



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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
В. Ф. Грабин, Ю. Я. Грецкий,
В. Н. Замков, А. Т. Зельниченко,
А. Я. Ищенко, С. И. Кучук-Яценко,
Ю. Н. Ланкин,
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),
В. Н. Липодав (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, Л. П. Мойсов,
В. Ф. Мошкин, О. К. Назаренко,
В. В. Пешков, И. К. Походня,
И. А. Рябцев, Ю. А. Стеренбоген,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, В. К. Шелег,
К. А. Ющенко

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

И. Арат (Япония),
Н. П. Алешин (Россия),
И. Гривняк (Словакия),
У. Дилтей (Германия),
Е. А. Дорошевич (Беларусь),
П. Зайфарт (Германия),
А. С. Зубченко (Россия),
К. Иноуэ (Япония),
К. Мацубути (США),
Н. И. Никифоров (Россия),
Б. Е. Патон (Украина),
Я. Пилиярчик (Польша)

Адрес редакции:
03680, Украина, г. Киев-150,
ул. Боженко, 11

Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (044) 227 63 02, 269 26 23

Факс: (044) 268 04 86
E-mail: office@paton.kiev.ua
tomik@mac.relc.com
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Редакторы:
Е. Н. Казарова, В. И. Котляр,
Г. В. Ольшевская
Электронная верстка:

И. С. Баташева, И. Р. Наумова,
И. В. Петушков, Т. Ю. Снегирева
Свидетельство
о государственной регистрации
КВ 4788 от 09.01.2001

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

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Головко В. В. Моделирование состава неметаллических включений в металле сварных швов высокопрочных низколегированных сталей	3
Голоднов А. И. К вопросу учета остаточных напряжений в сечениях сжатых двутавровых стержней при их расчетах	8
Кривчиков С. Ю., Жудра А. П. Влияние углеродсодержащих материалов порошковой проволоки на переход углерода в сварочную ванну при наплавке	11
Борисов Ю. С., Борисова А. Л., Панько М. Т., Адеева Л. И., Коломыцев М. В., Шахрай А. А., Сладкова В. Н. Особенности структуры квазикристаллических покрытий системы Al-Cu-Fe, полученных методами газотермического напыления	13

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Семенов С. Е., Рыбаков А. А., Кирьян В. И., Филипчук Т. Н., Гончаренко Л. В., Василюк В. М., Климончук Р. В., Стецкiv М. В., Власюк Ф. С. Экспериментальная оценка состояния металла длительно работающих сварных нефтепроводов	18
Копиленко Е. А., Павленко Г. В., Чмыхов Н. В., Самохина Т. И., Юматова В. И. Метрологическое обеспечение серийного производства сварочного оборудования фирмы «СЭЛМА» и его соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001-95	23
Каленский В. К., Дворецкий В. И., Буга В. М., Семенихин А. В. Разработка материалов и технологий изготовления однокатковых опорных частей мостов с применением наплавки	26
Лебедев В. А., Пичак В. Г., Смолярко В. Б. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов	31
Нестеренко Н. П., Сенченков И. К. Классификация волноводов, имеющих форму тел вращения, для ультразвуковой сварки полимеров и композитов на их основе	38
Иванова О. Н. Международной ассоциации «Сварка» — 10 лет	42

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Письменный А. С. Синтез индукционных систем для сварки и пайки соединений труб по заданному распределению мощности в зоне шва	45
Василишин С. А. Правка электродной проволоки на автоматах	46
Патенты в области сварочного производства	48
По зарубежным журналам	50
Новые книги	53

ХРОНИКА

3-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка»	54
Международная специализированная выставка-конгресс «Электротехнологии XXI века»	55
Памяти Б. И. Медовара	57
Наши поздравления	58

РЕКЛАМА



Главный спонсор журнала ОАО «Фирма СЭЛМА»

Monthly Scientific-Technical and Production Journal

Avtomicheskaya Svarka

№ 5 (578)
May 2001

Published since March, 1948

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

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

I.Arata (Japan),
N.P.Alyoshin (Russia),
I.Hriivnak (Slovakia),
U.Diltey (Germany),
E.A.Doroshkevich (Belarus),
P.Seyffarth (Germany),
A.S.Zubchenko (Russia),
K.Inoue (Japan),
K.Masubuchi (USA),
N.I.Nikiforov (Russia),
B.E.Paton (Ukraine),
Ya.Pilyarchik (Poland)

Address:

The E. O. Paton Electric
Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23
Fax: (38044) 268 04 86
E-mail: office@paton.kiev.ua
tomik@mac.relc.com
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E.N.Kazarova, V.I.Kotlyar,
G.V.Olshevskaya
Electron galley
I.S.Batasheva, I.R.Naumova,
T.Yu.Snegireva, I.V.Petushkov

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Golovko V.V.** Modelling of composition of non-metallic inclusions in metal of high-strength low-alloyed steel welds 3
Golodnov A.I. About the problem of allowance for residual stresses in sections of compressed I-beam bars during their design 8
Krivchikov S.Yu., Zhudra A.P. Effect of carbon-containing materials of the flux-cored wire on carbon transition to weld pool in surfacing 11
Borisov Yu. S., Borisova A.L., Panko M.T., Adeeva L.I., Kolomytsev M.V., Shakhray A.A., Sladkova V.N. Peculiarities of structure of quasi-crystalline coatings of Al-Cu-Fe system produced by thermal spraying 13

INDUSTRIAL

- Semyonov S.E., Rybakov A.A., Kiryan V.I., Filipchuk T.N., Goncharenko L.V., Vasiliuk V.M., Klimonchuk R.V., Stetskiv M.V., Vlas'yuk F.S.** Experimental evaluation of metal condition in long-operating welded pipelines 18
Kopylenko E.A., Pavlenko G.V., Chmykhov N.V., Samokhina T.I., Yumatova V.I. Metrological support of serial manufacture of welding equipment of company «SELMA» and its conformity to the requirements DSTU ISO 9001-95 23
Kalensky V.K., Dvoretsky V.I., Buga V.M., Semenikhin A.V. Development of materials and technology of manufacture of single-roller support parts of bridges using surfacing 26
Lebedev V.A., Pichak V.G., Smolyarko V.B. Mechanisms of pulsed feeding of electrode wire with adjustment of pulse parameters 31
Nesterenko N.P., Senchenkov I.K. Classification of wave guides, having a shape of bodies of rotation, for ultrasonic welding of polymers and composites on their base 38
Ivanova O.N. International Association "Welding" is 10 42

BRIEF INFORMATION

- Pismennyy A.S.** Synthesis of induction systems for welding and brazing of joints of pipes by a preset distribution of power in the weld zone 45
Vasilishin S.A. Straightening of electrode wire in automatic machines 46
Patents in the field of welding 48
Review of foreign journals 50
New books 53

NEWS

- IIIrd International Specialized Exhibition «Welding and Cutting» 54
International Specialized Exhibition-Congress «Electric Technologies of the XXIst Century» 55
In memory of B.I.Medovar 57
Our congratulations 58

ADVERTISING

Journal «Avtomicheskaya Svarka» is published in English under the title
«The Paton Welding Journal».

Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact:
tel.: (380 44) 227 67 57, fax: (380 44) 227 46 77, E-mail: tomik@mac.relc.com



УДК 621.791.011

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МЕТАЛЛЕ СВАРНЫХ ШВОВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

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

Описаны эксперименты по проверке адекватности разработанной компьютерной программы прогнозирования количества и состава неметаллических включений в металле сварных швов низколегированных сталей. Данная программа позволяет моделировать не только окончательное количество и состав неметаллических включений, но и рассчитывать характеристики включений, находящихся в металле сварочной ванны в докристаллизационный период ее существования.

Ключевые слова: сварка, низколегированная сталь, металл шва, неметаллические включения, компьютерное моделирование, прогнозирование состава, проверка адекватности

Качество сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей в значительной мере определяется уровнем физических и физико-химических характеристик металла швов, на которые существенно влияют морфология, состав и распределение неметаллических включений. Ранее основное внимание уделялось вопросу формирования включений в процессе кристаллизации швов, и значительно меньше изучено образование оксидов при твердении металла. Охлаждение стали как в жидком, так и в твердом состоянии сопровождается уменьшением растворимости кислорода и выделением его либо в газовую фазу, либо в составе неметаллических включений. Образование в структуре металла различных по виду включений в первую очередь обусловлено избирательным химическим сродством кислорода к элементам-раскислителям. На различных этапах образования металла сварных швов это сродство различное. В работе [1] показано, что при твердении стали объемная доля вторичных (образующихся в процессе охлаждения раскисленного металла до температуры ликвидуса), третичных (образующихся в процессе охлаждения между линиями ликвидуса и солидуса) и четвертичных (образуются при температурах ниже температуры солидуса) неметаллических включений может достигать 70...80 %. В отношении металла сварных швов такие исследования не проводили, однако известно, что сами неметаллические включения в металле швов представляют собой многослойные образования, в центре которых находятся наиболее тугоплавкие соединения, а на периферии — соединения с наиболее низкой температурой плавления, значительно ниже температуры кристаллизации стали [2–4]. Исходя из этого вполне закономерно допустить, что образование неметаллических включений не заканчивается при температуре солидуса стали, а еще некоторое время продолжается в двухфазной зоне, которая образуется вокруг зародыша включения и поддерживается ликвационными процессами. В работе [2] показано, что время существ-

ования этой зоны в металле сварных швов при их кристаллизации превышает время существования жидкого металла в докристаллизационный период.

В ходе многочисленных исследований установлено, что неметаллические включения влияют на условия формирования структурных составляющих металла швов, а это в свою очередь и на служебные свойства сварных соединений. Данное влияние может определяться как общим количеством включений в металле [5, 6], так и особенностями их химического состава [7–9].

При условии многослойной морфологии включений важнейшую роль в этих процессах играет поверхностный слой, т. е. слой, сформированный на последнем этапе образования включения. Условия контакта поверхностного слоя с металлической матрицей определяют возможность образования несплошностей около включения, которые являются ловушками при диффузии водорода в металле швов [10, 11], или возможность возникновения напряженного состояния в окружающих объемах металла [12, 13].

Понятно, что прямые экспериментальные исследования в динамике процесса образования неметаллических включений в металле сварного шва практически невозможны. Исходя из этого с учетом изложенного выше, вытекает вывод об актуальности проблемы исследования состава, размеров и содержания неметаллических включений в сварных швах высокопрочных низколегированных сталей методами математического моделирования и числового эксперимента.

Методика работы. Для описания процессов образования и роста неметаллических включений была выбрана детерминированная динамическая модель с распределенными параметрами. Подобные модели универсальны и практически не стареют (на данном уровне знаний процесса), а также легко адаптируются применительно к конкретным технологиям [14]. Адаптация этих моделей к условиям, отвечающим определенным процессам сварки, производится путем уточнения параметров модели на базе экспериментальных данных, характерных для конкретных технологических режимов сварки. Эк-

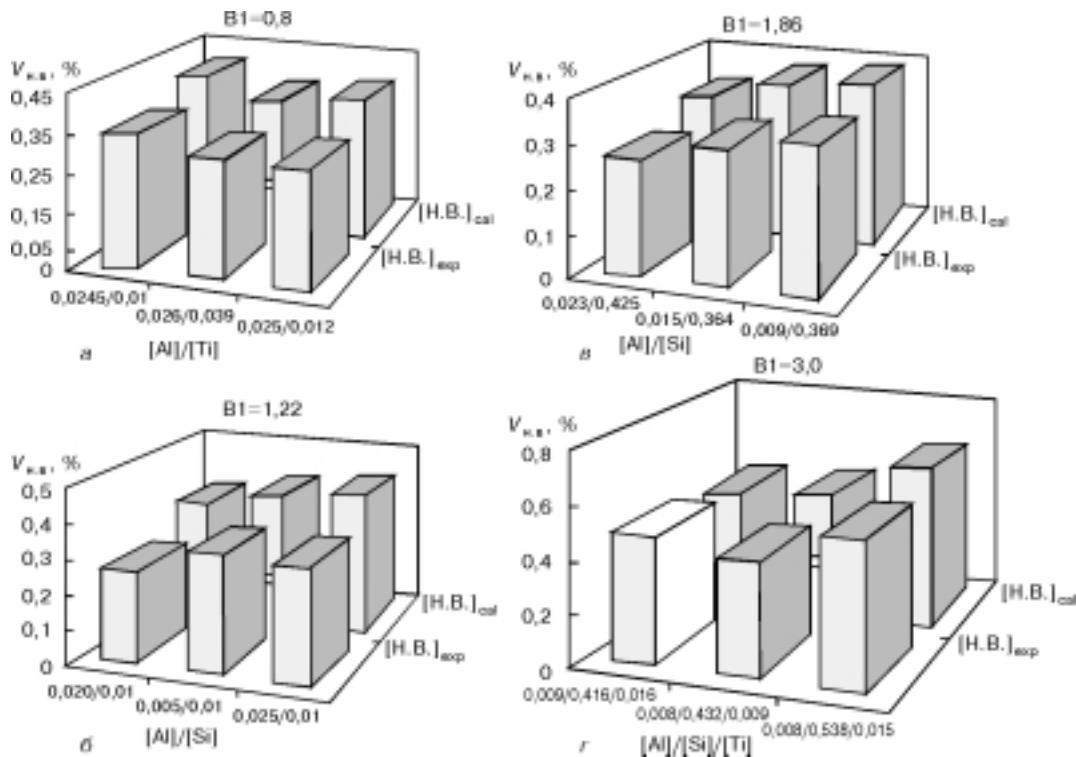


Рис. 1. Сопоставление объемов расчетных неметаллических включений $[H.B.]_{cal}$ с экспериментальными $[H.B.]_{exp}$ в зависимости от соотношений алюминия, кремния, титана в металле швов, выполненных под флюсом с различной основностью

спериментальная часть работы выполнена при сварке под флюсом.

В опытах использованы агломерированные флюсы в сочетании со сварочной проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм. Сварка выполнена на постоянном токе обратной полярности при следующих параметрах режима: $I_{cb} = 640 \dots 650$ А, $U_d = 30 \dots 31$ В; $v_{cb} = 27 \dots 28$ м/ч. В ходе экспериментов изготовленыстыковые соединения из низколегированной стали марки 10ХСНД толщиной 25 мм с разделкой кромок под углом 60° и зазором в корне шва 20 мм. Из металла последнего прохода, расположенного по середине верхнего слоя, вырезаны темплеты для изготовления шлифов для металлографических исследований.

Металлографические исследования проведены на поперечных шлифах, вырезанных из сварных соединений. Количественный анализ неметаллических включений выполнен на приборах «Omnimet» и «Quantimet-720». Общую загрязненность шва включениями определяли на «Quantimet-720», укомплектованном сканирующей телевизионной камерой, позволяющей выявлять и обрабатывать объекты размером до 0,5 мкм. Распределение включений по размерам и построение соответствующих графиков выполняли с помощью прибора «Omnimet» непосредственно со шлифов. По заданной программе на приборе подсчитано количество включений в каждом образце по размерным группам — от минимального до максимального размера. Анализ фазового состава неметаллических включений выполнен на электронном микроскопе JSM-35 с помощью энергодисперсионного спектрометра «Link-860» «по точкам» с целью устранения фонового излучения.

Физико-химическое моделирование. В целом процесс формирования включения фактически состоит из двух различных по своей физико-химической основе процессов: процесса образования включения в жидкой стали, а также последующего выделения конденсированной фазы на поверхности раздела в двухфазной зоне в посткриSTALLИЗационный период. В соответствии с этим моделирование проводили отдельно для каждого из указанных процессов.

При создании физико-химической модели процесса образования включений в жидкой стали исходили из обычно принимаемого допущения, что высокая интенсивность перемешивания металла и шлака в сварочной ванне, нагрев расплавленного электродного металла на стадии капли до температуры 2000 °C и выше обеспечивают приближение системы к равновесным условиям в фиксированный момент времени, достаточный для составления достоверных прогнозов. Термодинамические расчеты равновесия для реакций металл–шлак–газ позволяют установить наиболее благоприятные условия для формирования включений определенного состава. Расчеты, выполненные по формуле Вагнера [15], показали, что уже через 2 с после образования сварочной ванны средний размер включений в жидком металле составляет 0,5 мкм и со временем продолжает увеличиваться. Следовательно, при анализе количества, состава и распределения неметаллических включений достаточно ограничиться исследованием включений размером не менее 0,5 мкм.

При моделировании процессов конденсации включений в области температур ниже температуры кристаллизации стали исходили из положений квазиравновесной теории двухфазной зоны [16]. В

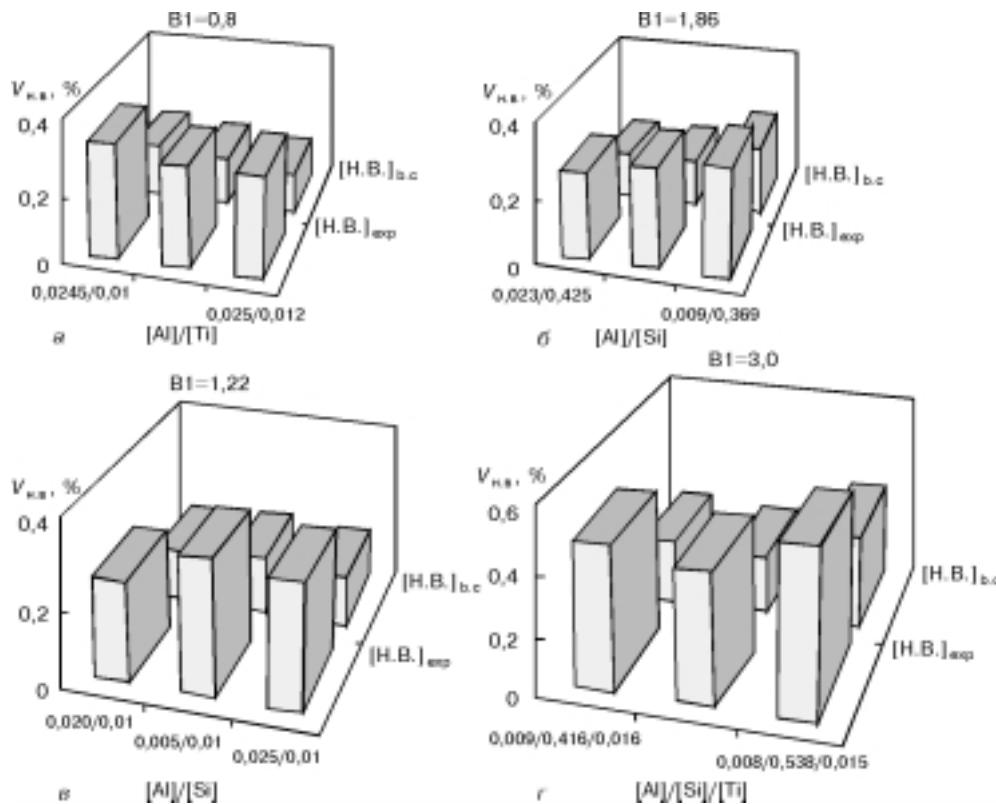


Рис. 2. Сопоставление объемов расчетных (докристаллизационных) с экспериментальными в зависимости от соотношений алюминия, кремния, титана в металле швов, выполненных под флюсом с основностью $B_1 = 0,8 \dots 3,0$

этом случае интенсивность роста оксидной фазы на поверхности раздела определяется долей жидкой составляющей в двухфазной области S .

При дуговых процессах сварки шлак, как правило, является окислительной средой по отношению к расплавленному металлу, поэтому реакцию взаимодействия между элементами-раскислителями, растворенными в сварочной ванне, и шлаком можно записать в общем виде как:

$$n_i [R_i] + m_i [\text{O}] = R n_i O m_i, \quad (1)$$

в результате которой образуется M_i количество продуктов i -й реакции. Однако в данном случае в результате протекания этих реакций, а также ликвационных процессов будет изменяться концентрация кислорода C_O , и баланс кислорода в молях может быть записан следующим образом [17]:

$$d(SC_O)/dt = k_0 C_O dS/dt - \sum_{i=1}^N m_i dM_i/dt. \quad (2)$$

Возможность тех или иных реакций и выход их продуктов зависят от концентрации i -го элемента-раскислителя C_i . Уравнение баланса (в молях) для каждого i -го элемента-раскислителя имеет вид

$$d(SC_i)/dt = k_i C_i dS/dt - n_i dM_i/dt. \quad (3)$$

При локальном термодинамическом равновесии для концентрации кислорода C_O и реагирующего с ним i -го элемента-раскислителя C_i имеем

$$C_i^n C_0^m = \frac{1}{K_i f_i^n f_0^m}, \quad (4)$$

где K_i — константа равновесия реакции окисления i -го элемента-раскислителя.

Система уравнений (2)–(4) слагается из $2N + 1$ замкнутых уравнений и позволяет определить концентрацию кислорода и N элементов-раскислителей, реагирующих с ним, а также содержание оксидов M_i , образовавшихся на всех этапах кристаллизации.

Количество докристаллизационных включений можно определить из системы N уравнений типа

$$\left(C_i^0 - \frac{M_i}{1 + 16m_i/n_i A_i} \right)^n \left(C_O^0 - \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{1 + n_i A_i / 16m_i} \right)^m = \frac{1}{K_i f_i^n f_0^m}, \quad (5)$$

где C_O^0 , C_i^0 — начальные концентрации соответственно кислорода и элемента-раскислителя в расплаве до начала кристаллизации; A_i — атомная масса i -го элемента-раскислителя.

Тогда исходное содержание элемента-раскислителя в расплаве имеет вид

$$C_i^* = \frac{C_i^0 - M_i^*}{(1 + 16m_i/n_i A_i)}, \quad (6)$$

а кислорода

$$C_O^* = \frac{C_O^0 - \sum_{i=1}^N M_i^*}{(1 + n_i A_i / 16m_i)}. \quad (7)$$

Полученная сложная система алгебраических и обыкновенных уравнений (2)–(4) и (5), как и ал-

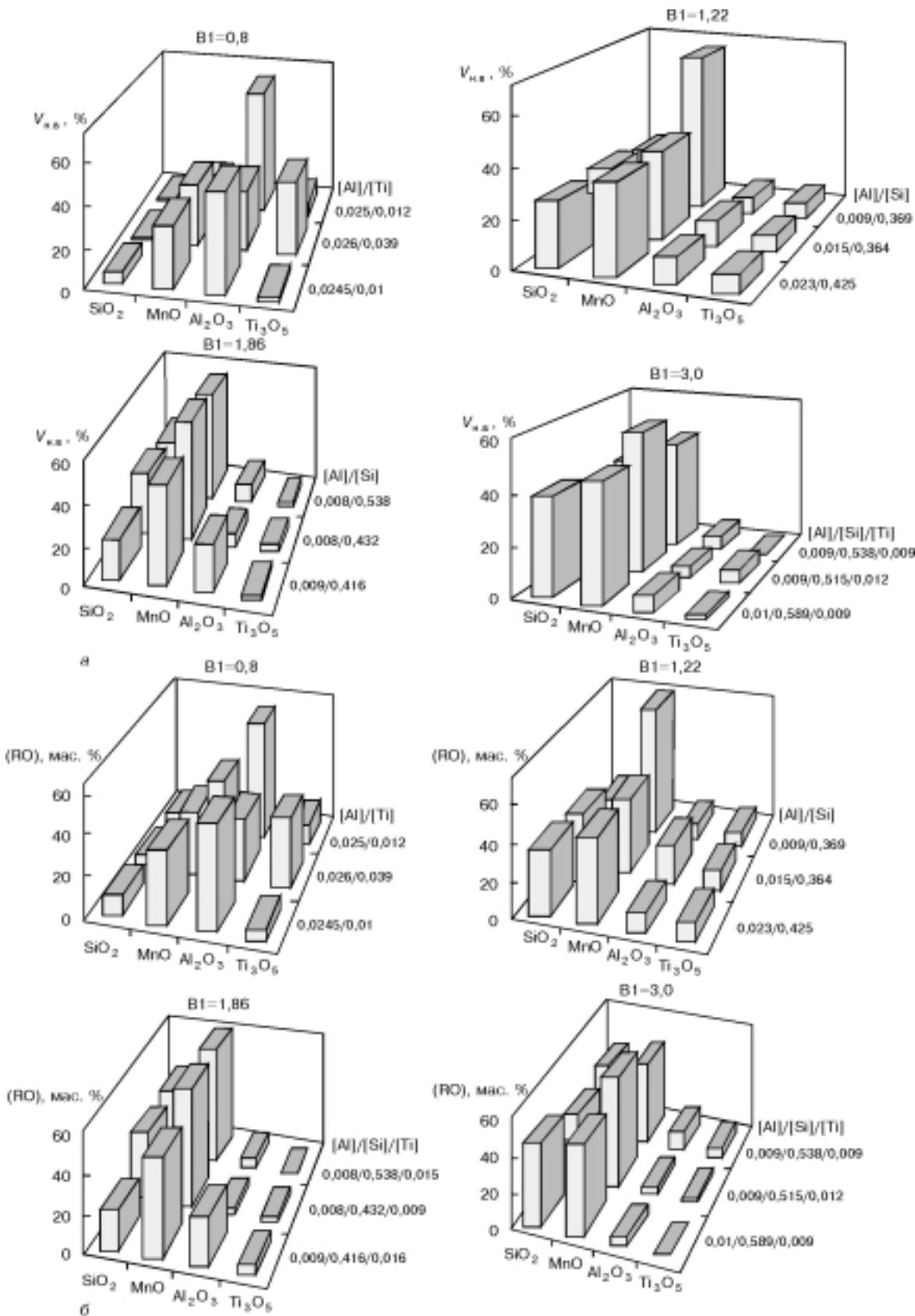


Рис. 3. Экспериментальные (а) и расчетные (б) данные о составе неметаллических включений в зависимости от соотношения алюминия, кремния и титана в металле шовов, выполненных под флюсом с основностью $B1 = 0,8 \dots 3,0$ (а) и с учетом действия элементов-раскислителей (б).

горитм их решения, должны быть конкретизированы в каждом конкретном случае.

По описанному алгоритму на языке ФОРТРАН была составлена и отработана (совместно с канд. физ.-мат. наук Л. А. Тараборкиным) программа для



расчета процессов образования неметаллических включений в соответствии с разработанной математической моделью.

Для проверки адекватности разработанной модели были выбраны пять агломерированных флюсов различного типа и различной основности. Флюсы флюоритно-основного типа имели индекс основности $B1 = 3,0$ и $B1 = 1,86$. Флюс алюминатно-основного типа имел $B1 = 1,22$, а марганцево-силикатный флюс имел индекс основности $B1 = 0,8$.

В опытные флюсы с целью интенсификации процессов образования неметаллических включений вводили такие элементы-раскислители, как кремний, титан и алюминий в количествах до 1 %. Из стыковых соединений, полученных при сварке под опытными флюсами, по описанной выше методике изготавливали образцы для металлографических исследований в металле последнего прохода.

На рис. 1, 2 сопоставлены результаты расчета количества и состава неметаллических включений, выполненного по разработанной программе с данными экспериментов, которые получены при металлографическом анализе образцов металла швов. Данные на рис. 1 показывают хорошую сходимость расчетных и экспериментальных результатов. Исходя из этого можно считать, что результаты расчета количества докристаллизационных включений (рис. 2) также соответствуют реальной ситуации в сварочной ванне. Таким образом, данная программа позволяет анализировать содержание включений в ванне до начала процессов ее кристаллизации, что затруднительно сделать в настоящее время экспериментальным путем.

Как видно из приведенных на рис. 3 данных, разработанная модель позволяет описать условия формирования неметаллических включений в широком диапазоне составов флюсов при их различной основности и с учетом действия элементов-раскислителей, введенных в состав флюса, что подтверждается адекватностью расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, разработанная компьютерная модель позволяет описать процессы формирования неметаллических включений в металле сварочных швов на различных этапах их образования. Исследования, выполненные с использованием этой программы, подтвердили не только хорошую сходимость расчетных данных с результатами экспериментов, но и показали принципиальную возможность прогнозирования содержания и состава неметаллических включений в жидком металле сварочной ванны, что затруднительно получить опытным путем.

Использование разработанной программы для анализа условий формирования структуры металла

сварных швов высокопрочных низколегированных сталей дает возможность использовать методы компьютерного моделирования при решении проблемы повышения работоспособности сварных соединений, разработки сварочных материалов нового поколения с прогнозируемыми свойствами.

