного и точного метода термического упругопластического анализа для сокращения времени расчета. P. 299—305.

Nakacho K. et al. Эффективность ступенчатого итеративного метода определения упругопластического состояния при большом увеличении температуры. Ч. 2. Разработка эффективного и точного метода термического упругопластического анализа для сокращения времени расчета. P. 306—311.

Mikami Y. et al. Измерение и численное моделирование углового коробления тавровых угловых соединений. P. 312—323.

Okano Sh. et al. Теоретическое исследование теплопроводности, касающееся характеристик коробления в процессе сварки, вызванного несколькими источниками теплоты. P. 324—330.

Nakagomi T. et al. Вязкость разрушения в ЗТВ и микроструктура сталей, содержащих примеси и азот и выплавленных в дуговой печи. P. 331—337.

Kawaguchi I. et al. Механизм образования пор при лазерной сварке с глубоким проплавлением. P. 338—343.

Liu Zh. et al. Микроструктура и механические свойства сварных швов высокопрочной стали, выполненных гибридной сваркой МАГ-CO_2-лазером. P. 344—349.

Tanabe H. et al. Сварка давлением разнородных материалов CPTi и магниевого сплава AZ31B с помощью вращающегося инструмента. P. 350—356.

Fukumoto M. et al. Изготовление термических титан-алюминиевых покрытий для алмазной полировки и оценка их свойств. P. 357—361.

---

[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).

Ikeshoji T. et al. Влияние характеристик изотермической кристаллизации высокотемпературного паяного слоя Al—Si на возможность воздушной пайки алюминиевого сплава с коррозионно-стойкой сталью. P. 362—367.

Yamazaki Y. et al. Имитационная модель высокоскоростной МАГ-сварки тонколистового материала. P. 368—372.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDFN (№ 12, 2006, Германия)

Индуктор для лазерной сварки заготовок специального раскроя. S. 648.

Сварка под флюсом стали для морских ветряных энергетических установок. S. 648.

Sievers E.-R. Аналитический подход к лучевой сварке тонких листов с высокой скоростью подачи. S. 654.

Potente H. u. a. Сварка термопластов с ячеистой структурой. S. 667—661.

Haberstroh E. u. a. Выявление повреждений сонотродов при ультразвуковой сварке цифровыми генераторами. S. 667—673.

Обзор литературы "Сварка и родственные технологии". S. 674—680.

SUDURA (An. XVII, N 1, 2007, Румыния)

Micloşi V. Металлургические аспекты, касающиеся диапазона достоверности аттестации технологий сварки в зависимости от толщины материала в соответствии с ISO 15614-1:2004. Графоаналитический метод аттестации в зависимости от толщины материала применительно к стыковым сварным соединениям. P. 9—18.

Constantin E., Mistodic L. R. Теоретический анализ и экспериментальные результаты, полученные при массопереносе через электрическую дугу. P. 19—27.

Molnar R. Часто встречающиеся ошибки при МАГ-сварке и их влияние на стоимость производства. P. 31—34.

Zinkc M., Schröder S. МИГ-сварка высоколегированных сталей с переменной скоростью подачи проволоки. P. 35—37.

Grieger J., Michel G. Мобильная установка для лазерной сварки с ручной операцией. P. 39—41.

WELDING AND CUTTING (№ 6, 2006, Германия, Англия, Франция)

Новейшая технология плазменного напыления позволяет повысить качество, сократить затраты и продолжительность цикла. P. 302—305.

Технологические достижения, способствующие глобальному развитию сварки и резки. P. 306—307.

Прогресс в области установок для МИГ/МАГ-сварки в узкий зазор. P. 308—309.

Преобразователь для ручной дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе с использованием "резонансного интеллекта". P. 310.

59-й Конгресс Международного института сварки в Квебеке. P. 314—315.

Технологические решения по сварке при техобслуживании и модернизации компонентов газовых турбин. P. 316—319.

Camilleri D., Gray T. Оптимизация облегченных листовых конструкций с многочисленными ребрами жесткости для снижения нежелательного искажения формы. P. 320—327.

Stelling K., Lammers M., Böllinghaus T. Аттестация гибридной плазменной сварки и сварки Nd:YAG- и CO_2-лазером с порошковым присадочным материалом. P. 330—334.