1. Явойский В. И., Тыонг В. М., Горохов Л. С. Раскисление углеродистых и низколегированных мартеновских сталей // Неметал. включения в стали. — 1961. — Т. 1. — С. 228.
2. Klukken A. O., Grong O. Mechanisms of inclusion formation in Al-Ti-Si-Mn deoxidized steel weld metals // Metallurgical Transactions A. — 1989. — **20**, № 8. — P. 1335–1349.
3. Metalurgie et propriétés mécaniques du métal fondu en soude multipasse sous flux d'acier au C-Mn micro-allié / L. Devillers, D. Kaplan, A. Ribes, P. V. Riboud // Mémoires et études scientifiques revue de métallurgie. — 1986. — **83**, № 1. — S. 43–62.
4. Dowling J. M., Corbett J. M., Kerr H. W. Inclusion phases and the nucleation of acicular ferrite in submerged arc welds in high strength low alloy steels // Metallurgical Transactions A. — 1986. — **17**, № 10. — P. 1611–1623.
5. Boniszewski T. Fine oxide particles in mild steel CO₂ weld metal // Welding J. — 1972. — № 1. — P. 19–22.
6. Irvine K. J., Pickering F. B. Relationship between microstructure and mechanical properties of mild steel weld deposits // British welding J. — 1960. — № 5. — P. 353–364.
7. Inclusion formation in self-shielded flux cored arc welds / M. Quintana, J. E. McLane, S. S. Babu, S. A. David // Abstracts of papers AWS meeting. — 1999. — P. 193–195.
8. Terashima H., Hart P. H. M. Effect of flux TiO₂ and Ti content on tolerance to high Al content of submerged-arc welds made with basic fluxes // Intern. conf. «The effects of residual, impurity, and microalloying elements on weldability and weld properties», London, 15–17 Nov., 1983. — Abington Cambridge, 1984. — P. 22–27.
9. Chemical composition and crystal structure of oxide inclusions promoting acicular ferrite transformation in low alloy submerged arc weld metal / Y. Horii, K. Ichikawa, S. Ohkita et al. // Quarterly J. of JWS. — 1995. — **13**, № 4. — P. 500–507.
10. Martensite start temperature as a weldability index / D. L. Olson, S. Liu, W. Wang et al. // Trends in welding research: Proc. of 4th Intern. conf., 5–8 June, 1995, Gatlinburg, Tennessee, USA. — 1995. — P. 615–620.
11. Князев А. А., Волков В. А., Чернуха Л. Г. О механизме влияния неметаллических включений на диффузию водорода в стали // Металлы. — 1984. — № 4. — С. 43–49.
12. Шульга А. В., Никишов В. В. Анализ напряженного состояния при выделении частиц фаз внедрения // Там же. — 1990. — № 5. — С. 128–134.
13. Цвирко Э. И., Гоптаренко В. И., Бялик Г. А. Поведение неметаллических включений в условиях термо-деформационного передела стали // Изв. вузов. Черн. металлург. — 1992. — № 2. — С. 20–23.
14. Кабанова О. В., Максимов Ю. А., Рузинов Л. П. Статистические методы построения физико-химических моделей металлографических процессов. — М.: Металлургия, 1989.
15. Development of macro- and microstructures of carbon-manganese low alloy steel welds: inclusion formation / S. S. Babu, S. A. David, J. M. Vittek et al. // Materials Science and Technology. — 1995. — **11**, № 2. — P. 186–199.
16. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов / В. А. Григорян, А. Я. Стомахин, А. Г. Пономаренко и др. — М.: Металлургия, 1989. — 288 с.
17. Борисов В. Т. Теория образования неметаллических включений в двухфазной зоне кристаллизующегося слитка // Неметал. включения в стали. — 1961. — Т. 1. — С. 71–87.

Experiments on validation of adequacy of the developed computer software for prediction of the amount and composition of nonmetallic inclusions in the low-alloy steel weld metal are described. In addition to modelling of the final amount and composition of nonmetallic inclusions, this software allows also the calculation of characteristics of the inclusions which are contained in the weld pool metal in a presolidification period of its existence.

Поступила в редакцию 29.09.2000

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПЕРЕХОД УГЛЕРОДА В СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИ НАПЛАВКЕ

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

Приведены результаты исследований перехода углерода в сварочную ванну при наплавке самозащитной порошковой проволокой. Установлено влияние типа углеродсодержащего материала сердечника порошковой проволоки на особенности ее плавления, значения коэффициента перехода углерода в наплавленный металл и его концентрацию в нем.

Ключевые слова: наплавка, самозащитная порошковая проволока, углеродсодержащий материал, наплавленный металл, переход углерода

Углерод является одним из основных легирующих элементов, определяющих тип, структуру и другие свойства наплавленного металла. В связи с этим практический интерес представляют данные о кинетике его перехода из порошковой проволоки в сварочную ванну при наплавке.

В настоящей работе приведены результаты исследований влияния типа и количества углеродсодержащих материалов сердечника самозащитной порошковой проволоки на содержание углерода в наплавленном металле.

Наплавку производили опытными порошковыми проволоками (таблица), в которых содержание углерода изменяли путем введения в сердечник следующих углеродсодержащих материалов: графита (Гр) электродного (99,6 % С) или серебристого (99 % С), карбида кремния SiC (29,5 % С) и феррохрома углеродистого ФХ800 (8,2 % С).

В порошковых проволоках первой серии содержалось различное количество электродного графита и карбида кремния. При этом их соотношение изменяли таким образом, чтобы массовая доля углерода во всех проволоках данной серии оставалась равной 2 %. В порошковых проволоках второй серии электродный графит в смесях был заменен на серебристый. Порошковые проволоки третьей серии включали смесь электродного графита и ФХ800, их соотношение обеспечивало содержание углерода, равное 1 %.

Состав опытных самозащитных порошковых проволок для определения реакционной способности углерода в углеродсодержащих материалах сердечника порошковой проволоки при наплавке

Компонент сердечника	Расчетный состав порошковой проволоки, мас. %														
	1 серия				2 серия				3 серия						
Графит электродный	0	0,5	1,0	1,5	2,0	—	—	—	—	0	0,25	0,50	0,75	1,0	
Графит серебристый	—	—	—	—	—	0	0,5	1,0	1,5	2,0	—	—	—	—	
Карбид кремния	6,7	5,0	3,3	1,6	0	6,7	5,0	3,3	1,6	0	—	—	—	—	
Феррохром ФХ800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,5	9,4	6,25	3,1	0	
Железный порошок	10,7	11,9	13,1	14,3	15,4	4,9	7,8	10,6	13,6	16,4	10,7	11,9	13,1	14,3	15,4

П р и м е ч а н и я . 1. Диаметр порошковой проволоки равен 2,4 мм; коэффициент ее заполнения $K_a = 25 \%$.

2. Массовая доля остальных компонентов составляет, %: ферромарганца 1,5; ферросилиция 2,0; ферротитана 2,0; алюминиевого порошка 0,6; мрамора 1,2; кремнефтористого натрия 0,3; малоуглеродистой ленты размером 0,4×12 мм.

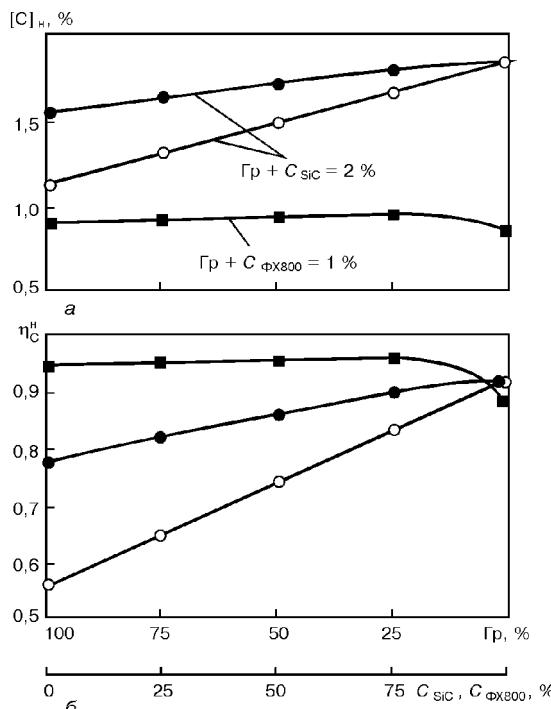


Рис. 1. Влияние углеродсодержащих материалов в сердечнике порошковой проволоки на содержание углерода в наплавленном металле $[C]_w$ (а), а также на коэффициент его перехода η_C^h (б): ●, ■ — электродный; ○ — серебристый графит

чески равны и не зависят от массовой доли связанного углерода в смесях материалов сердечников порошковых проволок. Увеличение содержания электродного графита в сердечнике от 1 до 2 % сопровождается уменьшением значений η_C^h . Это объясняется влиянием графита на равномерность плавления сердечника и оболочки порошковой проволоки.

Скорости плавления сердечника и оболочки порошковой проволоки, содержащей 1 % графита, практически равны между собой. Весь графит растворяется на стадии капли, а потери углерода главным образом обусловлены его взаимодействием с кислородом в поверхностном слое сварочной ванны, согласно полученным данным, не превышают 5...6 %.

При плавлении порошковой проволоки, содержащей 2 % графита, происходит образование на сердечнике выступа, часть графита переходит в ванну, минуя стадию капли. Если учесть, что в результате реакции окисления теряется 5...6 % С, то суммарное значение этих потерь как за счет протекания реакции окисления, так и за счет частиц неусвоенного графита (рис. 1) составляет: 16...17 % — при использовании электродного графита и 37...38 % — в случае серебристого графита.

Содержание углерода в каплях $[C]_k$ и сварочной ванне $[C]_v$ зависит от того, насколько полно взаимодействует электродная капля с углеродсодержащим сердечником. Для подтверждения этому в

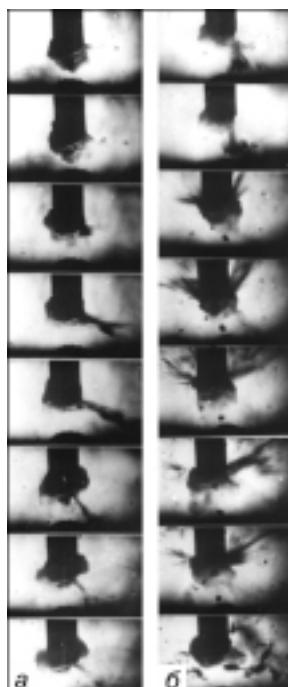


Рис. 2. Кинограмма плавления порошковых проволок с массовой долей углеродного волокна УН-2 в сердечнике 2 (а) и 4 % (б) (частота съемки составляла 2200 кадр/с)

порошковые проволоки вместо графита вводили гидратцеллюлозное углеродное волокно УН-2 (90 % С). В сравнении с электродным графитом оно обладает более низкой смачиваемостью жидким металлом и примерно одинаковой температурой разрушения кристаллической решетки (3600 и около 4000 °С соответственно для УН-2 и графита). Из кинограммы, представленной на рис. 2, видно, что волокно УН-2 выделяется в самостоятельный, малоучаствующий в процессе плавления, компонент сердечника порошковой проволоки, а характер его взаимодействия с жидкими каплями имеет взрывообразный характер. В результате при использовании в сердечнике, который плохо смачивается жидким металлом, углеродсодержащего материала наблюдаются низкие значения $[C]_k$, $[C]_v$ и η_C^h . Улучшение смачиваемости при использовании электродного графита способствует более полному усвоению углерода как на стадии ванны, так и капли. Уменьшение значений коэффициентов перехода углерода в каплю η_C^h и в наплавленный металл η_C^h с увеличением массовой доли графита в порошковой проволоке объясняется возрастанием неравномерности плавления порошкообразного сердечника и металлической оболочки, что сопровождается увеличением длины неоплавившейся части сердечника и частоты его разрушения.

- Кравчиков С. Ю., Жудра А. П., Петров В. В. Современные технологии дуговой наплавки коленчатых валов // Свароч. пр-во. — 1994. — № 5. — С. 4–6.
- Искусственный графит / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Костиков и др. — М.: Металлургия, 1986. — 272 с.

Results of investigations of transfer of carbon into the weld pool during surfacing using self-shielded flux-cored wire are presented. The effect of the type of a carbon-containing material of the flux-cored wire core on peculiarities of melting of this wire, values of the coefficient of transfer of carbon into the deposited metal and its concentration in it has been established.

Поступила в редакцию 21.06.2000



ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Al–Cu–Fe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

**Ю. С. БОРИСОВ, А. Л. БОРИСОВА, доктора техн. наук, М. Т. ПАНЬКО, Л. И. АДЕЕВА, кандидаты техн. наук,
М. В. КОЛОМЫЦЕВ, А. А. ШАХРАЙ, В. Н. СЛАДКОВА, инженеры**
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние методов и условий газотермического напыления на структуру и фазовый состав покрытий из порошков сплава системы Al–Cu–Fe. Показано, что максимальное содержание ψ -фазы в покрытиях можно получить методом воздушно-газового плазменного напыления. При этом газотермические покрытия «наследуют» многофазность исходных порошков. Предварительный подогрев основы перед напылением позволяет увеличить содержание ψ -фазы в покрытиях.

Ключевые слова: газотермическое напыление, порошки, покрытия, структура, квазикристаллическая фаза, сплав Al–Cu–Fe

Многочисленными исследованиями установлено, что сплавы системы Al–Cu–Fe с квазикристаллической структурой обладают комплексом уникальных свойств: высокими твердостью (6...10 ГПа) и

способностью к упругому восстановлению ($H/E > 0,08$) [1], пониженной температуропроводностью (0,5 $\text{мм}^2/\text{с}$) [2], высоким уровнем удельного электросопротивления (7,8...10,5 $\text{мкОм}\cdot\text{см}$) [3], низкой удельной массой (4...5 $\text{г}/\text{см}^3$), повышенной коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения при высокой износостойкости [4, 5]. Однако

Условия газотермического напыления и характеристики газотермических покрытий из порошков сплава Al–Cu–Fe

№ позиции	Метод напыления	Режимы напыления				Характеристика порошка		Температура основы, °C	Характеристика покрытий			
		U , В	I , А	$P_{\text{воздуха}}$, МПа	L , мм	размер частиц, мкм	массовое количество ψ -фазы (Z_ψ), %		толщина покрытия, мкм	HV , ГПа	фазовый состав	Z_ψ , %
1	ВГПН	340	180	0,24	200	80...100	75	20	200	5,1...7,7	ψ , β , сл. CuAl_2O_4	70
2	СВГПН	300	135	0,40	180	20...50	70	20	280	2,5...4,1	β , ψ	30
3	ГПН	$P_{\text{кислорода}} = 0,35 \text{ МПа};$ $P_{\text{пропана-бутана}} = 0,16 \text{ МПа};$ транспортирующий газ – воздух			125...160	75	20	650	–	β	ψ , сл. λ	
4	ГПН					80...100	75	20	650	4,2...5,7	ψ , β , сл. λ	55
5	ГПН					50...80	70	20	1000	4,0...6,0	ψ , β , сл. λ	60
6	ГПН					20...50	70	20	1600	–	ψ , β , сл. λ	55
7	ДН	Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}:$ пропан-бутан – 0,5; кислород – 1,2; воздух – 0,4; дистанция – 100 мм				20...50	70	20	200	2,3...6,1	β , ψ , сл. λ , CuAl_2O_4	15
8	ВГПН	340	180	0,24	200	80...100	55	20	350	4,7...5,1	ψ , β , сл. CuAl_2O_4	50
9	ВГПН	340	180	0,24	200	80...100	45	20	470	5,1...7,4	β , ψ , λ , сл. CuAl_2O_4	20
10	ВГПН	340	180	0,24	200	80...100	30	20	400	5,1...9,1	β , ψ , λ , сл. CuAl_2O_4	20
11	ВГПН	320	180	0,24	220	50...80	70	10	300	2,5...5,1	β , ψ , сл. CuAl_2O_4	45
12	ВГПН	320	180	0,24	220	20...50	55	10	300	2,4...4,6	β , ψ , сл. CuAl_2O_4	20
13	ВГПН	300	140	0,24	200	50...100	50	10	400	2,4...4,0	β , ψ , сл. θ , CuAl_2O_4	25
14	СВГПН	370	180	0,4	220	20...50	70	10	100	2,4...3,8	β , ψ	30
15	СВГПН	380	180	0,4	200	20...50	55	10	100	3,2...5,7	β , ψ , сл. θ	10
16	СВГПН	360	180	0,4	200	50...100	50	10	500	3,0...5,0	β , ψ , сл. θ	40
17	ВГПН	340	180	0,24	160	50...100	50	20	200	2,7...5,4	β , ψ , сл. CuAl_2O_4	40
18	ВГПН	340	180	0,24	160	50...100	50	400	200	3,0...6,4	ψ , β , сл. CuAl_2O_4	55

* Исходные порошки с массовым содержанием ψ -фазы более 50 % – двухфазные ($\psi + \beta$); 30...50 % – трехфазные ($\beta + \psi + \lambda$); менее 30 % – четырехфазные ($\beta + \psi + \lambda + \theta$).



сплавы данной системы не нашли должного применения в виде изделий в результате высокой хрупкости и технологических трудностей их изготовления, требующих во многих случаях высоких скоростей охлаждения ($10^4 \dots 10^6 \text{ К/с}$) при затвердевании из расплава. Поэтому более перспективным направлением решения данной проблемы является нанесение на изделие покрытий с квазикристаллической структурой в первую очередь методами газотермического напыления (ГТН), поскольку именно они характеризуются условиями сверхбыстрого охлаждения ($10^4 \dots 10^6 \text{ К/с}$).

В работе [6] было показано, что в зависимости от технологии изготовления порошков Al–Cu–Fe для ГТН (распылением расплава водой высокого давления или сжатым воздухом, дроблением гранул) и последующего гомогенизирующего отжига содержание квазикристаллической ψ -фазы в исходном порошке может изменяться от 20 до 100 %. При ГТН в этом напыляемом материале возможно изменение химического состава, обусловленное преимущественно испарением алюминия. Однако напыленные покрытия в определенной степени (в зависимости от метода и технологических параметров процесса) могут «наследовать» структуру исходного порошка.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния методов и условий ГТН на структуру и фазовый состав покрытий из порошков сплава системы Al–Cu–Fe с различным содержанием квазикристаллической ψ -фазы в исходном состоянии.

Методы получения, свойства и результаты исследования исходных порошков детально описаны в работе [6], поэтому в данной статье приведен лишь их фазовый состав (таблица).

Газотермические покрытия наносили методами воздушно-газового плазменного напыления (ВГПН) на установке «Киев-7», сверхзвукового воздушно-газового плазменного напыления (СВГПН) на установке «Киев-С», газопламенного напыления (ГПН) на установке УГПН-5 и детона-

ционного напыления (ДН) на установке «Перун-С». Покрытия напыляли на основу из Ст.3. Для активации поверхности перед нанесением покрытий использовали струйноабразивную обработку образцов электрокорундом нормальным марки 14А по ОСТ 2МТ 793–80 зернистостью 63 Н. Режимы ГТН покрытий приведены в таблице.

При ГТН покрытий использовали порошки размером частиц 50...100 (для ВГПН) и 20...50 мкм (для ДН и СВГПН). При ГПН в целях исследования влияния размера частиц на качество покрытий применяли порошки четырех фракций от 20 до 160 мкм (см. таблицу, поз. 3–6).

Фазовый состав и структуру покрытий исследовали с привлечением методов металлографии, микродориометрии, рентгеноструктурного фазового анализа (РСФА).

Металлографические исследования проводили с помощью оптического микроскопа «Неофот-32» на полированных образцах и после электролитического травления в реактиве следующего состава: 20 %-й водный раствор хромовой кислоты – 1000 мл, плавиковая кислота – 20 мл, серная кислота – 15 мл.

Микротвердость газотермических покрытий определяли при нагрузке 0,49 Н на приборе М-400 фирмы «LECO».

Фазовый состав покрытий исследовали на дифрактометре «ДРОН-УМ1» в монохроматизированном излучении CuK_α . Для определения количества ψ -фазы запись рентгенограмм проводили в угловом интервале расположения наиболее сильных дифракционных максимумов основных фаз: $40^\circ < 2\theta < 50^\circ$ [7].

Согласно диаграмме состояния системы Al–Cu–Fe квазикристаллическая икосаэдрическая ψ -фаза ($\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$) может находиться в равновесии с кристаллическими фазами. При температуре ниже 900 °C ψ -фаза, температура образования которой равна 880 °C, находится в равновесии с моноклинной λ -фазой ($\text{Al}_{73}\text{Cu}_5\text{Fe}_{22}$) и расплавом. При температуре 800 °C в равновесии находятся ψ -, λ -, β -фазы

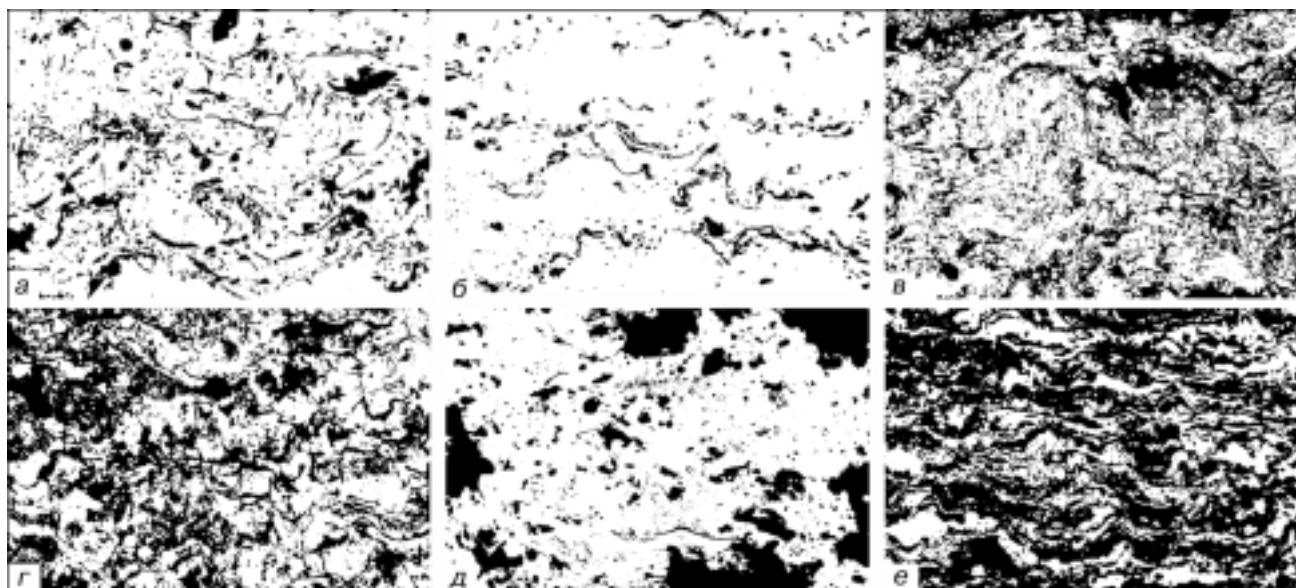


Рис. 1. Микроструктура покрытий, нанесенных методами ВГПН (a, e), СВГПН (b, c), ГПН (d) и ДН (e) на основу из Ст.3 при температуре основы 20 °C ($\times 400$, уменьш. 4/5); a, b, d, e – не травлено; b, c – травлено

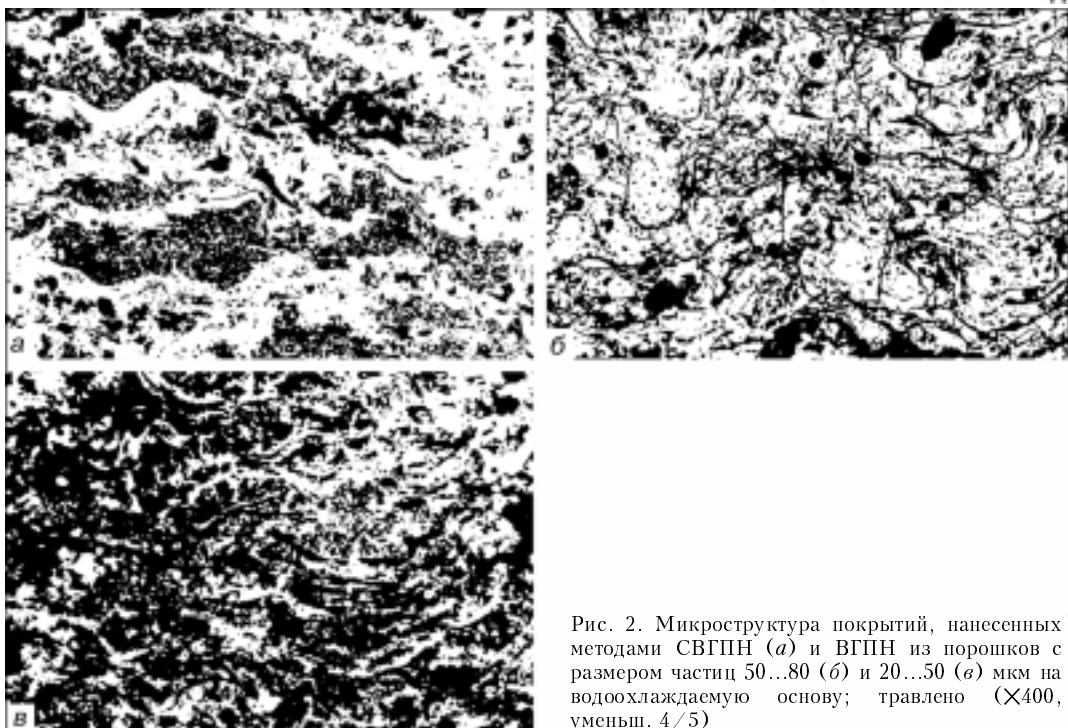


Рис. 2. Микроструктура покрытий, нанесенных методами СВГПН (а) и ВГПН из порошков с размером частиц 50...80 (б) и 20...50 (в) мкм на водоохлаждаемую основу; травлено ($\times 400$, уменьш. 4/5)

и жидкость. Кубическая β -фаза ($Al(Fe, Cu)$) имеет широкую область гомогенности. При температуре 680 °C три кристаллические фазы окружают икосаэдрическую область [8, 9]: λ -, β -фазы и упорядоченная тригональная ψ -фаза с температурой образования 700...720 °C; последняя соответствует составу Al_2Cu_2Fe . Заканчивается затвердевание расплава образованием тетрагональной θ -фазы Al_2Cu .

Указанные кристаллические фазы могут образовываться как в исходных порошках, так и в структуре покрытий при отклонении химического состава газотермических покрытий от заданного состава.

Влияние методов ГПН на формирование структуры исследовали при нанесении покрытий на неохлаждаемую основу с начальной температурой 20 °C (см. таблицу, поз. 1–7).

Технологические режимы плазменного напыления (см. таблицу, поз. 1, 2) выбирали путем:

анализа результатов компьютерного моделирования процессов движения и нагрева частиц напыляемого дисперсного сплава $Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$ в плазменных струях, выполненного с помощью программного обеспечения CASPSP [10];

последующей экспериментальной оптимизации технологических параметров, при которой в качестве показателя эффективности процесса был выбран коэффициент использования напыляемого материала, стремящийся к максимуму, что характеризует наибольшую степень его расплавления.

Полученные плазменные покрытия имеют ламellarную структуру, при этом светлые ламели разделены оксидными прослойками, которые хорошо видны на нетравленых шлифах (рис. 1, а, б). При СВГПН оксидные прослойки очень тонкие, поэтому методом РСФА оксидные фазы в этих покрытиях не обнаруживаются. При ВГПН окисление протекает более интенсивно с образованием сложного оксида $CuAl_2O_4$, следы которого выявлены методом РСФА. Следует отметить, что режимы плазменного

напыления, оптимальные с точки зрения максимального коэффициента использования материала, обеспечивают формирование более плотной структуры покрытий с более высокой степенью деформации напыленных слоев, меньшей долей сферических затвердевших в струе либо нерасплавленных частиц, незначительным количеством оксидных прослоек.

Плазменные покрытия так же, как и исходные порошки, содержат кристаллическую β - и квазикристаллическую ψ -фазу. Последняя выявляется в результате травления в кристаллической матрице в виде твердых и хрупких включений (рис. 1, в, г).

Несмотря на то что массовое содержание ψ -фазы в исходных порошках отличалось незначительно (75 и 70 %), в покрытиях, нанесенных ВГПН, оно уменьшилось всего на 7, а при СВГПН — на 57 %. Такое различие связано, по-видимому, не только с отличием условий напыления, как с более значительными потерями алюминия в связи с использованием при СВГПН порошков более мелкой фракции с большим значением величины активной поверхности, контактирующей с окислительной газовой средой.

При ГПН (см. таблицу, поз. 3–6) независимо от размера частиц используемого порошка не удалось получить качественных покрытий. Покрытия отличались низкой когезионной прочностью, в связи с чем наблюдалось выкрашивание отдельных частиц при изготовлении шлифа (рис. 1, д). В покрытиях, кроме ψ - и β -фаз, методом РСФА обнаружены следы λ -фазы, которая отсутствовала в исходном порошке. Максимальное массовое содержание ψ -фазы (60 %) получено при использовании порошков с размером частиц 50...80 мкм, что соответствует снижению ее содержания по сравнению с исходным приблизительно на 14 %. В отдельных случаях оно составляет от 20 до 40 %.

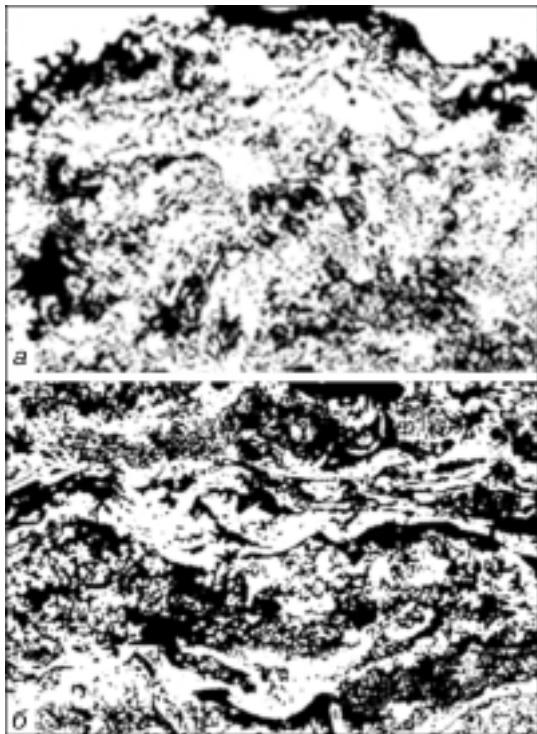


Рис. 3. Микроструктура покрытий, нанесенных методами ВГПН на основу из Ст.3 при температуре основы 20 (а) и 400 (б) °С; травлено ($\times 400$, уменьш. 4/5)

При ДН (см. таблицу, поз. 7) образуется плотная мелкозернистая структура с большим содержанием оксидов, напоминающая структуру СВГПН покрытий, однако отличающаяся большей толщиной оксидных прослоек на границах ламелей (рис. 1, е). Оксидная фаза CuAl_2O_4 четко выявляется методом РСФА в отличие от СВГПН покрытий, где обнаружены лишь ее следы. Количество квазикристаллической ψ -фазы в покрытии невелико (~15 %).

Таким образом, в результате исследования влияния методов ГТН на фазовый состав покрытий из сплава Al–Cu–Fe установлено, что максимальное содержание квазикристаллической ψ -фазы может быть получено при использовании метода ВГПН.

Влияние фазового состава исходного порошка на структуру и фазовый состав напыленных покрытий исследовали с использованием метода на примере ВГПН. Покрытия напыляли на одном и том же режиме (см. таблицу, поз. 1, 8–10), но при этом брали порошки с разным содержанием квазикристаллической ψ -фазы. Установлено, что покрытия «наследуют» многофазность исходных порошков: $\psi + \beta$ (см. таблицу, поз. 1, 8), либо $\beta + \psi + \lambda$ (см. таблицу, поз. 9, 10), при этом содержание ψ -фазы в покрытиях в первом случае уменьшается на 7...10, во втором — на 30...50 %. Во всех случаях методом РСФА в покрытиях обнаружены следы оксидов CuAl_2O_4 .

Для исследования влияния температуры на формирование покрытий была проведена серия экспериментов по напылению порошков на охлаждаемую основу путем периодической подачи воды на ее поверхность, а также при предварительном подогреве основы. Покрытия на охлаждаемую основу наносили методами ВГПН (см. таблицу, поз. 11–13) и СВГПН (см. таблицу, поз. 14–16) с использованием

порошков с разным содержанием ψ -фазы (70, 55 и 50 %).

Установлено, что интенсивное охлаждение основы приводит не к увеличению, а наоборот, к снижению содержания в покрытиях квазикристаллической ψ -фазы. Так, при ВГПН в случае охлаждения основы количество ψ -фазы в покрытии примерно на 35 % меньше, чем в исходном порошке (см. таблицу, поз. 11), а без охлаждения всего на 7 % (см. таблицу, поз. 1). Максимальное снижение содержания ψ -фазы (почти на 80 %) отмечено при СВГПН на охлаждаемую основу при нанесении порошка с размером частиц 20...50 мкм (см. таблицу, поз. 15). Применение при СВГПН порошков более крупных фракций (50...100 мкм) позволяет увеличить как толщину покрытия до 500 мкм (см. таблицу, поз. 16), так и содержание ψ -фазы в покрытии с 10 до 40 %. Характерно, что при этом трещин в покрытии не обнаружено (рис. 2, а).

Иная картина наблюдается при дозвуковом плазменном напылении. При толщине покрытия ≥ 300 мкм и массовом содержании хрупкой ψ -фазы 45 % (см. таблицу, поз. 11) в нем образуются трещины (рис. 2, б), хотя при меньшем содержании ψ -фазы (~20 %) (см. таблицу, поз. 12) и такой же толщине покрытия трещины в нем отсутствуют (рис. 2, в).

Предварительный подогрев основы позволяет увеличить содержание ψ -фазы в покрытии. Так, при ВГПН без подогрева основы (см. таблицу, поз. 17) содержание ψ -фазы в покрытии по сравнению с порошком уменьшилось с 50 до 40 %, а при подогреве до 400 °С — возросло с 50 до 55 % (см. таблицу, поз. 18). Кроме того, подогрев основы способствует формированию более качественной однородной структуры, без пор и трещин (рис. 3). По всей вероятности предварительный подогрев основы способствует переходу метастабильной β -фазы в стабильную ψ -фазу. Подобное явление наблюдали авторы работы [8] при нанесении покрытий из Al–Cu–Fe — сплава на малой дистанции (76 мм) при условии, если покрытие в результате напыления тело не более 8 ат. % Al.

Сравнивая фазовый состав исходных порошков и газотермических покрытий, можно отметить следующее. При нанесении двух- ($\psi + \beta$) или трехфазных ($\psi + \beta + \lambda$) порошков покрытия в основном «наследуют» их качественный состав. Количественное соотношение отдельных фаз зависит в основном от температурных условий формирования структуры, а в ряде случаев (например, при детонационном напылении) и образования оксидных фаз. При напылении четырехфазного порошка (см. таблицу, поз. 10) низкотемпературная θ -фаза (Al_2Cu) в покрытии не обнаружена. По всей видимости, она полностью окислилась с образованием CuAl_2O_4 . В тоже время θ -фаза, отсутствующая в исходном двухфазном ($\psi + \beta$)-порошке, образуется в СВГПН покрытии при нанесении на водоохлаждаемую основу.

Твердость напыленных покрытий определяется их структурой и фазовым составом. Максимальная твердость отмечена у плазменных покрытий с высоким содержанием ψ -фазы (см. таблицу, поз. 1),



либо λ -фазы (см. таблицу, поз. 9, 10), полученных методом ВГПН.

Для детонационных покрытий (см. таблицу, поз. 7) наблюдается большой разброс значений микротвердости, при этом максимальные значения достаточно высоки, несмотря на низкое содержание (15 %) ψ -фазы. По-видимому, это объясняется плотной мелкодисперсной структурой и большим содержанием оксидной фазы в покрытии.

Выводы

1. Газотермические покрытия из Al–Cu–Fe сплава в значительной степени наследуют фазовый состав исходного порошка. Для получения покрытий с высоким содержанием квазикристаллической ψ -фазы необходимо использовать порошки с преобладанием в них этой фазы.

2. Метод дозвукового воздушно-газового плазменного напыления, который позволяет формировать покрытия из порошков достаточно крупных фракций (80...100 мкм), обеспечивает минимальные потери ψ -фазы при напылении, однако при этом в покрытии появляются следы оксидов. При СВГПН используются порошки более мелкой фракции (20...50 мкм), поэтому потери легкоплавкого алюминия и снижение содержания ψ -фазы в покрытии более значительны. С другой стороны окисление покрытия при этом методе практически не происходит.

3. Использованные в работе условия ГПН и ДН не позволили получить покрытия из сплава Al–Cu–Fe с достаточно высоким качеством. В первом случае наблюдается высокая пористость и низкая когезионная прочность покрытий, во втором — высокое содержание оксидов.

4. Предварительный подогрев основы до 400 °C позволяет повысить содержание ψ -фазы в ВГПН

покрытии по сравнению с таковыми в исходном порошке на 10 %.

1. Mechanical properties of quasicrystalline and crystalline phases in Al–Cu–Fe alloys / U. Koeaster, W. Liu, H. Liebertz, M. Michel // J. of Non-Crystalline Solids. — 1993. — № 153, 154. — P. 446–452.
2. Hume-rothery phase with constant e/a value and their related electronic properties in Al–Cu–Fe (–Cr) quasicrystalline systems / C. Dong, A. Perrot, J. M. Dubois, E. Belin // Mater. Science Forum. — 1994. — Vol. 150, 151. — P. 403–416.
3. Proximity of a metal-insulator transition in icosahedral phases of high structural quality / T. Klein, C. Berger, D. Mayou, F. Cyrot-Lackmann // Phys. Rev. Lett. — 1991. — № 66, № 22. — P. 2907–2910.
4. Dubois J. M., Kang S. S., Massiani Y. Application of quasicrystalline alloys to surface coating of soft metals // J. of Non-Crystalline Solids. — 1993. — № 153, 154. — P. 443–445.
5. Friction and wear behavior of thermal sprayed Al–Cu–Fe quasicrystal coatings / S. Palo, S. Usmani, S. Sampath et al. // Thermal Spray: A United Forum for Scientific and Technological Advances, Materials Park. — Ohio, USA. — 1997. — P. 135–139.
6. Получение порошков системы Al–Cu–Fe для газотермического напыления покрытий с квазикристаллической структурой и исследование их свойств / Ю. С. Борисов, М. Т. Панько, Л. И. Адесева и др. // Автомат. сварка. — 2001. — № 1. — С. 45–50.
7. Sordelet D. J., Besser M. F., Anderson I. E. Particle size effects on chemistry and structure of Al–Cu–Fe quasicrystalline coatings // J. of Thermal Spray Technology. — 1996. — 5, № 2. — P. 161–174.
8. Microstructure and wear behavior of quasicrystalline thermal sprayed coatings / D. J. Sordelet, P. D. Krotz, R. L. Daniel, M. F. Smith // Proc. of the 8th national thermal spray conf., 11–15 Sept. 1995, Houston, Texas. — P. 627–631.
9. The phase diagram and structures of the ternary Al–Cu–Fe system in the vicinity of the icosahedral region / D. Gratas, Y. Calvayrac, J. Devaud-Rzepski et al. // J. of Non-Crystalline Solids. — 1993. — № 153, 154. — P. 482–488.
10. Борисов Ю. С., Кривицун И. В., Мужиченко А. Ф. Компьютерные программы для моделирования процесса плазменного напыления CASPSP (Версия 2.0) // Автомат. сварка. — 1998. — № 12. — С. 73.

The effect of methods and conditions of thermal spraying on structure and phase composition of coatings of Al–Cu–Fe powders has been investigated. It is shown that the maximum content of the ψ -phase in coatings is provided by the method of air-gas plasma spraying. With this method the thermal spray coatings inherit the multiphase content of initial powders. Preheating of the substrate prior to spraying allows an increase in the ψ -phase content of the coatings.

Поступила в редакцию 25.05.2000



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ СВАРНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

С. Е. СЕМЕНОВ, А. А. РЫБАКОВ, В. И. КИРЬЯН, Т. Н. ФИЛИПЧУК, Л. В. ГОНЧАРЕНКО

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

В. М. ВАСИЛЮК, Р. В. КЛИМОНЧУК (ГАО «Магистральные нефтепроводы «Дружба», г. Львов),

М. В. СТЕЦЬКИВ, Ф. С. ВЛАСЮК (ГАО «Приднепровские магистральные нефтепроводы», г. Кременчуг)

Приведены результаты комплексных исследований образцов труб, вырезанных из нефтепроводов, включающие гидравлические трубной секции до разрушения. Установлено сравнительно слабое влияние факторов длительного силового нагружения на механические свойства и ресурс пластичности материалов, а также сохранение высокой конструкционной прочности обследованных трубопроводов после длительной эксплуатации.

Ключевые слова: трубопровод, эксплуатация, материал, состояние, старение, исследование, гидравлические испытания, механические свойства

Для правильной оценки опасности явлений старения важное значение имеет накопление информации о реальном состоянии металла длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. В связи

с этим от проложенных по территории Украины нефтепроводов были отобраны и исследованы образцы основного металла и сварных соединений. Анализ результатов проведенных исследований изложен в работе [1]. Поскольку в других подобных исследованиях [2–4] содержатся иные оценки последствий старения материалов трубопроводов, це-

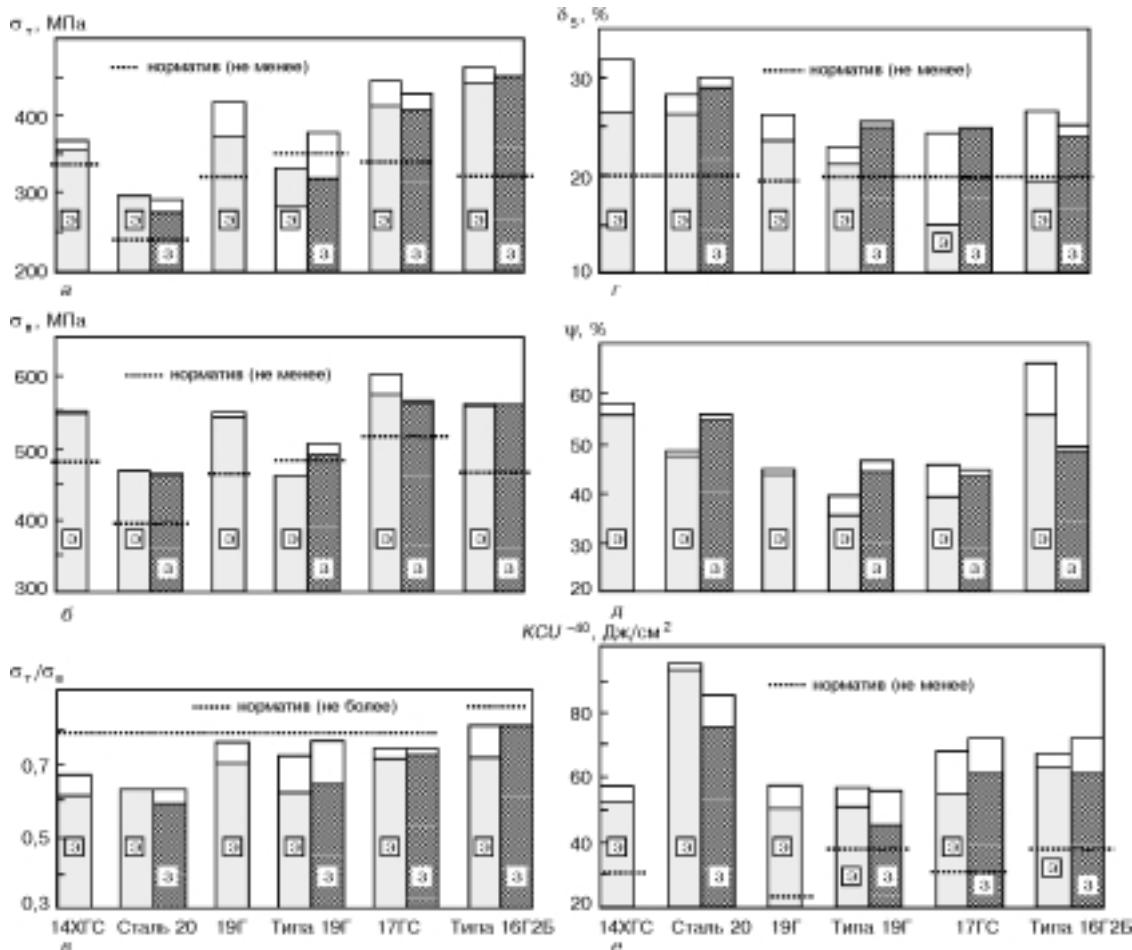


Рис. 1. Характеристики механических свойств основного металла исследованных труб (*a–e*); Э — трубы после эксплуатации; 3 — трубы аварийного запаса; светлая зона — область разброса значений

© С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков, В. И. Кирьян, Т. Н. Филипчук, Л. В. Гончаренко, В. М. Василюк, Р. В. Климончук, М. В. Стеськив, Ф. С. Власюк, 2001

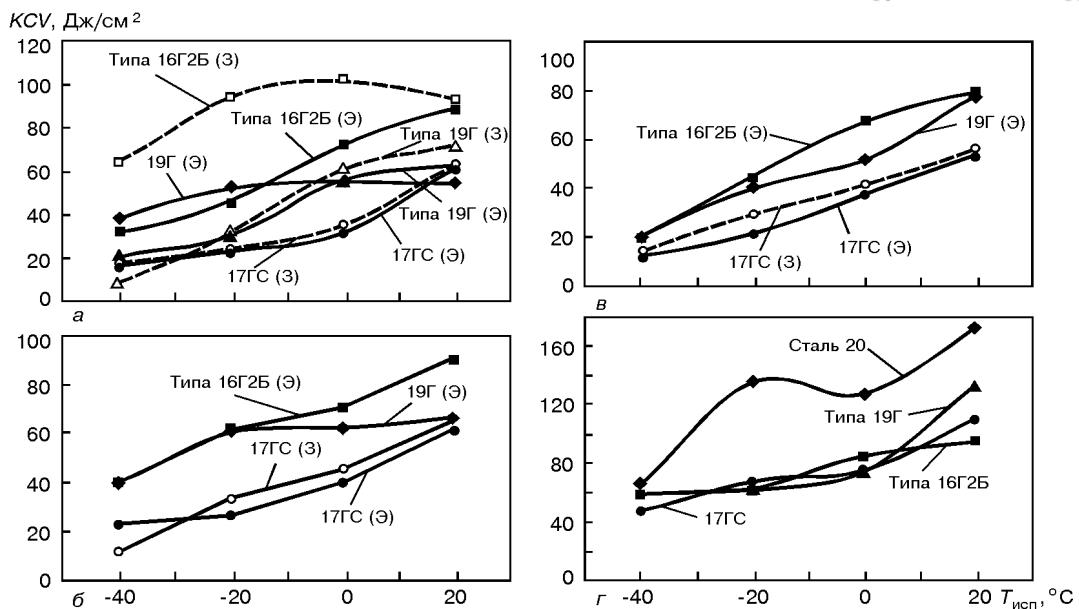


Рис. 2. Ударная вязкость металла исследованных образцов труб (а–в) (а – основной металл; б – металл шва; в – металл шва кольцевых монтажных соединений (г))

Таблица 1. Механические свойства металла сварных швов исследованных труб

Испытуемый материал	Размер труб, мм, сталь	σ_t , МПа	σ_b , МПа	σ_t/σ_b	δ_5 , %	ψ , %	KCU^{-40} , Дж/см ²
Металл шва заводских продольных сварных соединений	720×9, 17ГС	441,2	560,8	0,78	23,0	54,0	60,4
	720×8, типа 16Г2Б	523,7	652,7	0,80	26,7	63,7	74,3
	720×8, 19Г	422,5	544,5	0,80	20,9	54,5	72,5
Металл шва монтажных кольцевых сварных соединений	720×9, 17ГС	474,7	602,5	0,78	29,0	54,2	101,7
	377×9, сталь 20	—	—	—	—	—	110,0
	720×8, типа 16Г2Б	443,4	548,1	0,81	25,7	61,5	62,8
	720×9, типа 19Г	400,7	555,3	0,72	27,4	70,3	101,7
	720×8, 19Г	383,7	541,5	0,70	22,1	61,8	50,4

Таблица 2. Механические свойства основного металла отдельных патрубков секции, подвергнутой гидравлическому испытанию

Размер труб, мм, сталь	Степень раздачи патрубка, %	σ_t , МПа	σ_b , МПа	σ_t/σ_b	δ_5 , %	ψ , %	KCU^{-40} , Дж/см ²	KCV^{20} , Дж/см ²
720×8, 19Г	1,24	430,3	515,8	0,83	20,17	44,9	84,2	79,5
	1,72	428,2	505,7	0,85	18,6	44,2	58,7	67,8
	1,98	453,3	519,6	0,86	23,6	39,9	56,7	48,0
720×8, 14ГН	1,63	438,3	500,6	0,87	24,2	42,4	48,3	38,8
	2,98	453,3	519,6	0,87	18,5	40,6	42,3	35,0

лесообразно более детальное рассмотрение отдельных аспектов изучаемой проблемы.

В настоящей статье приведены сведения преимущественно о механических свойствах исследованных образцов материалов. Результаты исследований, касающиеся других свойств материалов, будут изложены в самостоятельных работах.

Исследовали основной металл горячекатаных бесшовных и сварных прямошовных труб диаметром 377...720 мм, изготовленных на предприятиях бывших СССР, ЧССР и Франции, а также заводские и монтажные сварные соединения этих труб. Бесшовные трубы представлены образцами из сталей 20 (производства ЧТПЗ) и типа 19Г (производ-

ства трубного завода ЧССР). Исследовали также образцы, вырезанные из горячепротяженных и экспандированных сварных труб, изготовленных Челябинским и Харцызским заводами, а также трубным заводом Франции из стали марок 19Г, 17ГС, 14ГН, 14ХГС, типа 16Г2Б. Все нефтепроводы, из которых отбирали образцы, проработали длительное время — от 20 до более 35 лет.

Оценивали соответствие механических свойств металла нефтепроводов после длительного периода эксплуатации (а также труб аварийного запаса) нормативным требованиям, установленным к трубам в исходном состоянии, и соответственно изменение различных показателей свойств металла под



Таблица 3. Механические свойства металла швов сварных соединений труб, подвергнутых гидравлическому испытанию

Испытуемый материал	Размер труб, мм, сталь	Степень раздачи патрубка, %	σ_t , МПа	σ_b , МПа	σ_t/σ_b	δ_5 , %	ψ , %	KCU^{-40} , Дж/см ²
Металл шва продольных сварных соединений	1,24	407,5	521,5	0,78	21,8	51,9	60,6	
	1,98	419,8	536,0	0,79	20,0	49,0	62,0	
	1,63	395,0	517,8	0,77	21,8	53,0	66,6	
	2,98	420,3	537,0	0,79	20,0	50,9	70,8	
Металл шва монтажных кольцевых сварных соединений	1,98	497,3	577,7	0,83	19,3	54,4	59,6	

действием длительных эксплуатационных нагрузок.

Характеристики труб в исходном состоянии в зависимости от наличия данных определяли на основе анализа требований нормативно-технической документации (НТД), статистической обработки сертификатов, литературных данных и архивных материалов.

Проведенные исследования показали, что в основном контролируемые параметры (химический состав стали, механические свойства и микроструктура основного металла и металла продольных и кольцевых монтажных сварных соединений) соответствовали нормативным требованиям и мало отличались либо предопределялись исходным состоянием материала.

Результаты испытаний (рис. 1) показали, что характеристики механических свойств образцов основного металла исследованных труб из различных марок стали после длительной эксплуатации находятся в поле разброса аналогичных показателей металла труб в исходном состоянии (в основном в пределах стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения показателя). При этом, как правило, все контролируемые характеристики металла труб после длительной эксплуатации удовлетворяют нормативным требованиям. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении металла труб аварийного запаса, подвергшегося естественному старению в течение длительного вылеживания. Исключение составили бесшовные трубы из стали типа 19Г диаметром 720 мм производства ЧССР, металл которых имеет пониженные по сравнению с НТД и сертификатными данными показатели предела текучести и временного сопротивления разрыву, а также одна из испытанных сварных труб диаметром 720 мм производства ЧТПЗ из стали 17ГС с относительным удлинением основного металла менее 20 %. Однако эти отклонения можно объяснить нарушением технологии изготовления стали, что привело к формированию аномальной структуры стали 17ГС или к недостаточному базовому легированию стали типа 19Г. Обнаружено также повышение по сравнению с сертификатными данными отношения σ_t/σ_b металла труб из стали типа 16Г2Б. Следует иметь в виду, что данная сталь изготовлена в период освоения промышленной технологии контролируемой прокатки, поэтому нельзя исключить возможность чрезмерного упрочнения металла отдельных партий при прокатке с интенсивным обжатием в $\gamma-\alpha$ температурной области. Вместе с тем, вопросы возможного изменения механических свойств трубной ста-

ли, упрочняемой путем термомеханической обработки, под влиянием факторов, которые способствуют старению металла, заслуживают более глубокого изучения.

Температурные зависимости ударной вязкости металла исследованных образцов (рис. 2) характеризуются постепенным уменьшением ее значения по мере понижения температуры, что достаточно типично и для аналогичных трубных сталей в исходном состоянии. При электронно-фрактографических исследованиях поверхностей изломов не выявлены признаки межзеренного разрушения, которые также могли бы свидетельствовать о развитии достаточно опасных явлений старения металла. Металл всех исследованных сварных соединений как продольных, так и кольцевых характеризуется достаточно высокими прочностными, пластическими и вязкими свойствами (табл. 1, рис. 2), в целом типичными для применявшимся при изготовлении труб и монтаже трубопроводов технологий сварки.

Следовательно, полученные данные свидетельствуют о сравнительно слабом влиянии факторов длительного силового нагружения либо естественного старения на материал нефтепроводных труб.

Неразрушающий контроль и анализ макрошлифов кольцевых сварных соединений показал, в частности, что в металле швов в значительном количестве имеются технологические дефекты в виде смещения кромок, непроваров, скоплений шлаковых включений и пор. Однако, как установлено при металлографических исследованиях, развитие дефектов в условиях нагружения при эксплуатации не наблюдалось. Не зафиксировано также упрочнения металла вблизи дефектов шва, что свидетельствовало бы о накоплении локальных пластических деформаций.

Таким образом, в процессе длительной эксплуатации ни один из определяемых показателей механических свойств (σ_t , σ_b , δ_5 , ψ , KCU^{-40} , KCV^0) материала нефтепроводов не претерпел значительных изменений под влиянием эксплуатационных нагрузок либо долговременного вылеживания без силовых воздействий. Все показатели отвечают требованиям НТД, а наблюдаемые отклонения от норм σ_t , σ_b , δ_5 основного металла отдельных труб обусловлены соответствующими особенностями структурных характеристик исходных сталей и несовершенством технологий на этапе их изготовления.

Представляют интерес результаты проведенных гидравлических испытаний образцов труб из сталей 19Г и 14ГН, вырезанных из действующего нефтепровода, после длительного периода эксплуатации.

В ходе испытания секция, составленная из патрубков с вмятинами различного размера и конфигурации, разрушилась по телу патрубка из стали 14ГН вне зон вмятин и сварных швов при давлении 10,69 МПа, что значительно превышает проектное рабочее давление в нефтепроводе. При этом значении давления напряжение в патрубке составило 511,1 МПа, что соответствует нормативному пределу прочности стали. Разумеется, что, исключая собственно зону разрыва, состояние предразрушения было достигнуто только в разрушившемся патрубке испытательной секции. Критическая деформация тела трубы к моменту потери пластической устойчивости (образования зоны разрыва), оцениваемая по увеличению периметра вне зоны разрыва, составляет примерно 3 %, что в целом близко к аналогичному показателю труб рассматриваемого периода производства.

В других патрубках секции при гидроиспытаниях металл также подвергался довольно значительному холодному пластическому деформированию. Изучение характеристик металла нагруженной испытанной секции позволяет получить некоторое представление о «запасах работоспособности» металла длительно эксплуатировавшихся трубопроводов. Как показали дальнейшие испытания (табл. 2), дополнительная холодная пластическая деформация, значение которой (при оценке по увеличению периметра трубы) составило 1,24...2,98 %, привела к закономерному повышению значений σ_t , σ_t/σ_b и некоторому снижению значений δ_5 , ψ основного металла труб. Так, если в трубах после длительной эксплуатации отношение σ_t/σ_b , оцениваемое по средним значениям, для разных марок стали, исключая сталь типа 16Г2Б, находилось в пределах 0,63...0,76, то после деформирования в ходе гидравлического испытания оно повысилось до 0,83...0,87. Сравнительные значения относительного удлинения соответственно составили 20,6...28,8 и 18,5...24,2 %, а относительного сужения — 45,5...55,5 и 39,9...44,9 %.