Thomas W. et al. Технология сварки трением с перемешиванием — предварительные исследования различных вариантов. Ч. 1. P. 339—344.

Haberstroh E., Hoffmann W. Лазерная сварка пластмасс — обзор технологий. P. 349—354.

УДК 621.791(088):16

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

Устройство для наплавки деталей, имеющих форму тел вращения, содержит опоры для закрепления в них наплавляемой детали, привод вращения с валом, выполненным с возможностью кинематической связи с осью наплавляемой детали, и сварочную головку, включающую механизм подачи электродной проволоки, флюсобункер, узел продольного, горизонтального и вертикального перемещений сварочной головки и источник питания сварочной дуги. Отличается тем, что снабжено съемной каруселью и расположенными ниже привода вращения дополнительными опорами с установленной в них горизонтальной осью, съемная карусель выполнена в виде двух вертикальных, параллельных планшайб с выполненными в них равноудаленными от оси горизонтального вала и равномерно расположенными по окружности *n* сооснными отверстиями для закрепления *n* наплавляемых деталей, при этом планшайбы закреплены на горизонтальном валу с возможностью вращения и поочередного расположения очередной наплавляемой детали в крайнем верхнем положении вала привода вращения. 2277460 (C1). И. М. Ивочкин (RU), А. М. Потапов (RU), В. Н. Сорокин (RU). ОАО "Горнопромышленная финансовая компания" (RU). [16].

---

* 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.

Способ контактной стыковой сварки оплавлением деталей с большим поперечным сечением, при котором цикл оплавления включает многократные этапы, заключающиеся в остановке подвижной плиты в процессе цикла оплавления при увеличении тока оплавления до 0,7—0,9 значения тока при коротком замыкании свариваемых деталей и последующем возобновлении подачи подвижной плиты при снижении тока оплавления во время остановки до величины, соответствующей экстремуму электрической мощности, выделяющейся в искровом промежутке. Отличается тем, что цикл оплавления дополнительно увеличивают не менее чем на два этапа, включающих остановку подвижной плиты при увеличении тока оплавления до 0,3—0,5 значения тока при коротком замыкании свариваемых деталей и возобновление подачи подвижной плиты при снижении тока оплавления во время остановки до 0,1—0,2 значения тока при коротком замыкании свариваемых деталей, причем каждый из многократных этапов начинают с дополнительного этапа. 2277461 (C1). А. В. Бондарчук (UA), Д. И. Беляев (UA), А. В. Гудков (RU) и др. [16].

Машина для контактной стыковой сварки оплавлением длинномерных изделий содержит неподвижный зажим, направляющие, подвижный зажим, установленный с возможностью перемещения относительно неподвижного по направляющим вдоль продольной оси свариваемых деталей, устройство для удаления выпуклости сварного шва. Отличается тем, что дополнительно содержит вспомогательный зажим, жестко связанный с неподвижным зажимом и выполненный с возможностью удержания свариваемых деталей при выполнении операции удаления выпуклости сварного шва во время остывания последнего и при подтягивании деталей во время выполнения вспомогательных операций перед сваркой, причем подвижный зажим расположен между неподвижным и вспомогательным зажимами. 2277462 (C1). Д. И. Беляев (UA), А. В. Гудков (RU), В. М. Федин (RU) и др. [16].

Способ контактной стыковой сварки полос и устройство для его осуществления. 1. *Способ контактной стыковой сварки* рулонированных полос в непрерывных металлургических агрегатах включает установку соединяемых заднего и переднего концов полос в губках зажимов подвижной и неподвижной станин стыкосварочной машины в позицию сварки с заданными по технологии вылетами с использованием системы программного управления, а также последующее отведение подвижной станины после выполнения очередной сварки, разведения зажимов и транспортировки полосы в агрегате. 2. *Сварочная машина для контактной стыковой сварки* рулонированных полос в непрерывных металлургических агрегатах содержит подвижную и неподвижную станины с зажимами, снабженными зажимными губками, привод перемещения подвижной станины, связанный с датчиком линейных перемещений, передающим информацию в систему программного управления сварочной машиной. Отличается тем, что она снабжена двумя парами тянущих роликов для подачи полос на входе и выходе из машины с возможностью осуществления реверса, при этом система управления включает контроллер, соединенный с исполнительными механизмами машины с возможностью обеспечения заданного алгоритма их работы. 2277463 (C2). Б. А. Сивак (RU), А. Ф. Новицкий (RU), В. Г. Мокеичев (RU), Н. А. Стрекалин (RU). ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ" (RU) [16].