Значения ударной вязкости металла испытанной секции превышают нормативные требования, однако, снижается уровень ударной вязкости на «верхней полке» ее температурной зависимости. Наблюдается также более резкий переход от вязкого к хрупкому состоянию материала при понижении температуры.

Принято считать, что литой металл, отличающийся повышенной неоднородностью и неравновесностью структурного состояния, более склонен к старению, нежели металл, подвергаемый последующей горячей деформации либо улучшающей термообработке. Как отмечалось выше, механические свойства металла исследованных швов трубопроводов не претерпели существенных изменений в процессе длительных эксплуатационных воздействий. Кроме того, дополнительное нагружение с остаточной деформацией патрубков также существенно не отразилось на механических свойствах металла продольного шва сварных соединений труб (табл. 3). Можно отметить тенденцию упрочнения и снижения таких показателей, как относительное удлинение и относительное сужение металла шва.

Тем не менее, значения относительного удлинения остаются практически на уровне требований, предъявляемых к основному металлу. Относительно слабая реакция металла швов на раздачу труб в упругопластической области нагружения внутренним давлением, очевидно, связана с повышенной местной жесткостью и, следовательно, обусловлена меньшим деформированием металла шва по сравнению с металлом тела трубы.

В то же время отмечается более ощутимое влияние величины деформации патрубка на снижение ударной вязкости металла ЗТВ продольных сварных соединений. Так, при увеличении остаточной деформации по периметру трубы из стали 14ГН с 1,63 до 2,98 % ударная вязкость металла ЗТВ снижается в 1,5...2 раза. Даже в состоянии предразрушения основного металла ударная вязкость металла ЗТВ при температуре 0 °C и выше имеет значения более 40,0 Дж/см².

Проведенные исследования позволяют заключить, что материал обследованных труб и сварных соединений после длительной эксплуатационной наработки сохранил близкие к начальным ресурсы пластичности и вязкости. Об этом достаточно убедительно свидетельствуют результаты проведенных гидравлических испытаний и оценка на их основе показателей механических свойств металла в предельном состоянии. Для достижения состояния предразрушения материал длительно эксплуатируемых труб потребовалось подвергнуть значительному холодному пластическому деформированию, что сопровождалось закономерным упрочнением металла. Можно предположить, что фактор интенсивности воздействий, в частности деформационных, если речь идет о влиянии деформационного старения, имеет наиболее существенное значение для развития явлений деградации служебных свойств металла труб.

Таким образом, длительная надежная эксплуатация магистральных нефтепроводов, если иметь в виду сохранение работоспособности основных несущих конструктивных элементов линейной части — металла труб и сварных соединений, представляется вполне возможной. Однако необходимо строго соблюдать нормативные условия нагружения трубопроводов, не допускать возникновения нештатных ситуаций, приводящих к перегрузкам, интенсивным циклическим и другим воздействиям, что в итоге может сопровождаться образованием деформированных зон и очагов разрушения.

Важно также не выпускать из поля зрения опасность предшествующих периоду эксплуатации возможных интенсивных технологических воздействий на материал, что наиболее характерно для местных зон нарушения формы, поверхностных надавов, раскатки, отклонения от регламентируемых условий сварки и пр. Как уже отмечалось [1], особое значение для обеспечения надежной эксплуатации трубопроводов имеет предупреждение образования, своевременное выявление и устранение различных опасных дефектов и повреждений, в зонах которых под действием приложенных нагрузок и агрессивных сред могут происходить значительные изменения

ния в материале, способствующие возникновению разрушений.

Полученные результаты представляют определенный интерес также с точки зрения методологии оценки состояния материала действующих трубопроводов. Для отслеживания понижения работоспособности либо наступления предаварийных ситуаций необходимы соответствующие критерии оценки. К наиболее надежным из них следует отнести характеристики сопротивления разрушению, в том числе показатели трещиностойкости. Достаточно полезную информацию можно получать в ходе изучения деформационных (геометрических), структурных характеристик, поведения дефектов и др. К оценке результатов стандартных механических свойств с точки зрения их соответствия нормативным требованиям следует подходить с определенной осторожностью.

Исследования металла труб после гидравлического испытания свидетельствуют о том, что низкие

пороговые нормативные уровни ударной вязкости (это особенно присуще трубам условного диаметра до 1000 мм) не позволяют надежно гарантировать удовлетворительное состояние трубного металла после длительной эксплуатации. Необходимы дополнительные оценки для установления действительного состояния металла.

1. О старении и методологии оценки состояния металла эксплуатируемых магистральных трубопроводов // Б. Е. Патон, С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 7. — С. 3–12.
2. Прогнозирование остаточного ресурса прочности магистральных газонефтепроводов с учетом продолжительности эксплуатации / Ю. И. Пашков, Ю. И. Анисимов, Г. А. Лапчаков и др. // Стр-во трубопроводов. — 1996. — № 2. — С. 2–5.
3. Лапчаков Г. А., Степаненко А. И., Пашков Ю. И. Влияние времени эксплуатации на ресурс прочности трубопроводов // Газ. пром-сть. — 1994. — № 3. — С. 11–12.
4. Старение труб нефтепроводов / А. Г. Гумеров, Р. С. Зайнулин, К. Н. Ямалеев, А. В. Росляков. — М.: Недра, 1995. — 216 с.

Results of integrated investigations, including hydraulic tests of oil pipelines until their fracture, are given. Comparatively small effect of factors of long-term forced loading on the mechanical properties and ductility margin of materials and also the preserving of high structural strength of long-serviced pipelines examined were stated.

Поступила в редакцию 26.09.2000



Всероссийская конференция с международным участием

СВАРКА И КОНТРОЛЬ-2001 Перспективные пути развития

18–20 сентября 2001 г.
г. Воронеж

ТЕМАТИКА

- ❖ Теория сварочных процессов, конструкционные и сварочные материалы, сварные конструкции
- ❖ Технология и оборудование сварки плавлением, наплавки и резки
- ❖ Технология и оборудование сварки давлением
- ❖ Технология и оборудование сварки и смежных технологий с использованием концентрированных источников нагрева
- ❖ Технология и оборудование для поверхностного упрочнения и нанесения покрытий
- ❖ Методы и средства контроля и диагностики сварных соединений
- ❖ Автоматизация и компьютеризация сварочных процессов
- ❖ Сертификация продукции, оборудования, технологии, сварочных материалов и персонала в сварочном производстве

Тел./факс: (0732) 716559, E-mail:alex@mk.vrn.ru

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФИРМЫ «СЭЛМА» И ЕГО СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ДСТУ ISO 9001–95 (Фрагменты системы качества)

Е. А. КОПИЛЕНКО, Г. В. ПАВЛЕНКО, Н. В. ЧМЫХОВ, Т. И. САМОХИНА, инженеры
(ОАО Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА», г. Симферополь),
В. И. ЮМАТОВА, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описан опыт применения системы качества, сертифицированной на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001, при метрологическом обеспечении серийного производства сварочного оборудования на Электромашиностроительном заводе «Фирма СЭЛМА».

Ключевые слова: сертификация, система качества, метрологическое обеспечение, калибровка, средства измерительной техники, испытательное оборудование, аттестация

Закон Украины «Про метрологію та метрологічну діяльність» определяет правовые основы обеспечения единства измерений в Украине, регулирует общественные отношения в сфере метрологической деятельности и направлен на защиту граждан и национальной экономики от последствий недостоверных результатов измерений [1].

Для обеспечения единства измерений и осуществления метрологического контроля и надзора на фирме «СЭЛМА» создано бюро метрологии и измерительной техники (БМИТ), на которое возложено выполнение всех задач и функций по метрологическому обеспечению деятельности предприятия [2–5]. Метрологическая служба фирмы зарегистрирована в территориальном органе Госстандарта и имеет лицензию Государственного комитета Украины по стандартизации, метрологии и сертификации на право проведения калибровки средств измерительной техники (для радио-, электро-, температурных, геометрических измерений), измерения давления, а также ведомственной поверки.

Основными задачами БМИТ являются:

выполнение работ по анализу состояния средств измерительной техники (СИТ) и обеспечению требуемой точности измерений во всех подразделениях предприятия;

внедрение в практику современных методов и СИТ;

проведение метрологической аттестации нестандартизированного испытательного оборудования (ИО);

проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации;

проведение работ по метрологическому обеспечению подготовки производства;

определение оптимальной номенклатуры и планирование внедрение средств и методик выполнения

измерений, испытаний и контроля, отвечающих современным требованиям науки и техники;

объективный контроль качества продукции и повышение производительности труда;

контроль за состоянием и применением средств измерительной и испытательной техники, соблюдением метрологических норм и правил.

Для выполнения изложенных выше задач и обязанностей в БМИТ входят следующие группы:

проверки (калибровки) СИТ;

разработки, изготовления и обслуживания нестандартизированного ИО;

метрологической экспертизы, надзора и учета.

Персонал БМИТ имеет специальную подготовку, квалификацию и опыт работы по проведению поверок, аттестации СИТ и ИО в соответствующей области измерений. Каждый специалист БМИТ имеет должностную инструкцию, устанавливающую функции, обязанности, права и ответственность, требования к образованию и опыту работы в соответствии с требованиями ДСТУ ISO 9001–95 [6].

Все работы по метрологическому обеспечению регламентированы Положением о метрологической службе Симферопольского ОАО Электромашиностроительного завода «Фирма СЭЛМА», утвержденным его генеральным директором и согласованы с Крымским государственным центром стандартизации, метрологии и сертификации. Согласно указанному Положению БМИТ проводит организационно-технические мероприятия, направленные на обеспечение требуемой точности измерений характеристик изделий, узлов, деталей, материалов, сырья, параметров технологических процессов и оборудования. Оно выполняет анализ оснащенности СИТ технологических процессов изготовления продукции. В ходе такого анализа БМИТ проверяет соответствие СИТ требованиям точности контроля основных параметров изделий, узлов, деталей, регламентированных в технологической и другой нормативной документации, а также возможность с помощью этих средств своевременно воздействовать



Рис. 1. Метрологическая аттестация измерительного оборудования

на ход производственного процесса. Совместно со службами снабжения БМИТ принимает участие в обеспечении технологических процессов наиболее совершенными СИТ.

При возникновении необходимости в специализированных средствах контроля в процессе изготовления и испытания изделий на заводе разрабатывается и выпускается нестандартизированное ИО специального узкоотраслевого назначения. В соответствии с метрологическими характеристиками изделий ИО подвергается метрологической аттестации (рис. 1) комиссией завода с обязательным участием представителя метрологической службы и допускается к применению только при соответствии программы, предусматривающей оценку полноты и правильности способов выражения метрологических характеристик. Вместе с этим определяется также объем и периодичность аттестации.

БМИТ совместно со службами отделов главного конструктора и главного технолога проводит метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации. При этом анализируются и оцениваются технические решения по выбору параметров изделий и подлежащих контролю процессов, требований к точности средств и методов измерений с целью гарантии получения достоверных результатов измерений с необходимой точностью.

Все виды работ с СИТ (регистрация, передвижение, корректировка информации, сведения о калибровке и т. п.) проводятся с помощью специально разработанной компьютерной программы метрологического обеспечения. По ней выдается оперативная информация о месте нахождения СИТ, всех его метрологических характеристиках; ФИО работника, эксплуатирующего СИТ или ИО; периодичности и дате последней и очередной калибровки, поверки, аттестации. При несвоевременной калибровке выдаются служебные записки на имя руководителей цехов, участков с указанием конкретных СИТ и ИО, подлежащих изъятию из эксплуатации и направлению на калибровку.

Работники БМИТ систематически вносят в компьютерную базу данных сведения о поверке, ремонте СИТ и ИО согласно протоколам калибровок и поверок, проводят корректировку их очередных сроков. Контроль правильности и своевременности внесения данных, выполнения графиков поверки и



Рис. 2. Ведомственная поверка приборов

калибровки осуществляется ежемесячно начальником БМИТ по компьютерным распечаткам данных.

Ежегодно с помощью компьютера составляются календарные графики поверки и калибровки СИТ и аттестации нестандартизированного ИО, которые утверждаются техническим директором завода. Графики поверки в территориальном органе Госстандарта разрабатываются на основе перечня СИТ, составленного БМИТ согласно Закону о метрологии и согласованного с органом государственной метрологической службы, утверждаются техническим директором завода и согласовываются с соответствующими отделами территориального органа Госстандарта. Годовой план-график проведения метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации составляется БМИТ на основании представляемых отделом главного конструктора и главного технолога данных о номенклатуре изделий, документация которых подлежит метрологической экспертизе, согласовывается с подразделениями-разработчиками документации и предоставляется на утверждение техническому директору не позднее 25 декабря текущего года. Работы по метрологическому обеспечению производства осуществляются по разрабатываемым БМИТ ежемесячным планам, утверждаемым директором по качеству.

Порядок выполнения работ изложен в методике качества «Метрологическое обеспечение» и регламентирован рабочими инструкциями «Порядок проведения метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации» и «Порядок проведения аттестации испытательного оборудования специального назначения». В этих же документах изложены требования к отчетности и порядок работы с протоколами поверки и калибровки СИТ и аттестации ИО. Ведомственная поверка приборов показана на рис. 2.

Такое состояние метрологического обеспечения при проектировании, производстве, монтаже и техническом обслуживании продукции гарантирует уверенность в правильности решений и действий, основанных на результатах измерений и испытаний, и соответствует требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001–95. Оно явились одним из условий внедрения и сертификации системы качества предприятия и подтверждено сертификатом на систему качества серийного производства сварочного оборудования ОАО Электромашиностроительным заводом «Фирма СЭЛМА», за-

регистрированным в Государственном реестре системы УкрСЕПРО под № UA2.021.112 от 18 января 2000 г.

1. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 11.02.1998. — № 113/98-ВР. — К.: Держстандарт України, 1998.
2. ДСТУ 2681-94. Метрология. Термины и определения. — Введ. 01.01.1995.

Experience of application of the quality assurance system certified to meet requirements of DSTU ISO 9001 for metrological ensuring of mass production of welding equipment at the Machine-Building Factory, i.e. Company "SELMA", is described.

3. ДСТУ 2682-94. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения. — Введ. 01.01.1995.
4. ДСТУ 2708-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. — Введ. 07.01.2000.
5. ГОСТ 24555-81. Порядок аттестации ИО. Основные положения. — Введ. 01.01.1982.
6. ДСТУ ISO 9001-95. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании. — Введ. 11.09.1995.

Поступила в редакцию 22.12.2000,
в окончательном варианте 15.01.2001

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ НАУКОЕМКИХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

Международная научно-техническая конференция

25–26 октября 2001 г.

Могилев, Беларусь



ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство образования Республики Беларусь

Могилевский областной исполнком
Национальная академия наук Беларуссии
Могилевский государственный технический университет

ТЕМАТИКА

- ❖ прогрессивные технологические процессы, оборудование и их автоматизация
- ❖ технология получения и обработки новых материалов и покрытий

- ❖ методы автоматизированного расчета и проектирования высокоеффективных механических передач для приводов технологического оборудования и оснастки
- ❖ ресурсосберегающие технологии в металлообработке
- ❖ автоматизация проектирования высокоеффективных технологических процессов, оборудования, инструмента и средств технологического оснащения
- ❖ высокоеффективные технологии и машины сварочного производства
- ❖ прогрессивные технологические машины и комплексы
- ❖ проектирование, производство и эксплуатация транспортных средств
- ❖ ресурсосберегающие технологии в строительстве, строительные материалы и конструкции
- ❖ новые энерго- и ресурсосберегающие технологии дорожного строительства
- ❖ информационно-измерительная техника контроля и диагностики
- ❖ автоматизация технологических процессов на базе автоматизированных электроприводов, роботехнических комплексов и микропроцессорных систем управления
- ❖ прогрессивные направления моделирования рабочих процессов, конструирование и диагностирование строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин
- ❖ механизм и методы повышения эффективности субъектов хозяйствования в условиях трансформации экономики

ОРГКОМИТЕТ

Могилевский государственный технический университет

Беларусь 212005 Могилев, просп. Мира 43

тел.: (0222) 23 64 22; тел./факс: (0222) 25 80 91

E-mail: jsk@mgtu.mogilev.unibel.by



РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДНОКАТКОВЫХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПЛАВКИ

В. К. КАЛЕНСКИЙ, канд. техн. наук, **В. И. ДВОРЕЦКИЙ**, д-р техн. наук, **В. М. БУГА**,
А. В. СЕМЕНИХИН, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны порошковые проволоки для наплавки под флюсом рабочих поверхностей катков и плит однокатковых опорных частей (ОКОЧ) мостов слоем высокопрочной стали марки 30Х13МН, стойкой против атмосферной коррозии. Технология изготовления ОКОЧ с применением наплавки позволяет повысить их долговечность в три раза и уравнять ее со сроком службы моста. Промышленное производство ОКОЧ организовано на предприятиях ИЭСим. Е. О. Патона.

Ключевые слова: наплавка, материалы, мосты, однокатковые опорные части, коррозионно-стойкие высокопрочные контактные поверхности, технология, производство

Согласно данным отечественной и зарубежной статистики, средний срок службы мостов составляет около 100 лет, а их опорных частей (ОЧ) — не превышает 30 лет. Последние приходится заменять не менее трех раз, что является дорогостоящей, а с учетом огромной массы мостовых пролетов, и чрезвычайно трудоемкой операцией.

До сих пор при строительстве большепролетных мостов применялись в основном многокатковые ОЧ, для которых не гарантировались коэффициент трения качения, технологическая прочность, твердость и коррозионная стойкость контактных поверхностей. В результате при длительной эксплуатации изменялся характер опирания пролетных строений на ОЧ, подвижные ОЧ заклинивали, менялась расчетная схема сооружения, появлялись дефекты на опорах и в пролетах.

Простейшими по конструкции и самыми современными по функциональной способности являются однокатковые опорные части (ОКОЧ), состоящие из двух опорных плит и катка между ними (рис. 1). Однако применение ОКОЧ в СНГ ограничивалось из-за низкой несущей способности углеродистых и низколегированных сталей, рекомендуемых СНиП 2.05.03-84 для их изготовления.

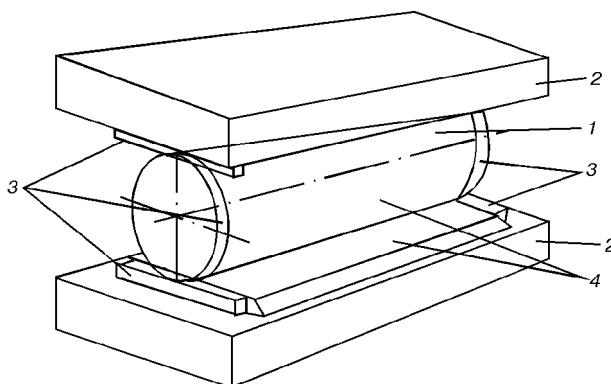


Рис. 1. Схема ОКОЧ: 1 — каток; 2 — опорные плиты; 3 — противоугонные устройства; 4 — рабочие поверхности качения

© В. К. Каленский, В. И. Дворецкий, В. М. Буга, А. В. Семенихин, 2001

В основу данной разработки положена идея получения рабочих контактных поверхностей ОКОЧ при помощи наплавки высокопрочной сталью, обеспечивающей высокие значения твердости и имеющей достаточную стойкость против атмосферной коррозии. Применение таких ОКОЧ, отличающихся высокой надежностью, низким коэффициентом трения, малой металлоемкостью и минимально возможной строительной высотой, позволит увеличить срок их службы примерно в три раза и уравнять его со сроком эксплуатации моста.

Эта идея впервые была реализована в Германии, где заготовки катков и плит ОКОЧ из низкоугле-

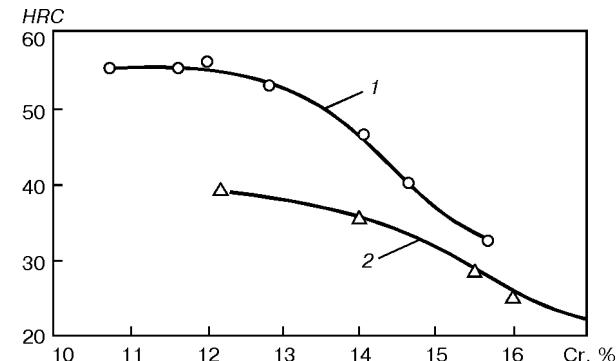


Рис. 2. Влияние хрома на твердость сталей: 1 — наплавленный металл (0,3 % С); 2 — закаленный прокат (0,1 % С)

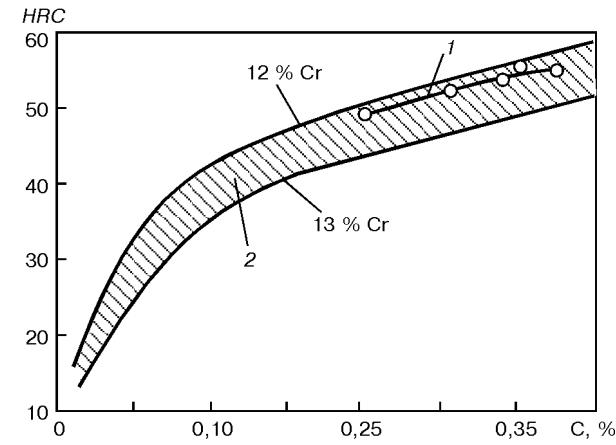


Рис. 3. Влияние углерода на твердость хромистых сталей: 1 — наплавленный металл; 2 — закаленный прокат

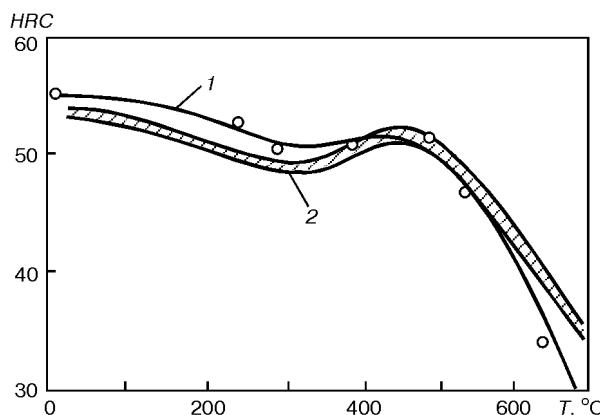


Рис. 4. Влияние температуры отпуска на твердость хромистых сталей: 1 — наплавленный металл 30Х13МН; 2 — прокат из стали 30Х13

родистой стали наплавляли в аргоне электродными проволоками, содержащими 12...17 % хрома [1].

При разработке отечественного варианта технологии было решено изготавливать заготовки ОКОЧ из стали 09Г2С, а наплавку выполнять под флюсом порошковыми проволоками из хромистых сталей двумя слоями: пластичным — промежуточным и высокопрочным — рабочим.

Чтобы свести к минимуму выгорание легирующих элементов при наплавке, использовали малоактивный низкокремнистый флюс АН-72 [2], обеспечивающий хорошее формирование наплавленных валиков и отличную отделимость шлаковой корки. Опыты по наплавке осуществляли на аппарате А-874Н с независимой подачей проволоки на постоянном токе при обратной полярности. Использовали источник питания с жесткой внешней характеристикой. Режим наплавки следующий: $I = 300\ldots380$ А, $U = 30\ldots32$ В, $v_n = 30$ м/ч.

Промежуточный слой наплавляли в три прохода опытной порошковой проволокой 07Х15 на узкие грани пластин размером 90×300×400 мм, подогретых до 280 °C. Твердость наплавленного металла составила $HRC 25$, а ударная вязкость — 27 Дж/см².

Задача заключалась в том, чтобы создать порошковую проволоку для наплавки коррозионно-стойкого рабочего слоя, имеющего высокую твердость ($HRC 48\ldots52$) и прочность ($\sigma_t = 1200\ldots1500$ МПа). Такие показатели обеспечивают мартенситные хромистые стали, закаливающиеся на воздухе [3, 4]. Для уточнения характера влияния хрома и углерода на твердость наплавленного металла изготовили серию опытных порошковых проволок с 11...16 % Cr и 0,1...0,4 % C и выполнили их наплавку. Согласно результатам измерений твердости (рис. 2 и 3), за основу состава рабочего слоя был принят наплавленный металл типа 30Х13.

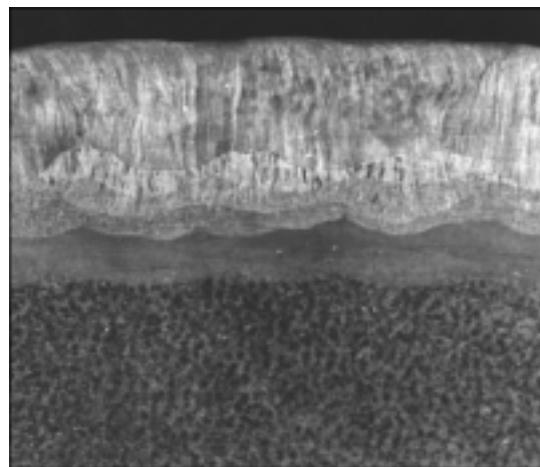


Рис. 5. Макроструктура наплавленного образца

Стали этого типа склонны к образованию трещин при закалке, сварке и наплавке [5, 6]. Поэтому методом математического планирования экспериментов проведена оптимизация химического состава рабочего слоя, в ходе которой оценивали два его критерия: твердость и трещиностойкость. Были изготовлены порошковые проволоки, обеспечивающие получение наплавленного металла в пределах заданных планом составов, %: 0,15...0,30 С; 11...15 Cr; 0,2...0,5 Ni; 0...0,2 Ti; при 0,45 Mn, 0,5 Si и 1,0 Mo.

Для определения твердости и трещиностойкости на промежуточный слой из стали 07Х15 на узкие грани указанных пластин наплавляли валики в два прохода по ширине и в пять проходов по высоте. Трещиностойкость оценивали по 12-балльной системе визуально (в зависимости от количества и протяженности трещин). В результате поиска оптимального состава на ЭВМ был получен глобальный экстремум состава наплавленного металла, содержащего (%) 0,24 С, 12,5 Cr, 0,35 Ni, 0,018 Ti при 0,45 Mn, 0,5 Si и 1,0 Mo и обеспечивающего твердость примерно $HRC 50$ при полном отсутствии трещин. Полученные данные позволили разработать порошковую проволоку марки ПП-АН 165 (ПП-Нп-30Х13МН), обеспечивающую получение наплавленного металла, состав которого близок к оптимизированному. Проволока для наплавки промежуточного (буферного) слоя получила обозначение ПП-АН 166 (ПП-Нп-07Х15). Упомянутые проволоки были изготовлены и использованы для последующих опытов.

Наплавку выполняли на указанном режиме в шесть проходов (по три проволоками марки ПП-Нп-07Х15 и марки ПП-Нп-30Х13МН) под флюсом АН-72. Из рабочего слоя вырезали образцы для исследований. Химический состав рабочего слоя следующий.

Таблица 1. Механические свойства наплавленного металла 30Х13МН в зависимости от температуры отпуска

Температура отпуска, °C	Ударная вязкость, Дж/см ²	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твердость HRC верхнего слоя
300	17	1292	1397	2,6	5,9	48
350	30	1301	1336	5,3	23,3	48
400	41	1364	1463	5,8	16,0	49
490	12	1186	1366	4,0	8,0	49

Таблица 2. Твердость HRC наплавленного металла

Наплавленный металл	Расстояние от поверхности, мм	Исходное состояние после наплавки	После отпуска при 400 °C
30Х13МН	1	50	50
	2	50	50
	3	51	49
	4	49	49
	5	48	48
	6	45	45
	7	45	44
	8	37	37
	9	30	30
	10	28	26
	11	27	26
	12	26	25

Таблица 3. Скорость общей коррозии образцов, мм/год

Исследуемый металл	Камера соляного тумана	Камера влажности	Камера SO ₂
30Х13МН	0,033	0,0015	0,0011
20Х13	0,348	0,0078	0,0168
40Х13	0,200	0,0075	0,0165
Сталь 45	1,280	0,2860	0,4300

Таблица 4. Значения коррозионных потенциалов наплавленного и основного металлов

Исследуемый металл	Значение потенциала E _k , мВ
09Г2С	-580
07Х15	-370
30Х13МН	-390
08Х18Н10Т	-240

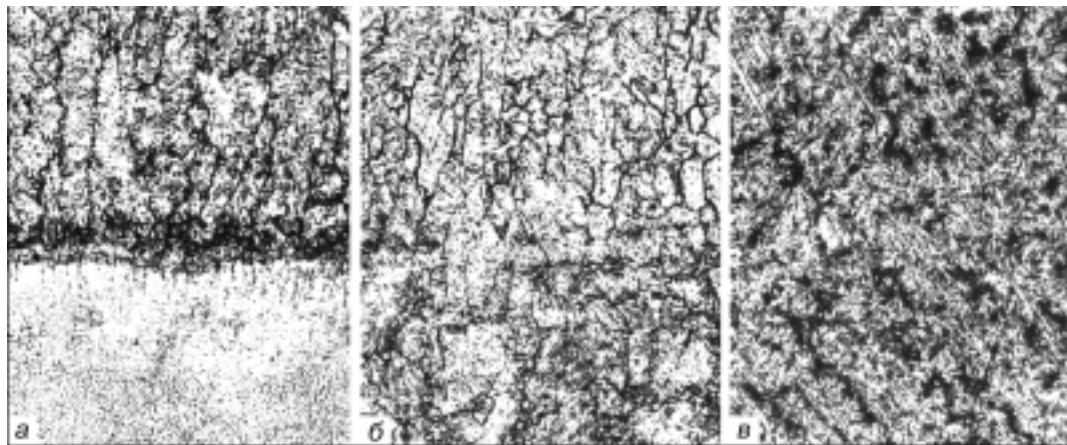


Рис. 6. Микроструктура (уменьш. 4/5) наплавленного образца: *a* — граница сплавления с основным металлом ($\times 200$); *b* — граница сплавления 07Х15 и 30Х13МН ($\times 200$); *c* — наплавленный металл 30Х13МН ($\times 400$)

дующий, %: 0,26 С; 0,59 Si; 0,46 Mn; 12,53 Cr; 0,52 Ni; 0,81 Mo; 0,015 Ti; 0,016 S; 0,018 P.

Часть образцов подвергли отпуску в интервале температур 250...650 °C. Длительность отпуска составляла 1 ч, охлаждение с печью. Результаты измерения твердости отпущенных образцов приведены на рис. 4, из которого видно, что наплавленный металл отличается повышенной устойчивостью против снижения твердости. При 500 °C зафиксировано небольшое вторичное повышение твердости вследствие выделения специальных карбидов. Для сравнения на графике показана твердость близкой по составу катаной стали.

Результаты механических испытаний металла рабочего слоя приведены в табл. 1. Из нее следует, что наилучших показателей твердости, ударной вязкости, прочности и пластичности наплавленный металл достигает после отпуска при 400 °C.

На рис. 5 приведен макрошлиф наплавленного образца. Структура металла, особенно трех верхних проходов, имеет выраженный транскристаллитный характер. Какие-либо дефекты в металле наплавленного слоя и ЗТВ не обнаружены. Распределение твердости по толщине наплавленного слоя показано в табл. 2.

Микроструктура наплавленного металла приведена на рис. 6. Зона сплавления наплавленного металла 07Х15 с основным (рис. 6, *a*) характеризуется повышенной травимостью вследствие скопления в ней мелкодисперсных карбидов, образующих карбидную гряду вдоль границы сплавления. Со сто-

роны основного металла к границе примыкает обезуглероженная полоска феррита, а ниже видна мелкозернистая ферритно-перлитная структура. Структура наплавленного металла 07Х15 у границы сплавления — ферритная с мелкодисперсными выделениями карбида хрома.

На рис. 6, *b* показана граница сплавления наплавленных металлов 07Х15 и 30Х13МН. Структура 07Х15 (низ) состоит из ферритной матрицы с дисперсными карбидами хрома и перистыми выделениями сорбита, а 30Х13МН (верх) — из мартенсита отпуска, δ-феррита и дисперсных выделений карбидов.

Во втором и третьем проходах наплавленного металла 30Х13МН (рис. 6, *c*) количество участков δ-феррита уменьшается, а содержание мартенсита увеличивается. Максимальная микротвердость ($HV 0,5\ldots 4410$ МПа) характерна для верхнего слоя наплавки.

Стойкость наплавленного металла 30Х13МН против общей коррозии в атмосферных условиях оценивали в сравнении со стойкостью проката из сталей 20Х13, 40Х13 и стали 45*. Для исследования образцы размером 2×10×60 мм подвешивали в камерах соляного тумана (аэрозоль из 3%-го раствора NaCl в воде), повышенной влажности и с сернистым газом. Испытания проводили круглосуточно в течение 1000 ч при температуре 35...40 °C с заменой среды через 15 сут. Из табл. 3 следует, что наплав-

*Работу по изучению коррозионной стойкости наплавленного металла выполнили Г. Е. Боева, Е. П. Лось, В. А. Горбань.

Таблица 5. Стойкость наплавленного металла против коррозионного растрескивания после отпуска

Температура отпуска, °C	Нагрузка, кН	Время до разрушения, ч
300	5,0	595,0
	7,5	14,5
350	5,0	>1000,0
	7,5	>1000,0
400	5,0	>1000,0
	7,5	>1000,0
400	5,0	>1000,0
	7,5	860,0

ленный металл 30Х13МН во всех трех камерах кородировал намного медленнее, чем остальные. Согласно 10-балльной шкале коррозионной стойкости (ГОСТ 13819–86) наплавленный металл можно отнести к «весьма стойким».

Для оценки вероятности протекания электрохимической коррозии в зоне сплавления наплавленного металла с основным были проведены измерения потенциалов этих металлов, которые осуществляли по методике ускоренного определения электрохимической гетерогенности металла под каплей электролита из 3%-го раствора NaCl [7]. Замеры потенциалов производили на образцах размером 3×10×60 мм, вырезанных перпендикулярно наплавленной поверхности. Результаты измерений представлены в табл. 4. Для сравнения в ней приведен также коррозионный потенциал стали 08Х18Н10Т.

Из таблицы видно, что разность потенциалов металлов 09Г2С и 07Х15 равняется -210 мВ, 09Г2С и 30Х13МН составляет -190 мВ. В случае образования дефектов в зоне сплавления такая разность потенциалов может стать причиной прогрессирующей коррозии. Поэтому зоны сплавления основного и наплавленного металлов следует покрывать долговечными ингибиторами.

Определение склонности наплавленного металла 30Х13МН к коррозионному растрескиванию проводили в колесе переменного смачивания в 3%-м растворе NaCl по ГОСТ 26294–84. Испытывали образцы размером 2×10×120 мм, вырезанные из верхнего слоя, наплавленные на оптимальном режиме и отпущенные при 300, 350, 400 и 490 °C. Их устанавливали в скобах и нагружали по четырехточечной схеме усилием 5,0 и 7,5 кН. Результаты испытаний приведены в табл. 5. Из таблицы следует, что при температуре отпуска 400 °C обеспечиваются хорошие показатели.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили правильность выбора наплавочных материалов, режимов наплавки и термической обработки.

Технологическая схема изготовления катков и плит ОКОЧ выглядит следующим образом.

Предварительно обработанные заготовки катков и плит, размеры которых зависят от нагрузки на ОКОЧ, нагревают до 200...220 °C. Наплавку промежуточного слоя осуществляют проволокой ПП-Нп-07Х15 под флюсом АН-72 в 2...3 прохода по высоте продольными валиками с челночным перемещением сварочной головки. Для наплавки рабо-

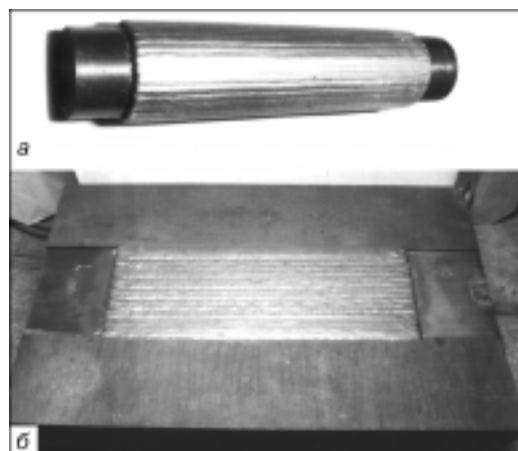


Рис. 7. Заготовки ОКОЧ после наплавки: *а* — каток диаметром 212 мм; *б* — плита

чего слоя заготовки подогревают до 250...300 °C. Наплавку выполняют, как правило, в три прохода по высоте проволокой ПП-Нп-30Х13МН. Режим наплавки указан выше.

Затем заготовки подвергают отпуску при 390...410 °C в течение 1 ч с охлаждением в печи. После остывания до 200 °C возможно их дальнейшее охлаждение на воздухе.

Наплавленные и отпущеные заготовки для изготовления ОКОЧ под вертикальную нагрузку 13 кН показаны на рис. 7.

Далее производят механическую обработку заготовок по чертежу. Толщина наплавленного слоя после механической обработки должна составлять не менее $0,1R - 2,0$ мм (R — радиус катка).

Контроль качества осуществляют после шлифовки наплавленных поверхностей катков и плит методами ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии. Трешины не допускаются. Наличие пор и шлаковых включений не должно превышать установленных норм.

Готовые наплавленные катки и плиты считаются качественными, если твердость контактных поверхностей составляет $HRC 48...53$, а на глубине $0,04R$ от контактных поверхностей — не менее $HRC 45$.

Для проверки разработанных материалов, технологии и конструкции были изготовлены опытные ОКОЧ с диаметром катка 90 мм. Их установили для испытаний в пролетном строении экспериментального кольца ВНИИЖТ. Систематическое наб

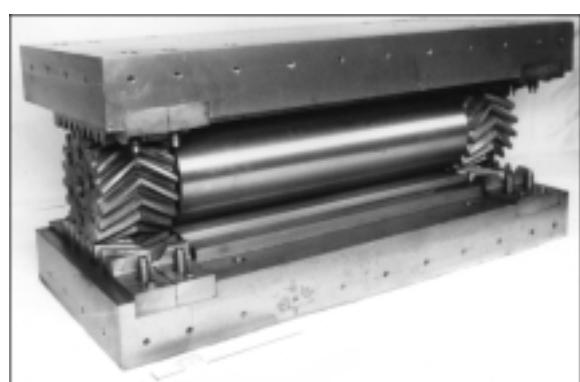


Рис. 8. Одна из готовых ОКОЧ, установленных под пролеты моста через р. Урал

людение не зафиксировало в них каких-либо дефектов, что позволило сделать вывод о правильности разработанного технического решения и приступить к производству ОКОЧ с катками диаметром 212...250 мм.

Однокатковые опорные части с наплавленными по описанной технологии рабочими поверхностями были изготовлены и установлены под пролетные строения сооружений следующих объектов:

Южного мостового перехода через р. Днепр в г. Киеве;

автодорожного моста через р. Чусовую у г. Перми;

первых двух мостов через реки Малая и Большая Каюковка мостового перехода через Большую Волгу у г. Саратова;

автодорожного моста через р. Урал в г. Уральске (рис. 8).

Flux-cored wires for submerged-arc surfacing of working surfaces of rollers and plates of one-roller supporting parts (ORSP) of bridges with a layer of high-strength steel of the 30Kh13MN grade, which is resistant to atmospheric corrosion, have been developed. The technology of manufacture of ORSP using surfacing allows their life to be extended 3 times to make it equal to the life of the bridge. Plants of the E.O.Paton Electric Welding Institute manufacture ORSP on the commercial scale.

В настоящее время производство ОКОЧ организовано на предприятиях Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

1. Packeiser W. Auftragschweissen von Brueackenlagern mit Chromstal // Industrie-Anzeiger. — 1973. — № 23. — S. 452–482.
2. Буга В. М. Низкокремнистый флюс для дуговой и электроплаковой наплавки // Автомат. сварка. — 1980. — № 6. — С. 58–61.
3. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургиздат, 1959. — Т. 1. — 496 с.
4. Гуляев А. А. Металловедение. — М.: Оборонгиз, 1963. — 464 с.
5. Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей. — Киев: Техника, 1975. — 375 с.
6. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
7. Эванес Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. — М.: Машгиз, 1962. — 856 с.

Поступила в редакцию 23.06.2000,
в окончательном варианте 20.07.2000

СЛОИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ— 2001

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

24–28 сентября 2001

Россия, Волгоград

Тематика

- 
- ❖ физико-химические основы соединения разнородных материалов
 - ❖ математическое моделирование и механика композиционных материалов
 - ❖ автоматизированные методы проектирования композиционных материалов, узлов
 - ❖ структура и свойства слоистых композиционных материалов
 - ❖ технология получения слоистых композиционных материалов
 - ❖ технологическое оборудование и методы контроля

Тел.: (8442) 34 99 41, 34 06 42, 34 16 00.
факс: (8442) 34 99 41,
E-mail: lysak@vstu.ru, weld@vstu.ru

МЕХАНИЗМЫ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, В. Г. ПИЧАК, В. Б. СМОЛЯРКО, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности создания механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе квазиволновых преобразователей. Показано, что достигаемое в импульсе максимальное значение ускорения может быть существенно повышено путем каскадного включения нескольких модуляторов или изменения частоты модулирующих импульсов. Определены условия, при которых конструкции механизмов будут оптимальны с точки зрения как их изготовления, так и регулирования выходных параметров. Сформулированы основные принципы конструирования новых типов механизмов импульсной подачи, учитывающие особенности их установки в дуговое механизированное оборудование.

Ключевые слова: дуговая механизированная сварка, наплавка, перенос металла, импульсное управление, разрызгивание, формирование шва, механизм подачи, импульс движения, параметры импульсов, преобразование движения, конструкция

Дуговые механизированные процессы сварки и наплавки плавящимся электродом, осуществляемые в защитных газах с использованием самозащитных порошковых электродных проволок, по-прежнему остаются основными в сварочном производстве, а также при восстановлении и упрочнении узлов и деталей. В связи с этим их совершенствование является актуальной проблемой, подходы к решению которой могут быть разнообразны и основываться на использовании новых материалов, защитных сред, а также новых способов управления переносом электродного металла.

Управление переносом электродного металла является одним из самых эффективных способов совершенствования дуговых механизированных процессов, который может быть реализован при использовании импульсного воздействия источника питания дуги и импульсной подачи электродной проволоки. Следует отметить, что применение управляемой импульсной подачи электродной проволоки, осуществляющееся при помощи специальных механизмов, технически проще, чем с использованием импульсного источника питания дуги. Это позволяет значительно снизить показатели разрызгивания электродного металла, расширить диапазоны толщин свариваемого или наплавляемого металла, а также влиять на формирование сварного шва, качество его металла и металла околосшовной зоны. Основной задачей, которую необходимо решать при этом, является выбор механизма рациональной конструкции и с определенными техническими и технологическими возможностями. Одним из наиболее совершенных механизмов этого типа является механизм с преобразованием вращательного движения вала приводного электродвигателя в импульсное вращение подающих роликов (механизм с квазиволновым преобразователем —

КВП). Этот механизм, в отличие от ранее описанных [1], в том числе и с односторонними захватами, имеет достаточный ресурс работы, а также специфические особенности по формированию импульсов определенных параметров, обеспечивающих ускорение движения электродной проволоки в импульсе для принудительного переноса капель электродного металла в ванну. Однако рассмотренные ранее конструкции механизмов импульсной подачи электродной проволоки этого типа имеют некоторые ограничения относительно формирования импульсов заданных параметров, связанные с используемыми в данных механизмах техническими решениями. В последнее время разработан, изготовлен и испытан ряд модификаций механизмов импульсной подачи с КВП, позволяющих существенно расширить их технические и технологические возможности для использования в дуговом механизированном оборудовании.

Целью настоящей работы является рассмотрение новых модификаций механизмов импульсной подачи на основе КВП с регулированием параметров импульсов для дальнейшего совершенствования дуговых механизированных процессов сварки и наплавки путем обеспечения принудительного переноса электродного металла без дополнительных технологических затрат.

В работе [2] описана конструкция механизма импульсной подачи электродной проволоки с применением КВП, где скорость импульсного вращения подающего ролика ω_p определена в виде

$$\omega_p = \left[-\frac{e}{R} \pm \frac{e}{b} \frac{\cos(\varphi_1 - \alpha)}{\cos \alpha} \right] \omega_1, \quad (1)$$

где e — эксцентриситет; R — радиус центральной шестерни; b — длина опорного рычага; α — угол наклона опорной плоскости; φ_1 — текущее значение угла поворота эксцентрика; ω_1 — частота вращения вала приводного электродвигателя.

Интегрируя выражение (1), при известном значении диаметра подающего ролика D_p можно получить значение ускорения движения электродной проволоки в импульсе подачи a_s в виде

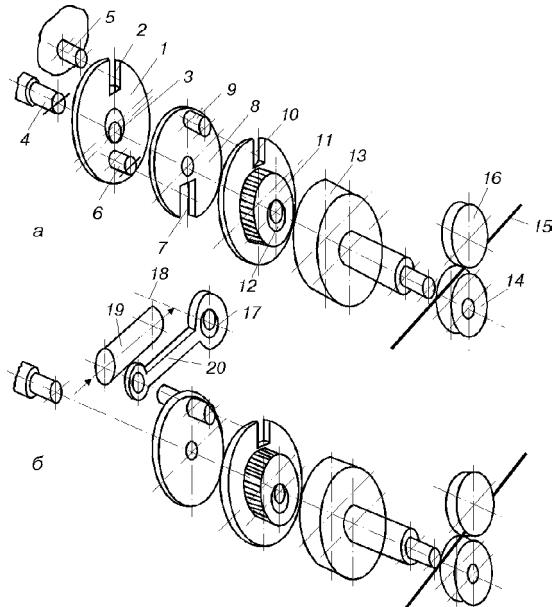


Рис. 1. Механизм импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП с двумя модуляторами, имеющими одинаковые (а) и разные (б) частоты вращения

$$a_3 = \frac{D_p}{2} \left[\frac{e \sin(\phi_1 - \alpha)}{b \cos \alpha} \right] \omega_1^2. \quad (2)$$

Из анализа выражений (1) и (2) следует, что регулирование формы импульса подачи может быть осуществлено путем изменения значений b и α при заранее конструктивно выбранных параметрах механизма e , R . Частота импульсов подачи у рассматриваемого механизма зависит от параметра ω_1 , а ее максимальный уровень определяется паспортным номинальным значением частоты вращения вала приводного электродвигателя.

Опыт практического конструирования и использования механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП показывает, что существуют определенные граничные условия выбора параметров конструктивных элементов, а также условия, при которых данный механизм еще можно рассматривать как достаточно простой в изготовлении и регулировании параметров импульсного вращения подающего ролика.

Рассмотрим эти условия. Прежде всего отметим, что эксцентрикитет e и радиус центральной шестерни R практически не могут быть выполнены регулируемыми. Они задаются из соображений обеспечения необходимых значений интегральной скорости подачи электродной проволоки, поскольку соотношение e/R определяет передаточное отношение механизма в целом. Кроме того, эксцентрикитет стремится сделать минимально возможным, что определяется условиями обеспечения минимальных вибраций механизма, зависящих как от значения e , так и от массогабаритных характеристик сателлита.

Длину b рычага можно конструктивно сделать регулируемой, так как не требуется осуществлять это регулирование в процессе работы. Подстройка длины b может быть произведена после первых пробных попыток сварки на требуемых режимах при определенном шланговом держателе.

Техническую проблему представляет создание регулятора угла наклона α опорной плоскости. После ряда попыток разработать такой регулятор с приемлемым диапазоном регулирования мы пришли к выводу, что наиболее рациональным решением конструкции регулятора является выбор определенного фиксированного значения угла наклона α , которое по условиям функционирования рассматриваемого механизма не может превышать 45° . Указанными регулировками исчерпываются возможности упомянутых механизмов на основе КВП. В ряде случаев, например сварка в CO_2 длинной дугой, сварка в потолочном положении, использование длинных гибких направляющих каналов (2...3 м), этих регулировок может быть недостаточно для обеспечения ускорений капли электродного металла заданной массы (размера) для ее принудительного переноса в ванну.

Поэтому были выполнены поиск и разработка нескольких новых вариантов механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП.

Кинематическая схема нового варианта механизма импульсной подачи электродной проволоки с КВП и расширенными возможностями по регулированию параметров указанных импульсов представлена на рис. 1, а. Рассмотрим вариант конструкции механизма. Первая шайба 1 с прорезью 2 установлена на первом эксцентрике 3. При вращении вала электродвигателя 4 прорезь 2 шайбы 1 взаимодействует с пальцем 5, который жестко связан с корпусом механизма. Шайба 1 дополнительно содержит палец 6, взаимодействующий с прорезью 7, выполненной на дополнительной шайбе 8, установленной на валу электродвигателя 4 с возможностью поворота относительно этой оси. На дополнительной шайбе 8 имеется еще один палец 9, взаимодействующий с прорезью 10, выполненной на центральной (внутренней) шестерне 11, которая установлена на эксцентрике 12 и передает момент вращения на наружную шестерню 13. Последняя жестко связана с подающим роликом 14. Электродная проволока обозначена цифрой 15, прижимной ролик — цифрой 16.

Данный механизм работает следующим образом. При вращении вала электродвигателя 4 первый эксцентрик 3 также начинает поворачиваться, а первая шайба 1, установленная на подшипнике указанного эксцентрика и связанная с корпусом механизма при помощи пальца 5 и прорези 2, получает некоторое угловое перемещение, размер которого обуславливается эксцентрикитетом эксцентрика 3 и радиальным расстоянием пальца 5 относительно траектории, описываемой эксцентриком 3 при его вращении. Это угловое перемещение через палец 6, установленный на шайбе 1, передается дополнительной шайбе 8 путем взаимодействия указанного пальца с прорезью 7. Шайба 8 поворачивается на безэксцентриковой части оси электродвигателя. Палец 9 дополнительной шайбы 8 входит в прорезь внутренней шестерни 11 и также заставляет эту внутреннюю шестернию поворачиваться на определенный угол. Учитывая, что внутренняя шестерня размещена на подшипнике, установленном на эксцентрике вала приводного электродвигателя,

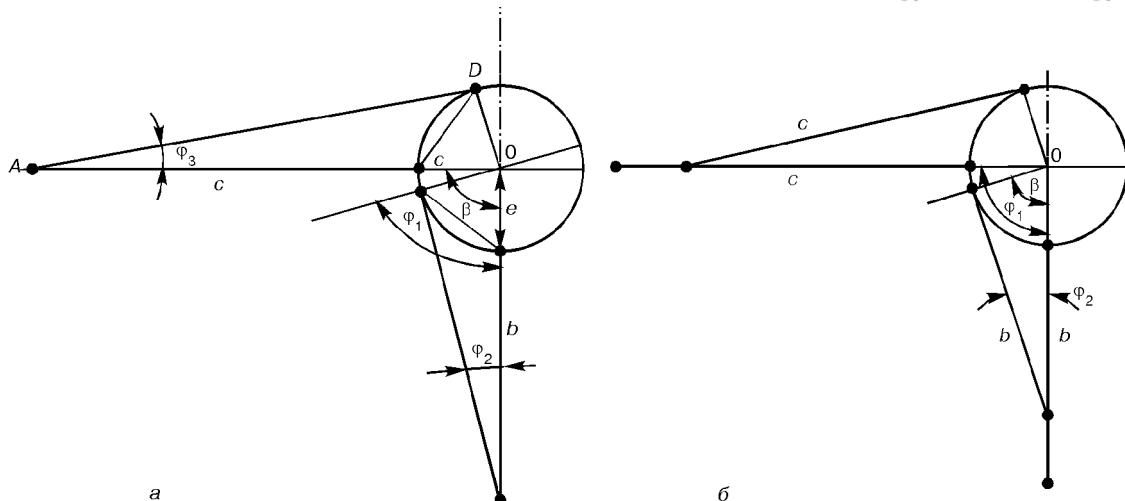


Рис. 2. Расчетная кинематическая схема двухмодуляторного механизма импульсной подачи: а — с подвижными пальцами; б — с подвижными прорезями

результатирующий угол поворота внутренней шестерни зависит как от параметров эксцентрика первой шайбы и рычага (радиальное расстояние пальца 5 относительно траектории эксцентрика), так и от эксцентрика внутренней шестерни и ее рычага (радиальное расстояние пальца 9 относительно траектории эксцентрика). Совокупный угол поворота внутренней шестерни передает через зубчатое зацепление вращающий момент на наружную шестернию, которая напрямую связана с подающим роликом 14. Электродная проволока получает периодическое импульсное перемещение с частотой, зависящей от частоты вращения вала приводного электродвигателя, и с шагом, определяемым передаточным отношением пары внутренняя шестерня – наружная шестерня при описанном колебательном движении внутренней шестерни и диаметре подающего ролика.

На основе методики, предложенной в статье [2], и принимая, что значения эксцентрикитетов эксцентриков 3 и 12 одинаковы и равны e , рассмотрим первый вариант расчетной схемы, представленной на рис. 2, а. Выражения для частоты вращения ролика и ускорений движения электродной проволоки для этой (первой) модификации механизма можно записать как

$$\omega_{p1} = \left[-\frac{e}{R} \pm e \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \cos \varphi_1 \right] \omega_1; \quad (3)$$

$$a_{z1} = \frac{eD_p}{2} \left[\left(\frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \sin \varphi_1 \right] \omega_1^2, \quad (4)$$

где c — расстояние от траектории движения эксцентрика до пальца 9 (длина рычага, поворачивающего внутреннюю шестерню 11).

Рассмотрим еще один вариант КВП, в котором подвижными являются оба пальца (рис. 2, б). В соответствии с описанной методикой и на основе геометрических построений можно утверждать, что при данном варианте выражения для угловой частоты вращения ролика и ускорений движения электродной проволоки практически не отличаются от выражений (3) и (4). Таким образом, варианты конструкции с подвижными прорезями и пальцами практически идентичны по производимому эффек-

ту, что дает дополнительные возможности для поиска оптимальных конструктивных решений относительно рассматриваемых модификаций механизмов импульсной подачи электродной проволоки с КВП.

Далее также используем упомянутые методики и рассмотрим общий случай возможной конструкции механизма. Примем следующие условия:

в устройстве, как и в предыдущих модификациях, имеются два модулятора импульсного движения наружной шестерни (подающего ролика) — модулятор первый, включающий палец 5, шайбу 1 с прорезью 2 и пальцем 6, дополнительную шайбу 8 с прорезью 7, а также модулятор второй, который состоит из дополнительной шайбы 8 с пальцем 9 и внутренней шестерни 11 с прорезью 10;

прорези и пальцы модулятора второго смешены относительно прорезей и пальцев модулятора первого на некоторый угол β ;

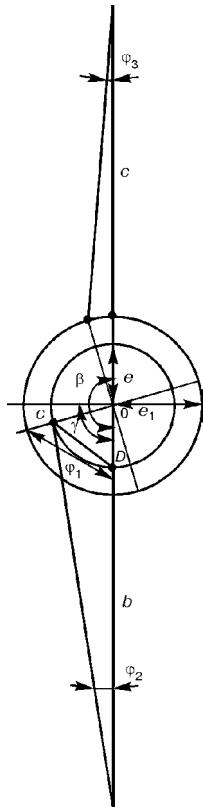
эксцентрикитеты обоих эксцентриков выполнены разными с безотносительными величинами e и e_1 , а эксцентрики смешены относительно друг друга по направлению вращения на угол γ . Расчетная схема указанной модификации механизма импульсной подачи электродной проволоки представлена на рис. 3.

Для другого случая на основе уже упомянутых методик можно записать

$$\omega_{p2} = \left[-\frac{e}{R} \pm \left(\frac{e \cos \varphi_1}{b} + \frac{e_1 \cos [\beta - (\gamma + \varphi_1)]}{c} \right) \right] \omega_1; \quad (5)$$

$$a_{z2} = \left[\frac{D_p}{2} \left(\frac{e \sin \varphi_1}{b} + \frac{e_1 \sin [\beta - (\gamma + \varphi_1)]}{c} \right) \right] \omega_1^2. \quad (6)$$

Во всех описанных модификациях механизмов подачи электродной проволоки предполагали, что все прорези были выполнены в радиальном направлении. Для получения уравнения движения ролика в наиболее общем случае рассмотрим третий вариант по аналогии с выражением (1), когда обе прорези выполнены под некоторыми углами α и α_1 к радиальному направлению. В этом случае уравнения, описывающие в общем виде частоту вращения подающего ролика и ускорение электродной



проводок, Рис. 3. Расчетная кинематическая схема подобны выра-двуихмодуляторного механизма импульсной подачи с расширенными возможностями по (6), учитывают регулированию параметров импульсов элементы уравнения (1) и имеют вид

$$\omega_{p3} = \left[-\frac{e}{R} \pm \left(\frac{e(\cos \varphi_1 - \alpha)}{b \cos \alpha} + \frac{e_1 \cos [\beta - (\gamma + \varphi_1) - \alpha_1]}{c \cos \alpha_1} \right) \right] \omega_1; \quad (7)$$

$$a_{33} = \left[\frac{D_p}{2} \left(\frac{e \sin(\varphi_1 - \alpha)}{b \cos \alpha} + \frac{e_1 \sin [\beta - (\gamma + \varphi_1) - \alpha_1]}{c \cos \alpha_1} \right) \right] \omega_1^2. \quad (8)$$

При импульсной подаче электродной проволоки наибольший интерес вызывает ее максимальное ускорение, которое обеспечивает принудительный отрыв капли в момент действия импульса [3].