Способ вакуумирования многослойных пакетов под прокатку и устройство для его осуществления. 1. *Способ вакуумирования многослойных пакетов под прокатку*, при котором устанавливают с межконтактным зазором основную заготовку и плакирующий слой, герметизируют зазор по периферии плакируемого слоя и вакуумируют пакет с использованием стальной трубки, после чего закрывают конец трубки предохранительным стальным колпачком. Отличается тем, что после достижения вакуума трубку нагревают до 800—1000 °С и без отключения вакуумного насоса проводят кузнечную сварку трубки на расстоянии от торца заготовки и последующую обрезку, при этом торец оставшейся трубки дополнительно обваривают. 2. *Устройство для вакуумирования многослойных пакетов* под прокатку включает по меньшей мере одну стальную трубку для отсоса воздуха, установленную в отверстии, просверленном в основной заготовке, находящейся в контакте с плакирующим слоем. Отличается тем, что трубка предварительно протравлена по внутренней поверхности, установлена в горизонтальном отверстии, просверленном с одного или двух торцев основной заготовки, и приварена к пакету вакуумно-плотным швом, при этом в основной заготовке выполнено встречное вертикальное отверстие. 2277464 (C2). Э. С. Каган (RU), А. А. Сорокин (RU), А. А. Александров (RU). ООО "ОМЗ-Спецсталь" (RU) [16].

Способ сварки трением и инструмент для его осуществления. 1. *Способ сварки трением* преимущественно для соединения конструкционных листовых элементов включает подгонку, установку и закрепление соединяемых элементов, сварку инструментом, содержащим вращаемую вокруг оси оправку, имеющую опорную поверхность на торце, снабженную расположенным соосно ей выступающим рабочим стержнем, путем погружения рабочего стержня в стык соединяемых элементов и перемещения инструмента с наклоном его оси вдоль стыка с обеспечением генерирования теплоты трения и создания пластифицированной зоны материала соединяемых элементов, при этом на пластифицированную зону воздействуют давлением, создаваемым опорной торцовой поверхностью оправки. Отличается тем, что воздействие на пластифицированную зону осуществляют периодически изменяющимся по величине давлением за счет выполнения оправки с опорной поверхностью, отклоненной от плоскости, перпендикулярной ее оси вращения на заданный угол, и размещения оправки с возможностью погружения ее опорной поверхности в кромки соединяемых элементов. 2. *Инструмент для сварки трением* содержит связанную с приводом вращения оправку с опорной поверхностью на торце, снабженную соосно расположенным выступающим рабочим стержнем. Отличается тем, что опорная поверхность оправки выполнена отклоненной от плоскости, перпендикулярной оси вращения оправки на угол 0,5—5,0°. 2277465 (C1). О. С. Сироткин (RU), М. М. Штрикман (RU), Г. В. Шилло (RU) и др. ОАО "НИАТ" (RU). [16].

Паяная конструкция из алюминия или алюминиевых сплавов включает спаянные поверхности деталей из алюминия или алюминиевых сплавов и соединительный слой, выполненный на основе композиции, включающей фторсиликат щелочного металла. Отличается тем, что соединительный слой выполнен на основе композиции, дополнительно включающей фторсиликат алюминия при следующем соотношении компонентов (%): 82—91 фторсиликата щелочного металла, 9—18 фторси-

ликата алюминия. 53956 (U1). А. В. Полторыбатько (RU), Д. А. Шаклеин (RU), В. Е. Задов (RU). [16].