Проанализируем уравнения (4), (6), (8) с целью определения возможных максимальных ускорений. При этом примем во внимание наиболее простой вариант механизма импульсной подачи с одним модулятором, на основе которого выполнялись все последующие разработки.

Для наглядности представим уравнения (1), (4), (6), (8) в относительных единицах, положив, что передаточное отношение механизма $e/R = 1$, и разделив все слагаемые на указанное передаточное отношение. При этом для рассмотренных модификаций механизмов получим следующие уравнения, описывающие изменения угловых скоростей:

$$\omega_p = \left[1 \pm \frac{R}{b} \frac{\cos(\varphi_1 - \alpha)}{\cos \alpha} \right] \omega_1; \quad (9)$$

$$\omega_{p1} = \left[1 \pm \left(\frac{R}{b} + \frac{R}{c} \right) \cos \varphi_1 \right] \omega_1; \quad (10)$$

$$\omega_{p2} = \left[1 \pm \left(\frac{R \cos \varphi_1}{b} + \frac{e_1 R \cos [\beta - (\gamma + \varphi_1)]}{ec} \right) \right] \omega_1; \quad (11)$$

$$\omega_{p3} = \left[1 \pm \left(\frac{R \cos (\varphi_1 - \alpha)}{b \cos \alpha} + \frac{e_1 R \cos [\beta - (\gamma + \varphi_1) - \alpha_1]}{ec \cos \alpha_1} \right) \right] \omega_1. \quad (12)$$

Следует заметить, что несмотря на то, что рассматривали различные по сложности и возможностям организации движения электродной проволоки в механизмах импульсной подачи, закон изменения скорости импульсного вращения подающего ролика может быть описан при помощи одного уравнения (12). Остальные уравнения в основном являются частными случаями. Однако здесь необходимо иметь в виду то обстоятельство, что механизмы, описываемые уравнениями (11) и (12), могут дать полный эффект лишь тогда, если их прорези и эксцентрики имеют относительные смещения по направлению вращения. В противном случае механизм не реализует возможности относительно дополнительного управления ускорением импульса подачи.

На рис. 4, а приведен ряд зависимостей угловой частоты вращения подающего ролика от параметров механизмов импульсной подачи с одним и двумя модуляторами, которые можно рассматривать как непосредственные законы изменения скорости подачи электродной проволоки.

Из уравнений (9)–(11) и выборочных графиков видно, что механизмы с двумя модуляторами имеют гораздо более широкие возможности по формированию импульса подачи, а также по регулированию амплитудного значения скорости и ускорения. При этом снимаются конструктивные ограничения по формированию импульсов, присущие механизмам с одномодуляторной схемой в части изменения угла наклона прорези и эксцентрикита. Особо можно отметить тот факт, что форма импульса в части получения того или иного значения ускорения подачи электродной проволоки может быть отрегулирована относительным смещением прорезей и эксцентриков, а также длиной рычагов и эксцентрикита. При этом очевидно, что из конструктивных соображений большие возможности по указанному модулированию имеет второй модулятор в двухмодуляторной схеме механизма импульсной подачи. Регулирование формы импульса может быть и ступенчатым, и плавным с глубиной от плавного (безимпульсного) движения до увеличения (в несколько раз) амплитуды импульса по отношению к равномерной подаче с соответствующими значениями ускорений.

Отметим и такой эффект использования новых модификаций механизмов импульсной подачи. Если в системах, в которых нет относительного смещения прорезей и эксцентриков, формы импульсов подачи симметричны относительно их экстремумов, то при выполнении указанного смещения симметричность нарушается с соответствующим изменением кривизны импульса, а следовательно, с увеличением или уменьшением ускорения. Этот факт может быть также использован для управ-

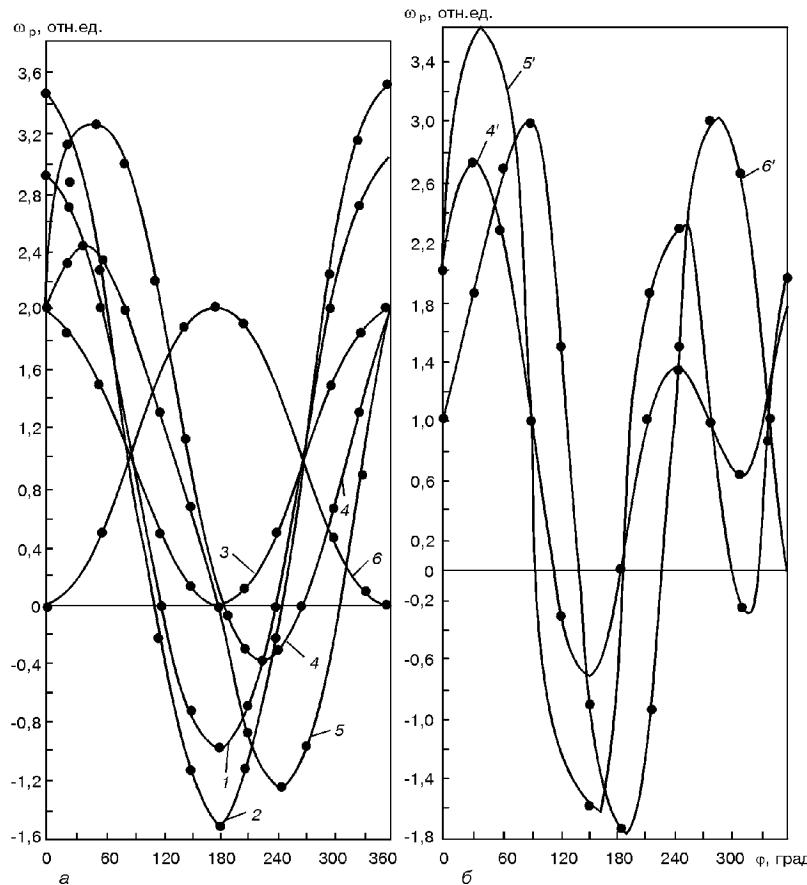


Рис. 4. Графики зависимостей изменения угловой частоты вращения подающего ролика от угла поворота вала приводного электродвигателя для механизма импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП с двумя модуляторами, имеющими одинаковые (а) и разные (б) частоты вращения: 1 — $R/b = 1; R/c = 1$; 2 — $R/b = 1,25; R/c = 1,25$; 3 — $R/b = 1; R/c = 0$; 4, 4' — $R/b = 1; R/c = 1; e/e_1 = 1; \beta = \pi$; 5, 5' — $R/b = 1; R/c = 1; e/e_1 = 2; \beta = \pi$; 6, 6' — $R/b = 1; R/c = 1; e/e_1 = 2; \beta = \pi/2$; $\gamma = \pi/2$

ления ускорением подачи электродной проволоки и переносом капель электродного металла.

Из графиков на рис. 4 видно, что с увеличением амплитудного значения скорости импульсного вращения зафиксирован рост реверсивного движения ролика в импульсе. Этот эффект обеспечивает максимальные ускорения в подаче. Однако при достаточно большой длине гибких направляющих каналов указанное явление может привести и к нежелательным последствиям, которые заключаются в частичном исключении запаса электродной проволоки в канале [4]. При последующем импульсе подачи некоторая длина шага подачи будет расходоваться на создание запаса проволоки, т. е. ожидаемое (по параметрам механизма) ускорение движения электродной проволоки не произойдет, а будет даже несколько снижено. Для этого случая целесообразно рассмотреть условия импульсного вращения подающего ролика без его реверсирования. Условие отмеченного безреверсивного движения определим для модификации механизма, которая описывается общим уравнением (12) в следующем виде:

$$\gamma - \beta \geq \arcsin [(c e)/(R e_1)]. \quad (13)$$

Рассмотрим еще некоторые весьма интересные и полезные возможности для управления переносом электродного металла и регулирования тепловложений, получаемые при дальнейших работах по целенаправленному изменению конструкций механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП.

Иногда, особенно при малых шагах подачи, этой частоты подачи бывает недостаточно для получения требуемой интегральной скорости, а следовательно, для обеспечения необходимого тока дугового процесса. Это относится и к случаю, когда в системе подачи применяются электродвигатели с малыми номинальными значениями частоты вращения их вала. Так, например, используемый в блочно-модульной гамме полуавтоматов на основе базовой модели ПШ107В [5] электродвигатель типа ДПУ87-75 имеет номинальную частоту вращения при номинальном напряжении питания 20 В — $16,7 \text{ с}^{-1}$, а при допускаемом напряжении питания 40 В — $33,3 \text{ с}^{-1}$, что может быть достаточным для наплавки самозащитными электродными проволоками повышенных диаметров с импульсной подачей, но мало для некоторых случаев сварки в защитном газе с импульсной подачей тонких сплошных электродных проволок. Для указанных случаев нами найдены и реализованы несколько следующих технических решений:

для увеличения частоты импульсной подачи электродной проволоки между валом приводного электродвигателя устанавливали мультиплексор с возможностью его включения в систему и обеспечения прямого действия вала на механизм импульсной подачи;

для варьирования формы импульсов и возможного увеличения их частоты изменяли относительную частоту вращения вала одного из модуляторов, разомкнув сначала предварительную кинематическую связь между первым и вторым модулятором;

Механизм	Соотношение максимальных ускорений	Достоинства	Недостатки
С односторонними захватами	1	Простота конструкции	Малая надежность, прерывистость, малые ускорения
КВП с одним модулятором	1...1,7	Относительная простота, надежность	Не отмечены
То же, с введением угла наклона α	До 2	»	Сложность регулирования угла наклона α
КВП с двумя модуляторами (19)	До 2,5	Возможность регулирования формы импульса	Относительная сложность конструкции
То же (20)	До 3,5	Возможность регулирования формы импульса в широких пределах	Существенное усложнение конструкции
То же (21)	3...4	То же	Относительная сложность конструкции
То же (12)	До 6	То же, увеличение количества импульсов за цикл	Относительная сложность и большие габариты конструкции

для изменения формы импульсов и возможного увеличения их частоты использовали один модулятор, но дополнительно еще раз его модулировали, например, внешним эксцентриковым или кулачковым механизмом с частотой, отличающейся от частоты вращения вала приводного электродвигателя. Последний вариант, представленный на рис. 1, б, включает, кроме ранее известных элементов одномодуляторной схемы, дополнительный эксцентрик 17, установленный на валу 18 и приводимый во вращение тем же приводным электродвигателем через мультиплексор 19. При этом шайба модулятора связана с эксцентриком через качающийся рычаг 20.

Закон изменения угловой частоты вращения подающего ролика и ускорения подачи в этом (четвертом) механизме можно описать уравнениями (12) и (13) приняв, что частота вращения эксцентрика 2 отличается от частоты вращения вала электродвигателя. При этом получим

$$\omega_{p4} = \left[1 \pm \left(\frac{R \cos \varphi_1}{b} + \frac{e_1 R \cos [\beta - (\gamma + \varphi_2)]}{ec} \right) \right] \omega_1; \quad (14)$$

$$a_{\varphi} = \frac{D_p}{2} \left(\frac{e \sin \varphi_1}{b} \omega_{11}^2 + \frac{e_1 \sin [\beta - (\gamma + \varphi_1)]}{c} \right) \omega_{12}^2, \quad (15)$$

где ω_{11} , ω_{12} — частоты вращения валов соответственно основного и дополнительного модуляторов.

В уравнениях (14), (15) во избежание введения новых параметров примем, что величины e_1 и c соответствуют характеристикам дополнительно введенного эксцентрикового механизма с углом поворота φ_2 , отличающимся от φ_1 . При этом учтено, что $\varphi_1 / \varphi_2 = \omega_1 / \omega_d$, где ω_d — частота вращения дополнительного эксцентрика.

Графики зависимостей $\omega_{p4} = f(\varphi_1)$ для ряда соотношений R/b , $e_1 R/ec$, β , γ , а также удвоенной частоты нового эксцентрикового модулятора ($\varphi_2 = 2\varphi_1$) представлены на рис. 4, б.

При использовании этой модификации механизма возможно получение импульсов сложной формы. Так, за один оборот вала приводного электродвигателя можно получить импульс с двумя уровнями амплитуд: большая, а затем маленькая или наоборот, меньшая, а затем большая, что в некоторой степени соответствует рекомендациям, приведенным в работе [6] для источников питания дуги, которые предназначены для реализации импульсно-дугового процесса сварки в защитном

газе. В этом случае первый импульс малой амплитуды является плавящим электродную проволоку, а последующий, с более значимой амплитудой, — принудительно отрывающим каплю электродного металла и переносящим ее в металлическую ванну. Полезность получения указанных сочетаний импульсов может состоять и в том, что, например, первый импульс преодолевает направляющий канал (выбирает зазоры) значительной длины, а второй — в полной мере воздействует на каплю электродного металла. Важным является то, что можно выбрать параметры механизма таким образом, чтобы за один оборот вала приводного электродвигателя получить более одного импульса подачи проволоки с довольно близкими значениями амплитуд, которых достаточно для управления переносом электродного металла. Такая возможность несколько меняет общую логику работы механизмов импульсной подачи, если за один цикл (оборот вала приводного электродвигателя) выполняется подача электродной проволоки с одним заранее выбранным шагом перемещения, который связан с диаметром подающего ролика прямо пропорциональной зависимостью. При этом стремление получить малые шаги подачи приводит, с одной стороны, к снижению диаметра подающего ролика, что ухудшает условия подачи, а с другой, — к повышению частоты вращения вала приводного электродвигателя, что не всегда возможно из-за используемых в дуговом механизированном оборудовании типов и конструкций самих электродвигателей. Предложенное и обоснованное нами техническое решение позволяет устранить указанную проблему путем увеличения шага подачи за один оборот вала электродвигателя с наложением на этот шаг нескольких импульсов.

Для дополнительной количественной оценки возможностей модификаций механизмов импульсной подачи электродной проволоки с КВП выполним их сравнительный анализ, приняв за критерий возможные максимальные ускорения вращательного движения подающего ролика (электродной проволоки) в импульсе. Сравнение выполним относительно тех значений ускорения, которые получаются при использовании механизмов импульсной подачи с односторонними захватами и эксцентриковыми преобразователями движения [7] как наиболее простых технических средств, обеспечивающих импульсный характер движения электродной проволоки. Очевидно, что ускорение движения $a_{\varphi 0}$ одностороннего захвата как движи-

теля электродной проволоки может быть описано уравнением

$$a_{\varphi 0} = e\omega_1^2 \sin(\varphi_1 t), \quad (16)$$

а максимальное значение ускорения запишется следующим образом:

$$a_{\varphi 0\max} = e\omega_1^2. \quad (17)$$

Отметим, что максимальные значения ускорений в уравнениях (4), (6), (8), (15) определяются следующими выражениями:

$$a_{\varphi 1\max} = \frac{eD_p}{2} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \omega_1^2; \quad (18)$$

$$a_{\varphi 2\max} = \frac{D_p}{2} \left(\frac{e}{b} + \frac{e_1 \sin(\beta - \gamma)}{c} \right) \omega_1^2; \quad (19)$$

$$a_{\varphi 3\max} = \frac{D_p}{2} \left(\frac{e \sin[(\pi/2) - \alpha]}{b} + \frac{e_1 \sin[\beta - (\gamma + \pi/2) - \alpha_1]}{c} \right) \omega_1^2; \quad (20)$$

$$a_{\varphi 4\max} = \frac{D_p}{2} \left(\frac{e \sin \varphi_1}{b} \omega_{11}^2 + \frac{e_1 \sin [\beta - (\gamma + \varphi_1)]}{c} \right) \omega_{12}^2. \quad (21)$$

Принимая максимально возможное ускорение подачи электродной проволоки для механизмов с односторонними захватами в виде единичной величины, можно рассчитать их относительную эффективность при одинаковых значениях шага и частоты подачи по максимальным ускорениям. Такие расчеты выполнены для ряда конструкций и представлены в таблице.

Предварительные расчеты показывают, что именно в конструкциях механизма с двумя модуляторами вероятно получение максимальных ускорений (примерно 100 м/с² и более), что может превышать те необходимые для переноса электродного металла при сварке в защитном газе ускорения, которые определены в работе [3].

В процессе разработки и исследования рассмотренных в статье механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе принципа КВП изготавливали кинематические модели по всем их модификациям. Отметим, что исследования работы моделей и образцов полностью подтверждают их теоретические описания. Кроме того, макетный образец механизма с двойным модулятором (см. рис. 3), испытывали в процессе сварки в углекислом газе электродной проволокой диаметром 1,2 мм при силе сварочного тока 180...220 А. При этом частота импульсов подачи по шланговому держателю длиной 1,7 м составляла 40...50 Гц. Процесс сварки во всех пространственных положениях стабилен, а частота переноса электродного металла четко соответствует частоте импульсов подачи.

The paper discusses the features of development of the mechanisms of pulsed feed of electrode wire based on quasi-wave converters. It is shown that the maximal value of acceleration achieved in the pulse can be essentially increased by cascade connection of several modulators or variation of the modulation pulse frequency. Determined are the conditions under which the mechanism designs will be optimal in terms of both their fabrication, and output parameter adjustment. The main principles of design of new types of pulsed feed mechanisms are defined, that take into account the specifics of their mounting into the mechanized arc welding equipment.

Выводы

1. Комплекс разработок механизмов импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП позволяет выбрать такие из них, которые осуществляют движение электродной проволоки от плавного до импульсного, в том числе и с частичным реверсом подающего ролика. Весь этот диапазон движений может быть использован для решения различных задач — от простого преодоления направляющего канала до снижения сопротивления подаче при малых амплитудах импульсов и управляемого переноса электродного металла.

2. Для расширения возможностей механизма относительно максимального ускорения электродной проволоки необходимо иметь второй модулятор, эксцентрикситет которого ограничивается лишь условиями вибрации механизма и реально может быть увеличен в 2...3 раза по отношению к эксцентрикситету внутренней шестерни.

3. Существенно расширить возможности механизмов импульсной подачи электродной проволоки, разрабатываемых на основе КВП, позволяют такие конструкции, которые обеспечивают вращение валов обоих модуляторов с разными частотами.

4. Наиболее рациональной следует считать конструкцию механизма импульсной подачи электродной проволоки, в которой установлены два модулятора с эксцентриками, имеющими достаточно близкие значения эксцентрикситетов и расположенные оппозитно относительно друг друга, что дает возможность максимально сбалансировать механизм и обеспечить его минимальные вибрации.

1. Лебедев В. А., Никитенко В. П. Перспективные направления в конструировании механизмов подачи электродной проволоки // Автомат. сварка. — 1983. — № 7. — С. 61–69.
2. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Новые механизмы подачи электродной проволоки // Там же. — 1996. — № 5. — С. 39–44.
3. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Там же. — 1996. — № 10. — С. 3–9.
4. Лебедев В. А., Светников Б. Г. Влияние начальной кривизны электродной проволоки на ее сопротивление в канале // Там же. — 1986. — № 2. — С. 35–38.
5. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Полуавтоматы единой блочно-модульной конструкции для сварки, плавки и резки // Свароч. пр-во. — 1998. — № 1. — С. 24–28.
6. Шайко П. П., Павшук В. М. Источник питания для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом с плавным регулированием параметров // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев, 1992. — С. 40–48.
7. Лебедев В. А., Никитенко В. П. Захваты для импульсной подачи электродной проволоки // Автомат. сварка. — 1984. — № 10. — С. 52–58.

Поступила в редакцию 04.05.2000,
в окончательном варианте 27.10.2000



КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЛНОВОДОВ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ, ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Н. П. НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
И. К. СЕНЧЕНКОВ, д-р физ.-мат. наук (Ин-т механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины)

Предложены классификация и системный метод выбора конфигурации волноводов-инструментов, имеющих форму тел вращения, для ультразвуковой сварки полимеров и композитов на их основе. Рассмотрены известные и новые базовые конфигурации сонотродов, которые могут быть использованы для получения кольцевого сварного шва большого диаметра.

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, полимеры и композиты на их основе, волновод-инструмент (сонотрод), форма колебаний, классификация

В статье [1] приведены классификация и основные принципы проектирования пластинчатых волноводов-инструментов (сонотродов) для ультразвуковой сварки (УЗС) полимеров. Другим важным классом сонотродов, используемых как для точечной, так и для контурной сварки являются сонотроды, имеющие форму тел вращения [2–11]. Задача проектирования последних состоит в том, чтобы по заданной форме сварного шва определить геометрическую форму сонотрода. Решение существенно облегчается наличием систематизированной базы эталонных конфигураций, отличающихся требуемыми резонансными частотами и формами колебаний.

Анализ литературы показывает, что многообразие осесимметричных сонотродов можно сгруппировать в несколько классов по типам колебаний, характерным для определенных участков ветвей резонансного спектра сплошного кругового цилиндра [12]. Как и в случае пластинчатых сонотродов, классификация осесимметричных элементов акустических систем УЗС позволяет определиться с выбором их конфигурации, наметить пути контроля формы и частоты колебаний, а также разработать новые типы сонотродов.

Данная статья посвящена изучению формирования системы базовых конфигураций сонотродов, имеющих форму тел вращения, а также их классификации.

Охарактеризуем эти элементы по типу резонансных движений. Сонотроды в виде стержней переменного сечения — ступенчатые конические, экспоненциальные и др. —

Рис. 1. Типы осесимметричных движений в сонотродах, имеющих форму тел вращения:
 a — характерные участки ветвей частотного спектра сплошного цилиндра; b — кинематика первых двух продольных, краевых, радиальных и изгибных осесимметричных мод

были исторически первыми из применявшихся в ультразвуковых акустических системах. И в настоящее время они широко используются, например, для точечной УЗС. Задача усложняется при необходимости сварки по круговой площадке или по кольцевому контуру диаметром $d_m \geq \lambda/3$. В этом случае «стержнеподобные» сонотроды в результате депланации сечений оказываются неэффективными с точки зрения возбуждения и усиления колебаний, а также однородности перемещений на рабочем торце.

Как и в случае пластинчатых элементов, для формирования поршневых движений широко используются щелевые структуры. Радиальные перемещения наружных и внутренних цилиндрических поверхностей дисков применяются, в частности, при шовной УЗС вращающимся сонотродом и для активизации волочения проволоки путем наложения ультразвука [4, 5]. Сонотроды на осесимметричной изгибной моде колебаний могут иметь рабочие поверхности как на торцах, так и на цилиндрической поверхности. Первая схема используется при контурной, а вторая — при шовной сварке [6]. Отход от традиционных способов формирования однородного распределения нормальных перемещений u_z в кольцевой области большого диаметра намечен в

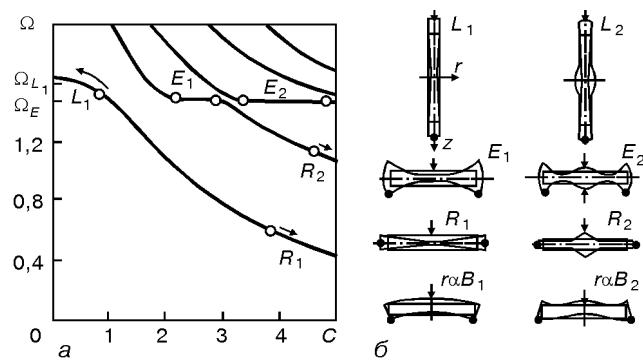


Таблица 1. Типы сонотродов, имеющих форму тел вращения

Тип колебания	Тип волновода	Конфигурация сонотрода
<i>L</i>	L_k	
	$rmL_k^{(\alpha)}$	
<i>R</i>	R_k	
	E_k	
<i>B</i>	$r\alpha B_k$	

работе [7], посвященной анализу возможности использования для контурной сварки краевой моды колебаний.

Модальные характеристики колебаний в рассмотренных резонаторах имеют общие признаки с модами, соответствующими определенным участкам ветвей частотного спектра осесимметричных колебаний конечного цилиндра, высота H и радиус R' которого удовлетворяют условиям $|z| \leq H$; $0 < r < R'$. Часть такого спектра для $\nu = 0,34$, отвечающая симметричным относительно плоскости $z = 0$ колебаниям, показана на рис. 1, а. Здесь $\Omega = 2\omega H / \pi C_2$, $C = R'/H$. Буквы L , E и R обозначают тип моды — продольная, краевая и радиальная; нижний индекс — номер ветви или плато. Для элементов на осесимметричных изгибных модах принимается обозначение $r\alpha B_k$. Стоящие спереди строчные буквы уточняют, что тело вращения r подвергается изгибу по осесимметричной α моде. Рис. 1, б иллюстрирует кинематику первых двух мод каждого из рассматриваемых типов. Здесь некоторые размеры сонотролов указаны волях длины продольной волны λ , $\lambda = f^{-1}(\epsilon/\rho)^{1/2}$, где ϵ — модуль Юнга; ρ — плотность материала; f — частота колебаний. Стрелка показывает область возбуждения, а точка — область контакта с нагрузкой. Такая информация чрезвычайно полезна для определения пучностей

Таблица 2. Типы сонотролов-конверторов

Тип конвертора	Конфигурация конвертора
$L_k CR_n$	
$L_k Cr\alpha B_n$	
$L_k CE_n$	
$L_k CpB_n$	

колебаний, являющихся зонами наиболее эффективного возбуждения конкретных мод.

Для дальнейшего анализа воспользуемся табл. 1. Выступы в нижней части сонотролов E_k и $r\alpha B_k$ фиксируют их рабочие поверхности и показывают, что они используются для контурной сварки с кольцевым швом. Формально в этот перечень можно ввести осесимметричные резонаторы типа $(r)T$ на квазитолщинной моде колебаний [1]. Однако практическая реализация таких элементов усложняется рядом обстоятельств. В работе [12] показано, что поршневое движение торца диска искажается взаимодействием «чистой» T -моды с R - и A -модами. Оно усиливается с возрастанием коэффициента Пуассона и для значений $0,28 \leq \nu \leq 0,35$, типичных для материалов сонотролов, приводит к резкому снижению положительных качеств T -моды. По сравнению с планарной T -модой, ситуация усугубляется близостью при $\nu = 1/3$ частот толщинного и толщинно-сдвигового резонансов Ω_T и Ω_S . Это уплотняет спектр и усложняет отстройку от «параситных» мод.

Высокочастотные части спектров симметричных мод прямоугольника и цилиндра определяются заданием в качестве нижней границы частоты краевого резонанса $\nu = 1/3$ [12]. В соответствии с этим элементы типа E , T и S могут быть отнесены к высокочастотным, а элементы типа L , R и B — к низкочастотным.

Одномодовые резонаторы не всегда удовлетворяют функциональным требованиям. Это, как правило, связано с проблемой эффективного возбуждения некоторых мод колебаний. В этих случаях

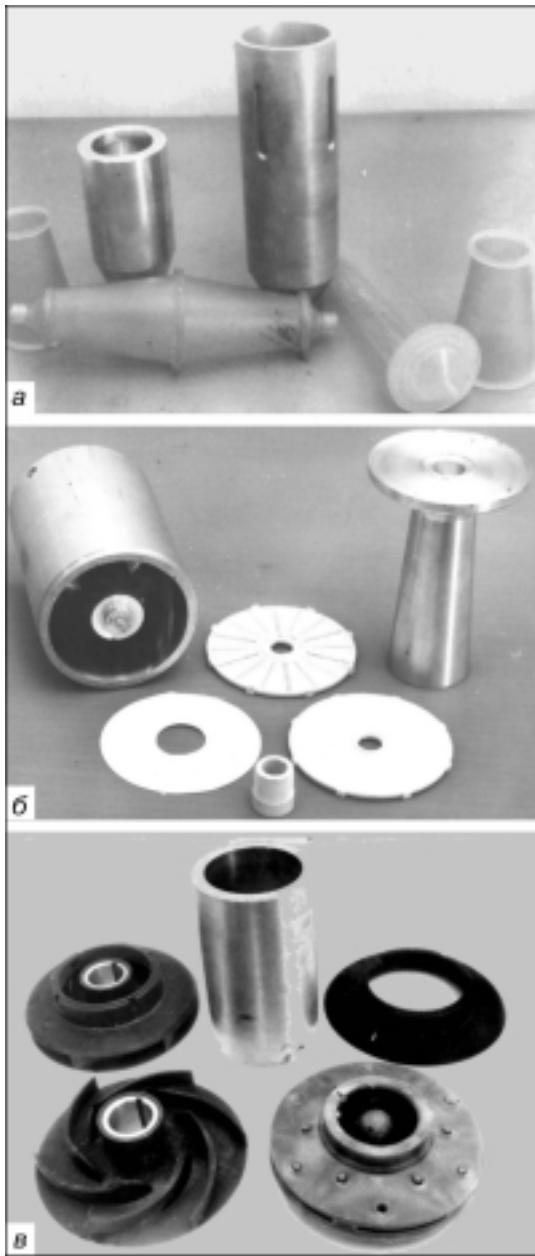


Рис. 2. Волноводы для УЗС гемосорбционных колонок (а), полимерных фильтров (б), колес водяного насоса (в)

используют сонотроды-конверторы, в которых происходит преобразование хорошо возбуждаемой (например L_1) моды в слабо возбуждаемый тип движения — радиальный, краевой и пр. [7, 12, 13]. Классификация и маркировка некоторых типов конверторов приведены в табл. 2.

В принятой маркировке указывается элемент, который возбуждается преобразователем и энергия которого конвертируется (буква С) в колебания связанного с ним резонатора другого типа. Наиболее сильное взаимодействие и конвертация мод имеет место, когда частоты парциальных систем близки между собой и равны частоте возбуждения.

Приведенная классификация позволяет выбрать тип сонотрода по заданной форме сварного соединения. На втором этапе определяются точные размеры элемента для заданной рабочей частоты колебаний. При этом необходимо отстроить его от «паразитных» частот и тем самым обеспечить требуемые

значения амплитуды колебаний и однородность ее распределения по рабочей поверхности сонотрода.

Третий этап включает оценку усталостной прочности и температуры виброразогрева элемента. Реализация последних двух этапов предусматривает использование методов математического моделирования.

Постановка задачи в цилиндрической системе координат $r\theta z$ включает [14] кинематические уравнения, уравнения осесимметричных колебаний, определяющие уравнения, уравнения теплопроводности и выражения для диссипативной функции:

$$\frac{\partial \tilde{\sigma}_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} (\tilde{\sigma}_r - \tilde{\sigma}_0) + \frac{\partial \tilde{\sigma}_{rz}}{\partial z} + \rho \omega^2 \tilde{U}_r = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tilde{\sigma}_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \tilde{\sigma}_{rz} + \frac{\partial \tilde{\sigma}_{zz}}{\partial z} + \rho \omega^2 \tilde{U}_r = 0, \quad (2)$$

$$\tilde{\sigma}_{ij} = 2\tilde{G} (\tilde{\epsilon}_{ij} + \frac{\tilde{v}}{1-2\tilde{v}} \tilde{\epsilon}_{kk} \delta_{ij}), \quad i, j = r, \theta, z, \quad (3)$$

$$c\dot{\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (kr \frac{\partial \theta}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial \theta}{\partial z}) + D', \quad (4)$$

$$D' = \frac{\omega}{2} (\tilde{\sigma}_{ij} \tilde{\epsilon}_{ij} - \tilde{\sigma}_{ij}' \tilde{\epsilon}_{ij}''), \quad (5)$$

граничные и начальные (для температуры) условия [1]. Здесь \tilde{G} и \tilde{v} — комплексные модуль сдвига и коэффициент Пуассона; $\tilde{G} = G' + iG''$; $\tilde{v} = v' - iv''$; \tilde{U}_r ; $\tilde{\epsilon}_{ij}$ и $\tilde{\sigma}_{ij}$ — комплексные амплитуды компонент вектора перемещений, тензоров деформаций и напряжений; c и k — коэффициенты объемной теплоемкости и теплопроводности; θ — температура; ω — круговая частота; $\omega = 2\pi f$.

При больших амплитудах колебаний необходимо учитывать зависимость модуля сдвига от интенсивности амплитуд напряжений

$$\begin{aligned} \tilde{G} &= \tilde{G}(\omega, \theta, \sigma_n); \\ \sigma_n &= \frac{1}{\sqrt{6}} (|\tilde{\sigma}_{rr} - \tilde{\sigma}_{\theta\theta}|^2 + |\tilde{\sigma}_{zz} - \tilde{\sigma}_{rr}|^2 + |\tilde{\sigma}_{\theta\theta} - \tilde{\sigma}_{rr}|^2 + 6|\tilde{\sigma}_{rz}|^2)^{1/2}; \\ |\tilde{\sigma}_{rz}|^2 &= \sigma_{rz}^2 + \sigma_{rz}''^2, \dots \end{aligned}$$

Для обеспечения усталостной прочности сонотрода необходимо, чтобы максимальное по объему V значение интенсивности напряжений удовлетворяло условию $\max_V \sigma_n \leq \chi \sigma_1$, где σ_1 — предел циклической выносливости материала при симметричном цикле нагружения; χ — коэффициент запаса прочности.

Учитывая сложность геометрии сонотролов и в общем случае нелинейность задачи (1)–(4), для ее решения целесообразно использовать численные методы. Наиболее удобным из них для данного класса задач является метод конечных элементов [15].

Основные этапы проектирования осесимметричных сонотролов те же, что и для пластинчатых элементов [1]. С использованием развитого подхода был спроектирован и изготовлен ряд сонотролов

дов для УЗС пластмассовых изделий. Они показаны на рис. 2.

Выходы

1. Многообразие сонотродов, имеющих форму тел вращения и используемых для УЗС полимеров и композитов на их основе, допускает классификацию по типу резонансной формы колебаний. Типы реализуемых в них движений — продольных, радиальных, изгибных и др. — могут быть соотнесены с характерными участками ветвей частотного спектра сплошного кругового цилиндра.

2. Предложена маркировка осесимметричных сонотродов. Намечены основные этапы их проектирования.

3. Развитая классификация позволяет обоснованно подойти к выбору базовой конфигурации сонотрода, исходя из формы сварного шва. Дальнейшее уточнение его формы осуществляется при помощи численного моделирования.

4. В настоящее время надежно рассчитываются двумерные объекты, тогда как колебания в сонотродах типа $rmL_k^{(\alpha)}$ являются трехмерными. Разработка компьютерных программ для трехмерного анализа определяет направление работ в данной области на ближайшее время. Ее реализация позволит резко расширить возможности наиболее производительной контурной УЗС.

1. Нестеренко Н. П., Сенченков И. К. Классификация и проектирование пластинчатых волноводов-инструментов для ультразвуковой сварки полимеров и композитов на их основе // Автомат. сварка. — 2001. — № 4. — С. 51–53.
2. Силин Л. Л., Баландин Г. Ф., Коган М. Г. Ультразвуковая сварка. — М.: Машиностроение, 1962. — 252 с.

Classification and system method of selection of configuration of wave guides-tools, having a shape of bodies of rotation, for the ultrasonic welding of polymers and composites on their base are suggested. Known and new basic configurations of sonotrodes which can be used for producing of a large-diameter circumferential weld are considered.

3. Machetner B. X. Концентраторы — инструменты для ультразвуковой обработки, способы их крепления // Обзор НИИМАШ. — М., 1965. — С. 53.
4. Васильев П. Е., Савицкая Т. А. Расчет колыцевых концентраторов радиальных колебаний // Акуст. журн. — 1979. — **25**, № 2. — С. 208–212.
5. Васильев П. Е. Составной пьезоэлектрический преобразователь радиальных колебаний // Там же. — 1980. — **26**, № 4. — С. 517–521.
6. Волков С. С. Ультразвуковая контурная сварка цилиндрических изделий из полимерных материалов // Свароч. пр-во. — 1969. — № 5. — С. 39–45.
7. Сенченков И. К., Василенко О. Н., Козлов В. И. Осесимметричные сонотроны на краевой моде колебаний // Доп. НАН України. — 1995. — № 3. — С. 44–45.
8. Сенченков И. К., Нестеренко Н. П. Проектирование инструмента с осесимметричной продольно-изгибной модой колебаний для контурной ультразвуковой сварки пластмасс // Автомат. сварка. — 1995. — № 6. — С. 39–42.
9. Конечно-элементный расчет контурных волноводов для ультразвуковой сварки пластмасс / И. К. Сенченков, Н. П. Нестеренко, О. В. Тарасенко и др. // Новые разработки по сварке и склеиванию пластмасс. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1989. — С. 34–38.
10. К расчету резонансных характеристик осесимметричных волноводов методом конечных элементов / И. К. Сенченков, В. И. Козлов, О. П. Червяк, Б. Я. Черняк // Прикл. механика. — 1990. — **26**, № 11. — С. 35–39.
11. Волков С. С., Черняк Б. Я. Сварка пластмасс ультразвуком. — М.: Химия, 1986. — 256 с.
12. Гринченко В. Т., Мелешко В. В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. — Киев: Наук. думка, 1981. — 284 с.
13. Iton K., Mori E. Studies on resonator with directional converter ($R-L$ -type converter disk of various thickness) // J. Acoust. Soc. Jap. — 1974. — **30**, № 11. — P. 587–591.
14. Карнаухов В. Г., Сенченков И. К., Гуменюк Б. П. Термо-механическое поведение вязкоупругих тел при гармоническом нагружении. — Киев: Наук. думка, 1985. — 288 с.
15. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 1: Термоупругость / И. А. Мотовиловец, В. И. Козлов. — Киев: Наук. думка, 1987. — 264 с.

Поступила в редакцию 31.10.2000,
в окончательном варианте 03.01.2001



МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ «СВАРКА» — 10 ЛЕТ

О. Н. ИВАНОВА, директор Международной ассоциации «Сварка», канд. техн. наук



Международная ассоциация «Сварка» (МАС) создана в мае 1991 г. на базе Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и стала преемницей Координационного центра по проблеме «Сварка» при бывшем СЭВе. Свою деятельность ассоциация построила на новых принципах рыночных взаимоотношений. Целью ее деятельности является создание для своих членов благоприятных условий для ознакомления с их научно-техническим потенциалом, оказание практической помощи в продвижении на рынок конкурентоспособных разработок.

Ассоциация объединяет различные научные учреждения, промышленные предприятия, субъекты предпринимательской и финансовой деятельности ряда государств. Она как юридическое лицо действует по Соглашению заинтересованных сторон, на основе Устава и зарегистрирована в Украине в соответствии с действующим законодательством.

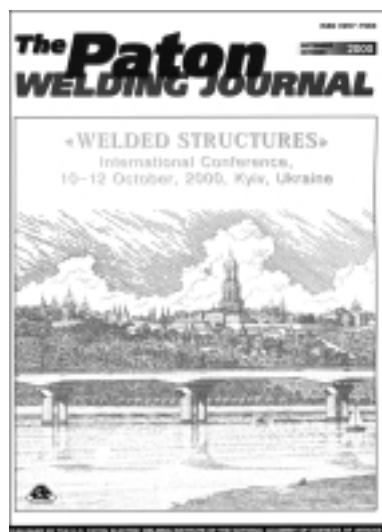
Научно-техническое сотрудничество в области сварки, одного из наиболее распространенных процессов металлообработки, является мощным рычагом развития и интенсификации производства. Прямые научные, производственные и торговые связи между организациями и фирмами, входящими в МАС, создают благоприятные условия для эффективного научно-технического и экономического развития каждого из членов ассоциации. Этому, в частности, способствует организация получения опера-

тивной информации о всех достижениях в области сварочной науки и техники, информация о спросе и предложениях на рынке сварочного производства.

Основными направлениями деятельности МАС являются: научно-техническая, производственно-хозяйственная, финансово-экономическая, информационно-рекламная, внешнеэкономическая и др. Этот достаточно широкий спектр направлений деятельности в зависимости от ситуации позволяет выбирать наиболее эффективное и сосредоточить на нем свои усилия для получения желаемого результата. Анализ экономической ситуации и возможность маневра при выборе наиболее целесообразного направления позволяют достигать основную цель сотрудничества и оперативно решать возникающие задачи.

В последние три-четыре года МАС активно работает в трех основных направлениях информационно-рекламном, научно-техническом и финансово-экономическом.

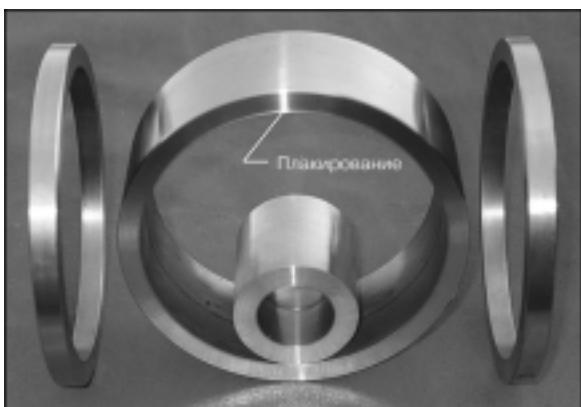
Информационно-рекламная деятельность прежде всего связана с организацией и проведением международных конференций, семинаров. За прошедшее время с помощью МАС было проведено около 30 международных конференций и семинаров в различных государствах — в Болгарии, Германии, Польше, Грузии, Македонии, России, Украине. Тематика конференций была достаточно разнообразной — это проблемы качества и сертификации продукции, гигиенические условия применения сварочных процессов, новые технологии сварки, проблемы применения сварки в судостроении, строительстве резервуаров, железных дорог и подвижного состава, металлургии и родственных технологий. В конференциях принимали участие ученые и специ-



Материалы международных конференций



Сварная стрингерная оболочка в процессе изготовления (диаметр оболочки 4000 мм, длина 2200 мм, толщина обшивки 5 мм, 72 ребра жесткости приварены к обшивке с применением электронно-лучевой сварки)



Стальные пустотельные цилиндры с внутренним диаметром 30 и 120 мм, плакированные взрывом изнутри материалом со специальными свойствами



Сварочный комплекс для соединения мягких живых тканей

алисты из Беларуссии, России, Венгрии, Польши, Словакии, Чехии, Болгарии, Узбекистана, Германии, Франции, Румынии, Японии, США, Кореи, Китая, Украины. Среди проведенных конференций следует отметить такие крупные, как «Сварка и родственные технологии в XXI век» (ноябрь 1998 г., г. Киев), «Сварные конструкции» (октябрь 2000 г., г. Киев).

Информационная деятельность не исчерпывается организацией конференций и семинаров, МАС активно работает над выпуском экспресс-информаций, каждый из которых посвящен определенной проблеме, например, компьютерным системам в сва-

рочном производстве, проблемам качества и экономичности сварных конструкций и др. Каждый выпуск состоит из четырех разделов, включающих аннотированные тематические доклады, представленные на конференциях; описания предлагаемых организациями — членами МАС новых разработок, а также возникших у них потребностей в новых разработках; сообщения о планируемых международных конференциях; перечень организаций-членов МАС. Экспресс-информации для членов МАС рассылаются бесплатно.

Выпуски экспресс-

В 2001 г. МАС совместно с Национальной академией наук Украины и Институтом электросварки им. Е. О. Патона стала соучредителем журналов «Автоматическая сварка», «Проблемы специальной электрометаллургии», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «The Paton Welding Journal».

В рамках научно-технического направления МАС, используя свои уставные возможности объекта внешнеэкономической деятельности и результаты информационно-рекламной работы, активно работает по поиску инвесторов для реализации научно-технических проектов с заключением контрактов на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. За данный период выполнен ряд работ во взаимодействии с такими организациями и фирмами, как Institut spawalnictwa w Gliwicach (Польша), «Linge-KCA-Dresden», «Benzel industries GmbH» (Германия), «Airbus industrie» (Франция), «Consortium service managment group», Inc., «Performance Alloys Materials», Inc. (США), «Farrik van plaatwerken van Dam» (Нидерланды), Институт машиностроения и материалов (Корея), Институт электросварки им. Е. О. Патона, Институт газа НАН Украины, Институт хирургии и трансплантологии АМН Украины, НПО «Море», Харьковский авиационный институт.

Благодаря международному взаимодействию выполнен достаточно широкий спектр разработок, среди которых электронно-лучевая сварка крупногабаритных тонкостенных конструкций из алюминиевых сплавов, снятие напряжений взрывом в сварных образцах сосудов давления, внутреннее плакирование стальных цилиндрических заготовок с помощью сварки взрывом, сварка мягких живых



ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

тканей и другие проекты. Проиллюстрированы лишь некоторые из разработок, выполненных Институтом электросварки совместно с МАС.

С каждым годом МАС накапливает опыт в привлечении финансовых средств и осуществляет поиск партнеров для реализации проектов как по новым перспективным разработкам, так и по освоению уже готовых разработок. При соответствующей заинтересованности организаций есть все необходимые условия для реализации сотрудничества в рамках совместных проектов.

Для активизации финансово-экономической деятельности МАС организовала местный благотворительный фонд «Содружество сварщиков», призванный оказывать помощь в реализации научно-образовательных программ и финансировании конкретных целевых программ. Это позволило привлечь к сотрудничеству юридических и физических лиц Украины и других государств для мобилизации финансовых, материально-технических и других ресурсов, расширить источники поступления. Благодаря привлеченным спонсорским средствам были дважды проведены международные конференции.

Как видим, рассмотренные направления деятельности МАС взаимосвязаны между собой таким образом, что информация и реклама способствуют созданию проектов, а средства, полученные от их реализации, в определенной степени могут способствовать развитию информационно-рекламной деятельности.

Подводя итоги десятилетней деятельности МАС, можно констатировать, что несмотря на естественные, сопутствующие этому переходному периоду трудности, деятельность ассоциации была достаточна успешной и полезной. Она позволила сохранить многолетние установившиеся ранее творческие связи ученых и специалистов, работающих в области сварочной науки и техники.

Следует отметить активную работу в рамках МАС ее учредителей — Институт сварки в Гливицах (Польша), Промышленную группу ООО «Ротекс-К» (Москва), Грузинскую сварочную ассоциацию (Тбилиси), KZU Holding Ltd. (София), Институт сварки и защитных покрытий (Минск), Otto-Von-Guericke-Universitat (г. Магдебург, Германия), «Consortium service management group», Inc. (г. Корпус Кристи, США). Деятельность МАС дает возможность находить новых партнеров, устанавливать многосторонние и двусторонние деловые контакты, осуществлять оперативный обмен информацией о новейших достижениях в науке и технике, а также в решении возникающих проблем, совместно участвовать в разработках научно-технических проектов, финансируемых специальными фондами, осуществлять поиск заказов и их выполнение объединенными усилиями, накапливать и развивать уникальный опыт многостороннего взаимодействия партнеров на взаимовыгодных условиях.



УДК 621.791:621.643

СИНТЕЗ ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СВАРКИ И ПАЙКИ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ ПО ЗАДАННОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ В ЗОНЕ ШВА

А. С. Письменный, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины)

Описаны метод синтеза электромагнитного поля и конструкции индуктора, реализуемые при использовании импедансных граничных условий и задании распределения удельной мощности на поверхности нагреваемой детали.

Ключевые слова: сварка, пайка, синтез, электромагнитные поля, индукторы, катушки (обмотки), трубы, фланцы

При сварке и пайке большое значение для получения качественного шва, соединяющего детали, имеет достижение заданных (по технологическим требованиям) распределений температуры и удельной мощности в зоне шва.

При использовании индукционного нагрева для указанной цели важнейшей задачей является определение конструкции и размеров индуктора, зазора между индуктором и нагреваемыми деталями, а также электрических параметров индуктора, обеспечивающих заданный режим нагрева.

Указанную задачу традиционно решают методами последовательных приближений, обычно при постановке краевой задачи электромагнитного поля, возбуждаемого током индуктора (ток, форма и размеры индуктора задаются исходя из опыта расчетчика — нулевое приближение), в нагреваемых деталях и в окружающем их пространстве. Размеры и другие параметры индуктора определяются в ходе расчетов удельной мощности в зоне шва, повторяя процесс расчета до достижения нужного результата.

Очевидно, что такой подход является трудоемким и неоптимальным (с позиций разработчиков технологических процессов и оборудования для их реализации).

Для этих целей целесообразно применение таких методов синтеза, при которых необходимые параметры электромагнитного поля и конструкции индуктора определяют непосредственно по заданному распределению векторов поля вдоль поверхности нагреваемых деталей.

Существует ограниченное количество аналитических или численных решений подобных задач [1–3]. Например, в случае плоских электромагнитных полей возникает необходимость решения задачи Коши для уравнения Лапласа на полуплоскости. Это больше соответствует случаям, при которых независимой переменной является время, в отличие от задач, когда независимым аргументом служит пространственная координата, как в рассматриваемой задаче.

Дополнительным ограничением при решении задач синтеза является, во-первых, возможность задания на границе либо предельного значения потенциала, либо его нормальной производной. Независимое задание того и другого несет математическое противоречие, вследствие чего задача становится неразрешимой при строгой постановке. Во-вторых, решения задачи Коши для уравнения Лапласа неустойчивы по отношению к малым изменениям краевых условий, что приводит к необходимости существенного ограничения области поля, в которой можно получить приближенное решение [1, 2].

Существует, однако, возможность регуляризации задач синтеза, обеспечения разрешимости и устойчивости их решения путем применения при постановке задач импедансных граничных условий (ИГУ). Эти условия однозначно связывают значения потенциала и его нормальной производной (напряженности электрического E и магнитного H полей). Целесообразно также применение граничных условий нового типа — энергетических, связывающих значение потенциала на границе тел с удельной мощностью (поверхностной P_e или объемной P_{ev}) [4–7].

Приведем методику решения упомянутых задач в терминах векторного потенциала магнитного поля $\vec{A}(r, \theta, z)$ в цилиндрической системе координат.

Ставится задача определения конструкции, размеров и электромагнитных параметров расположенного вне поверхности нагреваемого тела индуктора, обеспечивающего заданные распределения электромагнитного поля и удельной мощности в зоне шва, а значит, и заданный режим ее нагрева.

Векторный потенциал в области, являющейся внешней по отношению к нагреваемому телу, должен удовлетворять уравнению Лапласа

$$\Delta \vec{A} = 0 \quad (1)$$

и условию излучения на бесконечности [8]

$$\lim_{r, z \rightarrow \infty} \vec{A} = 0. \quad (2)$$

На поверхности нагреваемого тела выполняется ИГУ, в общем случае справедливое для расчета двух- и трехмерных полей, в том числе для тел с криволинейными границами:

$$[\vec{n} \times \vec{E}_e] = Z_e [\vec{n} \times [\vec{n} \times \vec{H}_e]], \quad (3)$$

где \vec{n} — орт нормали к поверхности нагреваемого тела; Z_e — волновое сопротивление поверхности тела (нормальный поверхностный импеданс) в той же точке; $\vec{E}_e = -j\omega \vec{A}_e$ — для комплексных амплитуд векторов электромагнитного поля и рассматриваемого здесь случая задач с осевой симметрией нагреваемых тел и токоведущих контуров; $\vec{H}_e = (1/\mu_0) \text{rot}_{n_e} \vec{A}_e$.

В данной задаче \vec{A}_e является известной функцией координат и удельной мощности [4–7]:

$$\vec{A}_e = jZ_e (2P_e \text{Re}[Z_e])^{1/2} / \omega \quad (4)$$

при заданном распределении P_e и

$$\vec{A}_e = (\rho P_{ev})^{1/2} / \omega \quad (5)$$

при заданном распределении P_{ev} .

Наиболее простым и удобным для решения краевой задачи (1)–(4) или (1)–(3), (5) является метод аналитического продолжения на основе равномерного приближения искомой функции рядом Тейлора [1]. При этом не всегда может быть удовлетворено условие на бесконечности (2). Однако зачастую это не имеет практического значения, так как необходимо обеспечить заданную точность в определении электромагнитного поля в ближней окрестности нагреваемых деталей (в пределах воздушного зазора между деталями и индуктором).

После определения поля следует выполнить этап физической реализации краевых условий за пределами заданной окрестности деталей, но в пределах области, в которой определено поле путем размещения источников поля вдоль выбранной границы: линейной плотности тока (численно равной тангенциальной компоненте напряженности поля) и ферромагнетиков (магнитопроводов) — вдоль эквипотенциальных участков границы. На этом решение задачи синтеза завершается [1].

С учетом условий технической реализуемости полученной идеальной конструкции индуктора практически невозможно точно реализовать получающееся распределение плотности тока. Проблема заключается в том, что в действительности



источниками электромагнитного поля индуктора являются контуры тока и системы контуров (витков обмотки). Они имеют конечные размеры и зачастую мало зависящие от токов в нагреваемых деталях распределение плотности тока вдоль обращенной к деталям поверхности витков индуктора.

Поэтому при решении задачи целесообразно сразу учесть известную информацию об источниках поля и ввести ее в рассмотрение в явном виде, поскольку в силу цилиндрической симметрии известна их структура. При этом можно еще более упростить процедуру синтеза.

В новой постановке для того, чтобы учесть известную структуру источников поля, необходимо ввести условие допустимой погрешности реализации заданного на поверхности нагреваемых деталей векторного потенциала \vec{A}_e :

$$|\vec{A}_e - \vec{A}_{ei}| < \epsilon, \quad (6)$$

где \vec{A}_{ei} — векторный потенциал магнитного поля, генерированный на поверхности нагреваемых деталей током индуктора; $\epsilon \geq 0$ — произвольное малое число, определяющее допустимую погрешность в реализации поля на поверхности деталей.

При этом целесообразно изменить постановку задачи синтеза, сформулировать ее как задачу минимизации функционала

$$F = \iint [\vec{A}_e(r_{ek}, z_{ek}) - \vec{A}_{ei}(I_i, r_i, z_i)]^2 dr dz, \quad (7)$$

где I_i — ток индуктора; индекс i относится к координатам источников электромагнитного поля (индуктору), а индекс k — к координатам зоны поверхности нагреваемых деталей, в которых задано распределение (4) или (5).

Благодаря тому, что функционал (7) необходимо решать для поверхности деталей, он существенно упрощается и принимает вид

$$F = \int [\vec{A}_e(r_{ek}, z_{ek}) - \vec{A}_{ei}(I_i, r_i, z_i)]^2 dx. \quad (8)$$

В том случае, если функции (4) или (5) заданы в ограниченном числе точек поверхности нагреваемых деталей (точках коллокаций), то можно использовать запись функционала (8) в форме

Method of synthesis of electromagnetic field and design of inductor are described. The method is realized by using impedance boundary conditions and preset distribution of specific power at the workpiece surface being heated.

Поступила в редакцию 25.07.2000

УДК 621.778.28:331.875.4

ПРАВКА ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ НА АВТОМАТАХ

С. А. ВАСИЛИШИН, канд. техн. наук (КПО «Пригма-Пресс», г. Хмельницкий, Украина)

Описаны виды и особенности технологических процессов правки металлических материалов из бунта. Рассмотрены конструкции правильных рамок и отличия их работы. Предложена усовершенствованная конструкция правильной рамки, позволяющая устанавливать различные схемы ее регулировки в зависимости от диаметра и вида материала, подвергаемого правке.

Ключевые слова: правка проволоки, роликовая правка, всесторонняя правка, правильная рамка, конструкции, схемы настройки

При всем многообразии технологических процессов и конструкций оборудование по изготовлению изделий из проволоки (в частности электротротов) имеет общие операции. Среди них наиболее важной является правка проволоки из бунта.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству правки, а также от профиля поперечного сечения исходного материала существуют два основных принципиально различных технологических процесса правки материала в бунтах:

$$F = \sum_{k=1}^N [\vec{A}_e(r_{ek}, z_{ek}) - \vec{A}_{ei}(I_i, r_i, z_i)]^2 = 0, \quad (9)$$

где k — номер точки коллокации; N — количество точек коллокации.

Полученное решение задачи синтеза по определению удовлетворяет уравнениям электромагнитного поля и граничным условиям. Поэтому оно является искомым решением в силу теоремы единственности решения для системы уравнений Максвелла [8].

Указанным путем был выполнен синтез конкретных индукционных систем для нагрева под пайку и сварку труб [4] и фланцевых соединений [6] труб.

Экспериментальная проверка показала, что погрешность расчетов по разработанному методу лежит в пределах единиц процентов. Это позволяет рекомендовать его для применения при разработке и проектировании оборудования для технологических процессов.