Передвижной сварочный комплекс для производства сварочных работ и плазменной резки металла в полевых условиях включает размещенные на передвижной платформе сварочный генератор переменного тока, сварочное оборудование, переносной электроинструмент, а также катушки сварочных и вспомогательных кабелей. Отличается тем, что в качестве сварочного оборудования выбран сварочный аппарат ВД-306, оснащенный выравнивателем электрического тока сварки (балансником); комплекс дополнительно снабжен выносным пультом и сварочным аппаратом для механизированной сварки металла без углекислой среды с использованием проволоки в качестве расходуемого электрода, причем длина кабеля выносного пульта выбрана не менее 50 м, дополнительно снабжен выносным постом плазменной резки металла толщиной до 30 мм, а также выносным постом шлифовщика металла и сварных швов, в качестве генератора переменного тока применяют генератор на 380 В мощностью 60 кВт, а сварочное оборудование и переносной электроинструмент расположены в кузове передвижной платформы; рабочее помещение комплекса оснащено системой приточно-вытяжной вентиляции. 53957 (U1). А. А. Талашко (RU). [16].

Установка для контактной точечной сварки содержит сварочную машину, промышленный робот с установленными на руке сварочными клещами с электродами, систему управления, стол с размещенным на нем устройством закрепления свариваемой решетки, выполненным в виде многокулачкового патрона с губками, охватывающими периметр дистанцирующей решетки. Отличается тем, что электроды сварочных клещей имеют сферическую рабочую поверхность и снабжены присоединительным элементом цилиндрической формы, расположенным в электрододержателе под углом к перпендикуляру, проведенному к свариваемым поверхностям, многокулачковый патрон оснащен платформой с выполненными на ней обнижениями, а на губках, охватывающих периметр дистанционирующей решетки, выполнены пазы. 53958 (U1). А. В. Чиннов (RU), М. Г. Зарубин (RU) , Н. А. Липухин (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU). [16].

Способ пайки деталей, одна из которых выполнена из карбида титана или сплавов на его основе включает размещение припоя между соединяемыми поверхностями, нагрев до температуры плавления припоя и охлаждение. Отличается тем, что пайку осуществляют в вакууме, в качестве припоя используют сплав эвтектического состава медь—титан с добавкой легкоплавких металлов, при этом нагрев осуществляют с промежуточной выдержкой при температуре образования эвтектики не менее 20 мин и последующей выдержкой при достижении температуры плавления припоя, а охлаждение детали проводят с выдержкой при 700—750 °С не менее 15 мин и последующим охлаждением до 18—20 °С. 2278007 (С2). А. Ю. Гусев (RU), В. М. Ишков (RU), А. В. Барышников (RU) и др. Российская Федерация, от имени которой выступает государственный заказчик Федеральное агентство по атомной энергии (RU), ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ" (RU). [17].

Способ сварки толстостенных крупногабаритных деталей включает разделку их кромок металлорежущим инструментом, сборку деталей, последующую их прихватку и сварку. Отличается тем, что разделку кромок под сварку производят одновременно на обеих деталях после их прихватки и со стороны, противоположной прихватке. 2278008 (С2). В. И. Бобков (RU), В. Н. Семенов (RU), М. И. Зыков (RU). ОАО "НПО "Энергомаш им. акад. В. П. Глушко" (RU). [17].

Способ определения зоны образования соединения металлопокрытия с основой при электроконтактной наплавке, при котором производят наплавку присадочной проволоки на образец, замеряют деформацию присадочной проволоки, определяют размеры контактной площадки и зону формирования соединения, исключая из площади контактной площадки те ее участки, где соединение не образуется. Отличается тем, что в качестве параметров деформации присадочной проволоки используют ширину наплавленного валика и суммарную осевую деформацию присадочной проволоки, по которой определяют относительную осевую деформацию проволоки, размеры контактной площадки между присадочным металлом и образцом определяют с учетом действительных значений осадки присадочной проволоки со стороны образца и ролика, а границу зоны образования сварного соединения в пределах контактной площадки определяют как границу области относительного движения разогретого до пластического состояния присадочного металла по наплавляемой поверхности, для чего вычисляют действующие растягивающие напряжения в поперечных сечениях пластически деформированной присадочной проволоки и сравнивают их с условным пределом ползучести присадочного металла при данной температуре. 2278009 (С1). М. З. Нафиков (RU). Башкирский ГАУ (RU). [17].

Припой для соединения элементов катодно-подогревательного узла на основе платины. Отличается тем, что дополнительно содержит 2—3 % бора при следующем соотношении компонентов (%): 97—98 платины; 2—3 бора. 2278010 (С2). О. В. Поливникова (RU). ФГУП НПП "Исток" (RU). [17].

Припой на основе никеля содержит хром, железо, молибден, кремний, кобальт, ниобий, титан. Отличается тем, что дополнительно содержит бор и марганец при следующем соотношении компонентов (%): 3,0—17,9 хрома; 0,1—10,0 железа; 0,5—6,0 молибдена; 3,0—6,5 кремния; 0,1—10,0 кобальта; 0,1—2,9 ниобия; 0,1—2,9 титана; 1,2—1,6 бора; 0,1—2,0 марганца; остальное — никель. 2278011 (С1). Е. Н. Каблов (RU), В. И. Лукин (RU), В. С. Рыльников (RU) и др. ФГУП "ВИАМ" (RU). [17].

Гратосниматель включает приводной режущий вал, установленный с возможностью перемещения от приводного подъемного устройства. Отличается тем, что приводное подъемное устройство выполнено в виде по меньшей мере двух опорных роликов, рычага и рамы с цапфами, размещенными в подшипниках опор с возможностью поворота, при этом одна из цапф жестко сочленена с рычагом, свободный конец которого шарнирно соединен с приводом подъемного устройства, а режущий вал и опорные ролики расположены в раме таким образом, что их наружные поверхности имеют общую касательную плоскость, при этом опорные ролики установлены с двух сторон от режущего вала, а оси цапф рамы, режущего вала и опорных роликов параллельны друг другу. 2278012 (С2). С. А. Гриценко (UA), Ю. В. Сусь (UA), И. А. Евгиненко (UA). ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод" (UA). [17].

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.753.037

Однофазный сварочный выпрямитель с релейной обратной связью. Мухин В. Ф., Еремин Е. Н. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 3—5.

Разработан однофазный тиристорный выпрямитель с типовой силовой схемой и фазоимпульсным блоком управления тиристорами. Введение в схему релейной обратной связи обеспечивает отключение и включение выпрямительного блока в зависимости от величины тока пульсации или тока короткого замыкания. Такая обратная связь позволяет также плавно изменять сварочный ток, что упрощает конструкцию силового трансформатора и исключает необходимость ступенчатого или другого механического регулирования режима. Ил. 9. Библиогр. 3.

УДК 621.791.01

Управление тепловым режимом комбинированного процесса сварки и локальной термоциклической обработки кольцевых соединений. Мелюков В. В., Корепанов А. Г., Репкин Д. А., Плышевский М. И. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 6—10.

Предложен комбинированный технологический процесс электронно-лучевой сварки и локальной термоциклической обработки сварного соединения пучком электронов (ЭЛТЦО) с последующей обработкой в печи кольцевых соединений технологических каналов АЭС, выполненных из сплава Э125. Приведены математическая модель теплового процесса, задача оптимизации теплового режима обработки и ее численное решение. На основании металлографических испытаний установлено, что применение комбинированного процесса сварки и ЭЛТЦО позволяет исключить механическую обработку кольцевых сварных соединений и сократить время печной термической обработки за счет улучшения микрокристаллической структуры металла сварного шва и зоны термического влияния. Решение задачи оптимизации используется в автоматизированной системе управления технологическим процессом. Ил. 7. Библиогр. 16.

УДК 621.9.025.7:62-932.2

Контроль температуры плавления многокомпонентной шихты при индукционной наплавке. Иванайский В. В., Кривочуров Н. Т., Иванайский Е. А. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 11—12.

Приведена упрощенная методика контроля температуры плавления многокомпонентной шихты при индукционной наплавке. Показано, что применение данной методики позволяет проводить экспресс-контроль шихты, а также за счет корректировки режимов наплавки предотвращать образование доэвтектических участков в зоне сплавления. Ил. 2. Библиогр. 1.

УДК 621.791.762.1

Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг. Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., Наконечный А. А. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 12—14.

Приведены результаты исследований формирования соединений алюминиевых сплавов при контактной стыковой сварке с использованием наноструктурных фольг систем Al—Ni и Al—Cu. Ил. 4.

УДК 621.791.927.6

Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций. Сайфуллин Р. Н. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 14—16.

Исследовано влияние полимерного связующего, порошков меди и олова на прочность сцепления композиционного покрытия, полученного электроконтактной приваркой порошково-полимерных лент, а также влияние содержания полимерного связующего на пористость покрытия. Установлено, что связующий полимер, порошки меди и олова значительно снижают прочность сцепления с основой, а связующий полимер влияет на пористость. Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 2.

УДК 621.791:621.642

Механизированная и автоматическая сварка двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м^3 в условиях Заполярья. Решанов В. А. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 17—21.

Описан практический опыт применения механизированной и автоматической сварки при монтаже двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м^3 в условиях Заполярья при низкой температуре и сильном ветре. Приведены применяемые оборудование, технология и режимы сварки. Табл. 2. Ил. 4.

УДК 621.791:621.643.411

Технологические комплекты источник + полуавтомат с микропроцессорным управлением для сварки неповоротных стыков трубопроводов. Милютин В. С., Ездаков Ю. Б., Сивоплясов А. Г. и др. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 22—29.

Приведены результаты испытания сварочных свойств технологических комплектов с микропроцессорным управлением. Показана возможность совершенствования сварочных свойств изменением только алгоритма микропроцессорных регуляторов. Установлена высокая эффективность работы комплектов при внедрении прогрессивных технологических схем сварки неповоротных стыков трубопроводов. Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 5.

УДК 621.791:621.314.2

Создание сварочного комплекса для замоноличивания кромок гофрированных стенок корпусов трансформаторов нового поколения серии ТМГ. Новицкий А. Ф., Крюков Г. М., Анисимов В. Н., Князев М. Ю. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 30—35.

Приведены результаты исследований по подбору режимов аргонодуговой сварки вертикальных кромок гофр боковых стенок корпусов силовых трансформато-

ров серии ТМГ. Определены требования к сварочному и гофрообразующему оборудованию, на основании которых спроектирован сварочный автоматизированный комплекс КСГ-1200. Комплекс эксплуатируется в составе линии по производству гофростенок. Ил. 5. Библиогр. 4.

УДК 621.791.14

Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор). В 3 ч. Ч. 1. Штрикман М. М. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 35—40.

В обзоре сообщается в основном о зарубежных разработках и промышленном использовании процесса сварки трением линейных соединений (сварка трением с перемешиванием) в разных областях техники за последние пять лет. Наибольшее внимание уделено термомеханическим процессам при сварке (ч. 1), совершенствованию сварочного инструмента и технологической схемы процесса (ч. 2), а также промышленному применению процесса сварки (ч. 3). Ил. 8. Библиогр. 33.

УДК 621.791:658.51

Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия. Шутченко А. П., Малахов Д. В. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 47—50.

Предложена модель внутрипроизводственного планирования в машиностроительном производстве, включающая расчет производственной возможности всех технологических цехов с охватом всех типов оборудования, по выпуску продукции планируемого ассортимента, разработку маршрутной схемы изготовления продукции с максимальным эффектом использования оборудования, план производства для каждого цеха исходя из планируемой производственной программы предприятия в целом, с учетом организационно-технических условий производства в цехе. Разработанная модель представляет единую систему разукрупнения производственной программы предприятия на планы отдельных подразделений, нацеленных на одни и те же задачи всего предприятия. Табл. 1. Ил. 1.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe proizvodstvo", 2007, № 9

Relay feedback single-phase rectifier welder. Mukhin V. F., Yeriomin Ye. N. P. 3—5.

A single-phase thyristor rectifier with default configuration and thyristor phase-impulse controller is designed. Relay feedback insertion into the circuit provides rectifier clearing and breakover depending on the ripple current value or short-circuit current. Such feedback also allows for smooth welding current change, thus simplifying construction of the power transformer and eliminating necessity of step or any other mechanical mode control.

Thermal conditions control of the ring joints combined welding and local thermocyclic treatment. Melyukov V. V., Korepanov A. G., Repkin D. A., Plyshevsky M. I. P. 6—10.

A combined process of electron-beam welding and local thermocyclic treatment of welded ring joints by electrode beam (ЭЛТЦО) and furnace after-treatment is suggested for the APP assembly channels form the Э125 alloy. Heat process mathematical model, optimization problem of the process thermal conditions and its numerical solution are given. Basing on the netallographic test it is established, that combined welding process and ЭЛТЦО applications allow for eliminating machining of the welded ring joints and shorten furnace heat treatment period due to microcrystalline structure improvement of the welded joint metal and of the heat-affected area. Optimization problem solution is used in the automatic process control system.

Multi-component burden melting temperature control at inductive facing. Ivanaysky V. V., Krivochurov N. T., Ivanaysky Ye. A. P. 11—12.

Simplified checking technique for the multi-component burden melting temperature at inductive facing is described. It is shown that this technique application allows for conducting burden express-checking, as well as for avoiding hypoeutectic areas formation in the fusion zone due to facing modes correction.

Features of the aluminium alloys resistance-welding process using nano-structuring aluminium-nickel and aluminium-copper foils. Kuchuk-Yatsenko V. S., Shvets V. I., Sakhatsky A. G., Nakonechny A. A. P. 12—14.

Research results of the aluminium alloy joints formation at resistance-welding applying nano-structuring foils of the Al—Ni and Al—Cu systems are covered.

Adhesive strength and porosity of the powder-mix-electrocontact-welded coatings. Sayfoollin R. N. P. 14—16.

Effect of plastic binder, copper and tin powders on the adhesive strength of the composite coating, produced by electrocontact weld of powder-plastic bands is studied, as well as influence of the plastic binder composition on the coating porosity. It is established that binding polymer, copper and tin powders significantly decrease adhesive strength to the base and the binding polymer affects porosity.

Machine welding of dual steel upright cylinder of 50.000 m^3 storage capacity under conditions within the Polar circle. Reshanov V. A. P. 17—21.

Practice of machine welding at assembling dual steel upright cylinders of 50.000 m^3 storage capacity in the conditions

within Polar circle at low temperatures and strong wind is described. Equipment, techniques and welding conditions are covered.

"Source-semiautomatic device" microprocessor-control process complex for the conduit unturning joints welding. Milyutin V. S., Yezdakov Yu. B., Sivoplyasov A. G. et al. P. 22—29.

Welding properties testing results of the microprocessor-control process complexes arc covered. A possibility is shown to upgrade welding properties by changing only algorithm of the microprocessor regulator. High effectiveness of the complexes is established at implementation of the conduit unturning joints welding process flowsheets.

Welding complex creation for the corrugated walls edge monolithing of the ТМГ-series new generation transformer cases. Novitsky A. F., Kryuchkov G. M., Anisimov V. N., Knyazev M. Yu. P. 30—35.

Research results are given on choosing argon-arc welding conditions for the crimple vertical edges of the ТМГ-series power transformer cases sidewalls. Requirement to the welding and corrugating equipment are given, basing on them a КСГ-1200 welding automatic complex is designed. The complex is part of the production line of corrugated walls.

State and progress of the leaner joints friction welding process: Review. Part 1. Shtrikman M. M. P. 35—40.

Generally the review considers foreign developments and industrial application of the leaner joints friction welding process (stirring friction welding) in different fields of technology for the last five years. The most attention is paid to thermomechanical processes at welding (Part 1), to upgrading welding accessories and process flowsheets (Part 2), as well as industrial application of welding (Part 3).

Intraproductive planning model development for a machine-building plant. Shootchenko A. P., Malakhov D. V. P. 47—50.

An intraproductive planning model is suggested for a machine-building plant, which include manufacturing capabilities calculation of all curing rooms considering all types of equipment, issuing products of planned range, working out of the production route flowsheet expecting maximum effect from the equipment use, manufacturing plan for every workshop on the basis of production program of the plant as a whole, taking into consideration managerial and technical conditions manufacturing environment in the workshop. The designed model presents a uniform system of the plant production program disaggregation into plans of separate departments aimed at the same tasks of the plant as a whole.

Публикуется на правах рекламы

В. Ф. Хорунову — 70 лет

Исполнилось 70 лет лауреату Государственной премии УССР, заслуженному деятелю науки и техники Украины, чл.-кор. НАН Украины, проф., д-ру техн. наук Виктору Федоровичу Хорунову.

В. Ф. Хорунов в 1959 г. закончил Киевский политехнический институт и поступил на работу в ИЭС им. Е. О. Патона. Начало его трудовой деятельности связано с изучением особенностей структурных и фазовых превращений в чугунах с различным содержанием элементов-графитизаторов, кристаллизующихся в условиях высоких скоростей охлаждения, которые характерны для сварочных процессов. На этой основе были разработаны составы порошковых проволок и способ механизированной дуговой сварки чугуна. Результаты этих исследований обобщены в кандидатской диссертации В. Ф. Хорунова.

Основная научная деятельность В. Ф. Хорунова посвящена исследованию процессов высоко- и низкотемпературной пайки, созданию научной школы в этой области. Исследования охватывают практически все конструкционные материалы, применяемые в промышленности. Под его руководством разработаны научные основы, припои и технология вакуумной пайки тонкостенных конструкций из коррозионно-стойких сталей различных классов, уникальный технологический комплекс для изготовления решетчатых рулей современных ракет.

Полученные результаты обобщены в докторской диссертации В. Ф. Хорунова.

За работу в области ракетостроения ему присуждена Государственная премия УССР в области науки и техники.

Важным аспектом научной деятельности В. Ф. Хорунова является разработка научных основ, технологических процессов и припоев для пайки жаропрочных никелевых сплавов, интерметаллидных и дисперсно-упрочненных сплавов, углеродных материалов, сплавов на основе титана и алюминия, реактивного флюса для пайки алюминия без введения припоя: последний образуется в процессе смачивания флюсом поверхности алюминия. Для низкотемпературной флюсовой пайки алюминия впервые синтезирован новый класс комплексных тетрафторборатов Zn(II), Cd(II), Pb(II) с различными основаниями, содержащими азот.

Под руководством В. Ф. Хорунова выполнен ряд специальных проектов. Так, осуществлен эксперимент по пайке на околоземной орбите. В рамках международного проекта "Токомак" разработаны припои и технология пайки разнородных соединений дивертора установки термоядерного синтеза и исследована работоспособность разнородных паяных соединений в условиях жесткой термической нагрузки и нейтронного облучения.

В. Ф. Хорунов был соруководителем нескольких международных проектов: "Коперникус" (ЕС) — в области электроники — по разработке припоя с повышенной теплостойкостью; двух проектов под эгидой Министерства энергетики США: с Ливерморской Национальной лабораторией — исследование пайки интерметаллидных сплавов γ-TiAl, с Национальной лабораторией "Сандия" — усовершенствование технологии пайки авиационных трубопроводов из коррозионно-стойких сталей.

В. Ф. Хорунов является автором более 350 печатных работ, в том числе 60 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством защищены 10 кандидатских диссертаций, в том числе три — российскими и одна — китайским специалистами. Он является членом ученого совета ИЭС им. Е. О. Патона, редакционных коллегий журналов "Автоматическая сварка" и "Адгезия расплавов и пайка материалов", спецсовета по защитам диссертаций в области сварки УГМТУ им. адм. Макарова. На протяжении ряда лет был ученым секретарем секции металлургии Комитета по государственным премиям в области науки и техники, председателем I комиссии Национального комитета СССР МИС. Многократно выступал с лекциями по пайке в США и Китае.

В. Ф. Хорунов — известный ученый в области материаловедения, высоко- и низкотемпературной пайки, сварки, соединения новых перспективных материалов, технологии металлов — пользуется заслуженным авторитетом среди специалистов. Его отличает интеллигентность, доброжелательность, твердое отстаивание своей позиции. Он верен дружбе и партнерству.

В. Ф. Хорунов полон творческих сил и новых идей.

От всей души поздравляем Виктора Федоровича с юбилеем, желаем здоровья, творческого долголетия и новых побед!

ИЭС им. Е. О. Патона,
редакция журнала
"Автоматическая сварка",
редколлегия и редакция
журнала "Сварочное
производство"

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Сдано в набор 09.07.2007. Подписано в печать 21.08.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 10,07. Заказ 17/07.

Отпечатано в типографии издательства “Фолиум”, 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала “Сварочное производство”:

70807 в каталоге Агентства “Роспечать”; **27860** в Объединенном каталоге "Пресса России"; **60256** в каталоге "Почта России".