1. Колесников Э. В. Синтез двумерного магнитного поля у ферромагнитной плоскости // Изв. вузов. Электромеханика. — 1966. — № 5. — С. 487–505.
2. Колесников Э. В. Синтез магнитного поля с помощью магнетиков конечной проницаемости // Там же. — № 7. — С. 691–709.
3. Волынский Б. А., Бухман В. Е. Модели для решения краевых задач. — М.: Физматгиз, 1960. — 452 с.
4. Письменный А. С. Синтез индукционных систем для сварки и пайки // Автомат. сварка. — 1990. — № 5. — С. 11–15.
5. Письменный А. С. Расчет индукционных систем электротермической гибки сварных трубопроводов // Там же. — 1991. — № 10. — С. 39–42.
6. Письменный А. С., Прокофьев А. С., Шиллов М. Е. Синтез индукционных систем для пайки фланцевых соединений труб по заданному распределению мощности в зоне шва // Там же. — 1999. — № 8. — С. 17–21.
7. Письменный А. С. Импедансные граничные условия на поверхности электропроводных тел в задачах электротермии // Доп. НАН України. — 1995. — № 1. — С. 64–66.
8. Кошляков Н. С., Глинэр Э. Б., Смирнов М. М. Уравнения в частных производных математической физики. — М.: Выш. шк., 1970. — 712 с.

© С. А. Василишин, 2001

роликовая правка в двух взаимно перпендикулярных плоскостях посредством многократного поперечного пластического изгиба (роликовые правильные машины);

всесторонняя правка путем многократного пластического поперечного изгиба в сухарях (фильерах) вращающейся правильной рамки.

Правка металла с помощью роликов обычно применяется для сортового и фасонного проката. Для обеспечения этого процесса в двух плоскостях часть роликов устанавливают в горизонтальной плоскости, другую — в вертикальной. В этих машинах правка осуществляется между двумя рядами роликов, причем ролики одного ряда размещены по отношению к роликам другого ряда в шахматном порядке. Материал при прохождении между роликами подвергается многократным, чере-

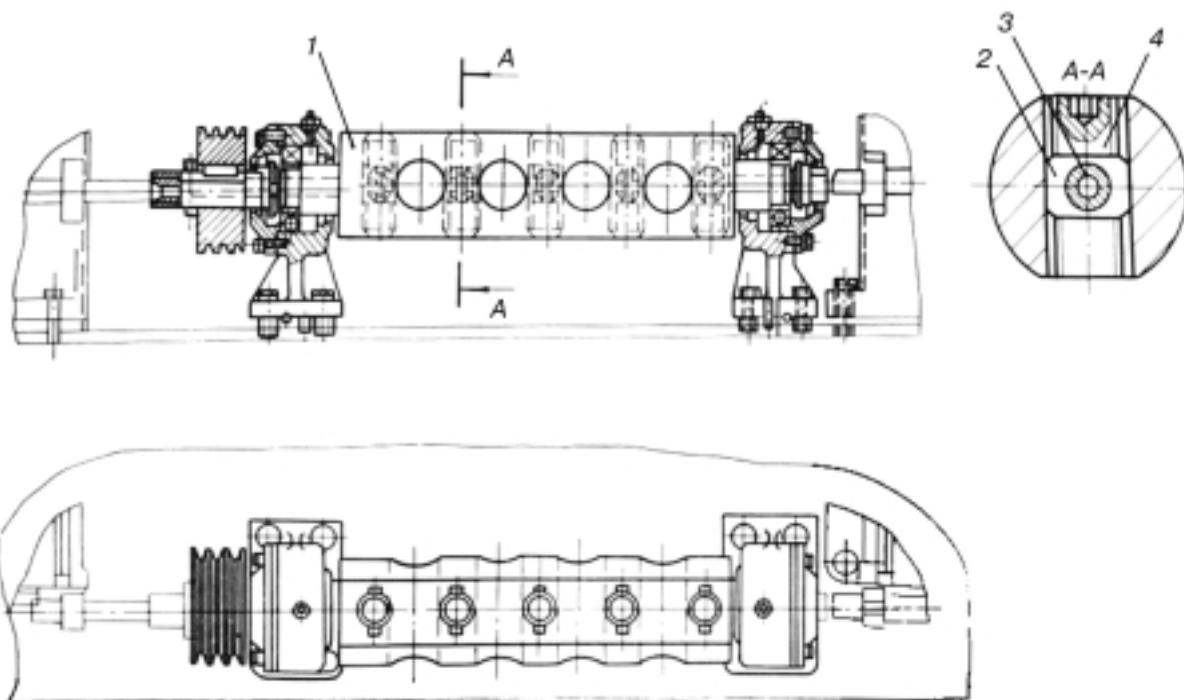


Рис. 1. Правильная рамка с правильными втулками. Обозначения поз. 1–4 см. в тексте

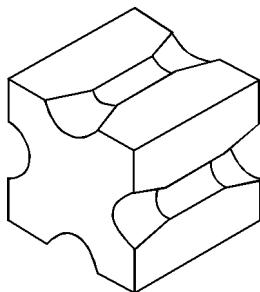


Рис. 2. Четырехгранный правильный сухарь

дующимся в противоположные стороны поперечным изгибам (перегибам) с напряжениями, превосходящими предел текучести материала, в результате чего и достигается его правка.

Правильно-роликовые устройства успешно используются в пружино- и шайбонавивочных, проволочно-гвоздильных, сеткоиззальных автоматах. Для правки фасонного проката они применяются также в правильно-отрезных автоматах.

Всесторонняя правка проволоки может применяться только для правки металла круглого сечения и производится с помощью быстровращающейся правильной рамки со специальными сухарями. Материал, протаскиваемый при вращении рамки сквозь смещенные относительно оси рамки сухари, выпрямляется посредством многоярусных, чередующихся в противоположные стороны пластических поперечных изгибов. Основным преимуществом процесса правки с помощью вращающейся правильной рамки по сравнению с процессом правки с помощью роликов является значительно более высокое качество выпрямленного ма-

териала. Недостатком этого способа является невозможность производить правку материала профильного сечения.

Правильные рамки правильно-отрезных автоматов применяются для правки только круглого проката. Существуют различные виды правильных рамок, которые имеют практическое применение. Одной из наиболее распространенных является конструкция правильной рамки с правильными втулками (рис. 1), применяемая на правильно-отрезных автоматах моделей И6119 и И6122, выпускаемых Хмельницким заводом КПО «Пригма-Пресс».

Правильная рамка конструктивно представляет собой цилиндрический вал 1 на двух подшипниковых опорах. Вал имеет сквозной канал, образованный отверстиями, выполненными в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и смещеными относительно друг друга на шаг расположения правильных втулок. В отверстии устанавливаются сухари 2 с правильными втулками 3, которые фиксируются в радиальном направлении с двух сторон винтами 4. С помощью этих винтов смещением оси втулок устанавливается перегиб проволоки в правильной рамке. Достоинством такой правильной рамки является простота изготовления правильных втулок, недостатками — быстрый износ правильных втулок по внутреннему диаметру несмотря на то, что они изготавливаются из высококачественных инструментальных сталей, а также необходимость установки втулок на ось при заправке проволоки в правильную рамку. Для устранения последнего некоторые фирмы, эксплуатирующие данные автоматы, устанавливают правильные втулки из твердого сплава. Тогда их стойкость возрастает в десятки раз. Если требуется минимальное деформирование наружной поверхности выпрямляемой проволоки (для цветных металлов и сплавов), то правильные втулки рекомендуется изготавливать из мягких материалов.

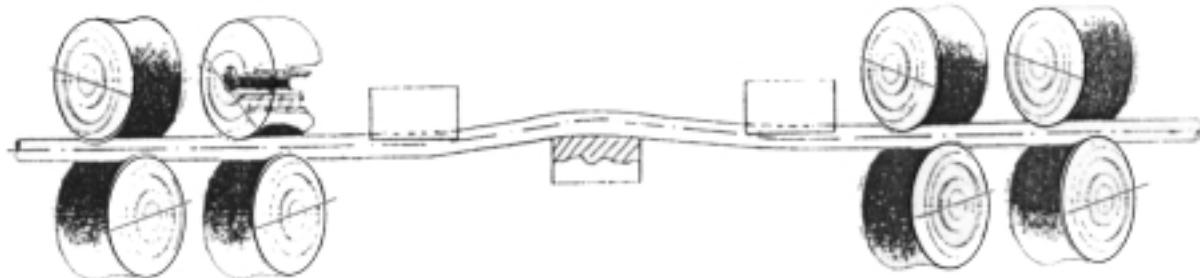


Рис. 3. Схема правильной рамки с вращающимися рамками и правильными сухарями

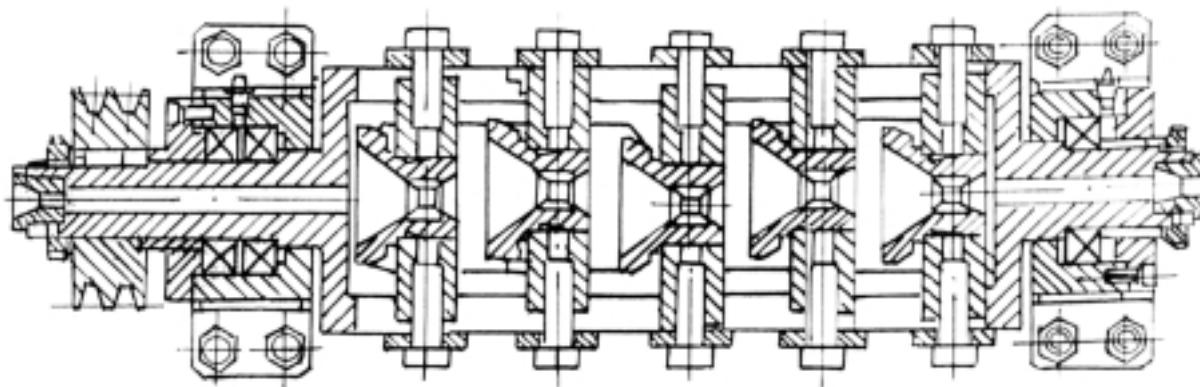


Рис. 4. Правильная рамка со смещающимися сухарями в двух плоскостях

Разновидностью правильной рамки с правильными втулками является рамка с разъемными правильными сухарями, которые имеют четырехгранный форму (рис. 2).

При стыке двух правильных сухарей образуется отверстие, через которое в правильной рамке протягивается проволока. Достоинство указанных сухарей заключается в том, что при износе одного из канала сухари поворачиваются на 90°, и в работе будет уже находиться новый канал.

Такую конструкцию имеет правильная рамка на правильно-отрезном автомате для заготовок электродов модели ИА6218, изготовленная Хмельницким заводом КПО «Пригма-Пресс».

Отдельные зарубежные фирмы на своих правильно-отрезных автоматах устанавливают комбинированные правильные рамки с вращающимися роликами и правильными сухарями. Схема правильной рамки израильской фирмы «Videx» с четырьмя парами вращающихся глобоидных роликов и тремя сухарями в виде правильных втулок приведена на рис. 3.

Данная конструкция правильной рамки позволяет подавать проволоку без отдельного механизма за счет осевой составляющей, образующейся при вращении скрещенных роликов вместе с правильной рамкой. Недостаток такой конструкции — нестабильность скорости подачи, усложненная конструкция рамки. Греческая фирма «Pratto» в своих правильно-отрезных автоматах

использует правильные рамки с вращающимися правильными втулками, устанавливаемыми на подшипниках в корпусах. Корпуса передвигаются по наклонным пазам корпуса рамки, что позволяет перемещать втулки относительно оси подачи проволоки. При вращении правильной рамки подшипники вращаются вокруг втулок, а втулки в свою очередь получают вращение от осевого перемещения проволоки через правильную рамку. В результате этого трение скольжения во втулках минимальное.

С учетом указанных конструкций правильных рамок для автомата И6120 была разработана новая конструкция (рис. 4). Она представляет собой литой полый вал, внутри которого в корпусах закреплены направляющие с запрессованными правильными втулками. Вдоль оси правильной рамки с двух сторон имеются пазы, по которым могут перемещаться корпуса вдоль и поперек правильной рамки. Такая конструкция позволяет устанавливать всевозможные схемы настройки правильной рамки для различных диаметров и материалов. При этом можно изменять расстояние между правильными втулками и смещение относительно оси подачи, выбирая оптимальные режимы переработки. Направляющие имеют увеличенный заходный конус, что позволяет производить заправку проволоки без смещения правильных втулок на ось подачи.

Types and peculiarities of technological processes of straightening of metallic materials from bundles are described. Designs of straightening frames and difference in their operation are considered. The modified design of the straightening frame is suggested which makes it possible to set different schemes of its adjustment depending on the diameter and type of material to be straightened.

Поступила в редакцию 20.03.2001

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ пайки неповоротного соединения стыка трубчатой конструкции и трубопровода в труднодоступном месте, отличающийся тем, что соединительная муфта выполнена из материала, имеющего высокую теплопроводность (350...400 Вт/(м·К)), например, из меди, при этом соединительная муфта имеет только одну плоскость симметрии, проходящую через ось отверстия поверхности перепада наружных диаметров соединительной муфты, образующие нагревательные площадки, расположены в плоскости, перпендикулярной направлению источника нагрева, например, электронного луча, причем нагрев стыка трубчатой конструкции осуществляют электронным лучом путем попеременного перемещения его с одной нагревательной площадки соединительной муфты на другую. Патент Украины 27794. А. Р. Булацев, В. Ф. Лапчинский, А. А. Загребельный, Л. А. Лиходед (ИЭС им. Е. О. Патона) [5]. Устройство для изготовления паяных многослойных металлических труб, отличающееся тем, что оно снабжено дополнитель-

но парой контактных роликов с приводом их вращения, расположенных перед основной парой контактных роликов, соединенных с источником питания и электрически связанных с последней по ходу технологического процесса парой формирующих роликов, которые электрически связаны с основной парой контактных роликов. Патент Украины 27880. В. К. Хайнц, М. Удо (Зиба Аутоматов, Германия) [5].

Способ алюмотермической сварки рельсов заливкой промежуточного металла с легированием стальной отливки в зоне головки рельса, отличающийся тем, что дополнительные легирующие добавки вводят по окончании алюмотермической реакции и отделения стали от шлака через затвор в литейной форме и при закрытом переливе в литейной форме. Патент Украины 28055. Ф. Кустер, Г. Й. Мульдер, М. Штайхорст, Д. Макрей (Электро-Термит ГмбХ, Германия) [5].

Способ алюмотермической сварки рельсов заливкой промежуточного металла с легированием стальной отливки в зоне головки рельса, отличающийся тем, что дополнительные легирующие добавки вводят после окончания алюмотермической ре-

*Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях Украины «Промисловая власність» (№ 5–6 за 2000 г.), РФ «Изобретения. Полезные модели» (№ 3–36 за 2000 г. и 1–4 за 2001 г.). В квадратных скобках указан номер бюллетеня.



акции и отделения стали от шлака во время выпуска стали перед заливкой в полость, образованную литейной формой и при закрытом переливе в литейной форме. Патент Украины 28056. Г. Й. Мульдер, М. Штайхорст (Электро-Термит ГмбХ, Германия) [5].

Способ лазерной обработки рабочей заготовки, отличающийся тем, что поток газа вводят в проход между внутренней поверхностью корпуса и внешней поверхностью держателя линзы-сопла и направляют на обращенную к заготовке поверхность фокусирующей линзы путем вихревого воздействия на внутреннюю поверхность линзы, формируя кольцевым распределителем набор потоков газа, а затем направляя полученный вихрь газа от линзы к рабочей заготовке. Патент Украины 27963. В. А. Джеймс, С. Х. Брэйткопф, Р. Х. Киршофф, Р. Дж. Проуел (Мак-Нэйл ППС, США) [5].

Самозащитный гранулированный флюс для электродуговой сварки высокопрочной стали, отличающийся тем, что для уменьшения содержания диффундирующего водорода в сварном шве до менее 3,0 мл / 100 г флюс содержит дополнительно галогенированный полимер с размером частиц 0,1...30 мкм при следующем соотношении компонентов, мас. %: 25...37 MgO, 10...20 Al₂O₃, 20...32 CaF₂, 0,1...5,0 галогенированного полимера. Легирующие и/или шлакообразующие, и/или раскисляющие, и/или связующие компоненты остальное. Патент Украины 29386. Д. Гонсален, Р. Н. Кудитипуди, Р. Ф. Янг (Дэй Линкольн Электрик компани, США) [6].

Способ изготовления порошковой проволоки методом прокатки, отличающийся тем, что намотку готовой проволоки на катушку начинают со стороны фланца катушки, расположенного по одну сторону от технологической оси со стенкой профиля, имеющей меньшую высоту, при верхней намотке проволоки на катушку, и со стороны фланца катушки, расположенного по одну сторону от технологической оси со стенкой профиля, имеющей большую высоту, при нижней намотке проволоки на катушку. Патент Украины 13903. Ю. И. Баты, В. М. Титиевский, Ф. А. Писаренко и др. (ОАО «Завод «Универсальное оборудование») [5].

Способ зажигания сварочной дуги между неподвижным электродом и свариваемой металлической заготовкой, отличающийся тем, что высокочастотную электродугу создают между мундштуком и заготовкой путем подключения импульсного генератора к мундштуку и к заготовке. Патент РФ 2160178. В. Клебл, Г. Титце (Алькатель Кабель АГ инд Ко, Германия) [34].

Система управления процессом электронно-лучевой сварки, отличающаяся тем, что система снабжена второй электронно-лучевой пушкой со вторым энергоблоком, указанное устройство управления параметрами выполнено с возможностью управления параметрами работы электронных лучей первой и второй электронно-лучевых пушек, связанное с энергоблоками указанных электронно-лучевых пушек, а устройство управления механизмами перемещения узлов системы связано с указанным устройством управления параметрами. Патент РФ 2161085. С. В. Чуклинов, С. И. Глазов, В. В. Обознев (ЗАО «Авиационные технологии») [36].

Способ сварки кольцевых и круговых швов погруженным неплавящимся электродом, отличающийся тем, что в изделии в начале шва делают углубление, в которое устанавливают электрод на требуемую глубину, и начинают процесс с постоянными скоростью сварки и током. Патент РФ 2162027. О. С. Кисилев, В. В. Бродихин, А. Р. Султанова и др. (Уфимский ГАТУ) [2].

Инструмент для дезинтеграции, обработки и сварки материалов, содержащий корпус с рукоятью для руки оператора, камеру рабочего агента, рабочее сопло, воспламенитель в виде разрядных электродов, соединенных с источником их питания через пусковое приспособление в виде кнопки, встроенной в рукоять, и направляющий ролик для ориентирования корпуса и рабочего сопла под необходимым углом к материалу и для опоры на материал, расположенный на торце корпуса. Приведены отличительные признаки инструмента. Патент РФ 2162399. А. И. Плу-

гин, А. Ю. Погорелов, Ю. В. Попов [3].

Способ электроконтактной сварки листового материала с электропроводным покрытием с помощью роликовой контактной сварочной машины, отличающийся тем, что в процессе сварки определяют толщину покрытия перед зоной сварки, по меньшей мере, с одной стороны заготовки и оказывают воздействие на источник сварочного тока в зависимости от толщины покрытия для поддержания преимущественно постоянного ввода мощности в зону сварки. Патент РФ 2162396. М. Баумгартнер (Эльпартроник АГ, Швейцария) [3].

Паяльник электрический, содержащий полый корпус, закрепленные внутри с зазором относительно корпуса нагреватель и паяльный стержень, отличающийся тем, что паяльный стержень закреплен посредством упругого элемента. Патент РФ 2162773. А. Г. Художников [4].

Устройство для газопламенной обработки материалов, содержащее электролизно-водный генератор, водяной затвор, газоосушитель, предохранительный клапан, сухой затвор, узел регулирования газовой смеси, обогатитель, гибкий трубопровод и газопламенную горелку. Приведены отличительные признаки устройства. Патент РФ 2162774. В. Н. Хромов, А. Л. Семишин (Орловская сельскохозяйственная академия) [4].

Устройство для автоматической сварки и наплавки дискообразных и цилиндрических изделий с опорными осями, отличающееся тем, что оно снабжено дополнительной ходовой тележкой с по меньшей мере одним колесом и средством для центрирования устройства относительно изделия, выполненным в виде кольца с внутренним диаметром, большим диаметром опорной оси изделия, и состоящего из двух полуколец, одними концами соединенных шарниро одно с другим, а другими — при помощи разъемного соединения, на кольце установлены упоры с возможностью фиксированного радиального перемещения и взаимодействия с боковой поверхностью опорной оси изделия, при этом одно из полуколец одним концом неподвижно соединено с основной ходовой тележкой, а другим — с дополнительной ходовой тележкой. Патент РФ 2162775. П. Б. Перегудин, С. Б. Перегудин, Б. П. Перегудин (ТОО «Директл») [4].

Устройство для сварки, представляющее сварочный трансформатор, состоящий из магнитопровода, первичной и вторичной обмоток, у которого вторичная обмотка подключена к дуговому промежутку, отличающееся тем, что обмотки соединены между собой, причем конец первичной обмотки соединен с началом вторичной, а начало первичной обмотки и конец вторичной подключены к сети. Патент РФ 2162776. Д. В. Гуков, А. Л. Пеледов, А. А. Еруманов (Военный инженерно-технический университет) [4].

Источник питания для ручной дуговой сварки, отличающийся тем, что батареи конденсаторов его присоединены к одному и тому же выводу вторичной обмотки трансформатора, а между плачами мостового выпрямителя установлен слаживающий дроссель с расщепленными обмотками. Патент РФ 2162777. В. П. Кузнецов (Комсомольский-на-Амуре ГТУ) [4].

Способ сварки погруженным неплавящимся электродом с использованием технологической пластины, при котором электрод устанавливают на требуемую глубину, отличающийся тем, что технологическую пластину выполняют со скосом, а электрод устанавливают на требуемую глубину до начала процесса сварки за счет наличия скоса на технологической пластине. Патент РФ 2162778. О. С. Кисилев, В. В. Бредихин, О. В. Безрученко и др. (Уфимский ГАТУ) [4].

Вольфрамовый электрод для дуговой сварки, состоящий из цилиндрического корпуса и конусной части, отличающийся тем, что вершина конусной части выполнена с полусферическим скруглением, а электрод содержит легирующие элементы, расположенные в его объеме переменно с увеличением их концентрации по направлению к осевой части электрода. Патент РФ 2162779. Б. И. Долотов, В. И. Муравьев, В. И. Меркулов и др. (Комсомольское-на-Амуре авиационное ПО) [4].



ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ



(США). — 2000. —
September/October
(англ. яз.)

Belohlav A. Понимание основных механизмов пайки, с. 11–14.

Kuvin B.F. Сварка — путь от ремесла к карьере, с. 15–17.

Cadiz A. Дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде защитного газа с проплавлением корневого шва — для начинающих и специалистов, с. 19–20.

Конструкция соединения, выполняемого дуговой сваркой вольфрамовым электродом в среде защитного газа, с. 21.



(Австралия). — 2000.
— Vol. 45, Second
Quarter (англ. яз.)

Brandt M. Промышленные лазеры — от автоматизированного до быстрого промышленного внедрения для выполнения резки, сварки, сверления и поверхностной обработки материалов, с. 8–11.

Anderson T. Промышленные лазеры для выполнения операций по техобслуживанию, с. 12.

Sampson M. Производственное использование закаленных и отпущенных сталей, с. 13.

Термическая поверхностная резка, с. 14.

Lucas B., Verhaeghe G., Leggatt R., Mathers G. Коробление — типы, причины и меры устранения, с. 21–23.

Ball R. Окончательная обработка сварных изделий из нержавеющей стали, с. 26–27.

Powell G., Bee J. V. Влияние микроструктуры на преждевременное разрушение твердых наплавок на основе высокохромистого белого чугуна, с. 33–35.

Vilarinho L., Scotti A. Альтернативный алгоритм для синергетической импульсной дуговой сварки алюминия плавящимся электродом в среде защитного газа, с. 36–47.

Davidson L., Phillips R. Расходуемые материалы для дуговой сварки порошковой проволокой, с. 45.

(Австралия). — 2000. —
Vol. 45, Third
Quarter (англ. яз.)

Keitel S. Влияние компьютеров на развитие сварочного производства, с. 2.

Hante A., Scharff A. Применение программного обеспечения для проектирования, управления и составления технической документации по выполнению сварочных работ, с. 6–7.

Kim I.-S., Park C.-E., Cha Y.-H., Kim J.-Y. Использование нейронных сетей для контроля ширины валика в процессе дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, с. 33–37.

Dumovic M. Влияние снятия напряжений на твердость наплавок на железной основе, стойких к износу при трении металла о металл, с. 38–44.

O'Brien M., Lumb R. F. Влияние повторных циклов термообработки после сварки на свойства закаленно-отпущеных плит для сосудов давления — некоторые предварительные наблюдения, с. 45–47.



(Польша). — 2000. —
Vol. 44, № 5 (пол. яз.)

Zeman W. Источники снижения затрат в сварочном производстве, с. 28–36.

Warsz K., Czworog B. Влияние проверки и утверждения технологии сварки на качество и стоимость продукции, с. 36–43.

Klimpel A. Качество и затраты при дуговой наплавке самозадающей порошковой проволокой, с. 44–48, 53–56.

Sawickij M. M., Mielniczuk G. M., Lupan A. F., Sawickij A. M., Olejnik O. I. Сварка сталей в инертных газах с активирующими флюсами, с. 61–69.

Ammann T. Сварка сталей типа duplex в среде защитных газов, с. 69–74.

Sikorski M. Потенциальная экономия средств при сварке порошковыми проволоками компонентов из нержавеющей стали, с. 74, 83–88.

Mikno Z., Oborski W., Piatek M. Технология средней частоты, это новые возможности снижения затрат и улучшения качества точечной сварки, с. 91–96.

Szubryt M. Использование механического снятия напряжений в качестве метода, исключающего затраты, связанные с термической обработкой сосудов давления. — Анализ напряженного состояния методом конечных элементов, с. 96, 101–104, 109–111.

Baluch D., Kowalczyk R., Paruzel S. Роль защитных газов в повышении качества и производительности MIG/MAG сварки углеродистных сталей, с. 111–113.

Borgosz W., Siennicki A. Высокопроизводительная сварка TANDEM — примеры использования и эффекты, с. 114–116, 121–123.

Goszkowski S., Kowalik R. APACHI — альтернативный газ для резки, пайки и подогрева, с. 124–126.

Grabka J. Внедрение Европейской директивы 97/23/ЕС о сосудах давления в аспекте качества, с. 127–130, 135–136.

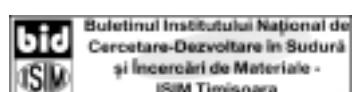
(Польша). — 2000.
— № 6 (пол. яз.)

Brozda J., Zeman M. Свойства сварных соединений из стали P91, выполненных материалами различных марок, с. 34–43.

Winiowski A. Твердая пайка алюминия и его сплавов — новые технологические тенденции, с. 44–47.

Pietras A., Papkala H., Zadroga L. Точечная сварка оцинкованных сталей с дополнительным органическим покрытием типа solplex, с. 50–55.

Boron S. Влияние технологических параметров экструзионной сварки термопластов на качество стыковых соединений, с. 58–65.



(Румыния). — 2000. —
№ 2 (рум. яз.)

Dehelean D., Markocsan N. Современное состояние применения технологий термического напыления в промышленности Румынии, с. 5–9.

Popescu M., Caneparu A. Термическое напыление — база данных, с. 10–13.

Radu B. Математическое моделирование термической области, развивающейся в разнородных сварных соединениях, выполненных сваркой трением, с. 14–21.

Arsan M. Стратегия производства механосварных соединений с использованием параллельных технических моделей, с. 22–25.

(Румыния), 2000. —
№ 3 (рум. яз.)

Konigshofer H., Bischof R., Petender E. Присадочные материалы для сварки колцевых швов трубопроводов, с. 5–15.

Rotaru F., Markocsan N., Fogarassy P., Serban F. Технологии нанесения слоев оксидной керамики с помощью процессов термического напыления, с. 16–20.



(Япония). — 2000. —
Vol. 50, № 6 (яп. яз.)

Tsuji R., Morikawa K., Ohue Y. at al. Статистический анализ предела прочности при растяжении соединений нержавеющей стали SUS304 с алюминиевыми сплавами 1050, 2017 и 6061, выполненных сваркой трением, с. 281–286.



J. JWS (Япония). — 2000. — Vol. 69, № 6 (яп. яз.)

Akahide K. Некоторые соображения по поводу научных исследований и разработок, с. 3–4.

Сварка резервуаров для хранения продуктов. Ч. 2. Сварка резервуаров из тонколистовой нержавеющей стали для подземного хранения природных сжиженных газов, с. 5.

Современное состояние и перспективы развития микротехники

1. Fujita H. Цель специального выпуска журнала, посвященного микротехнике, с. 6.

2. Shimoyama I. Основные направления развития микротехники, с. 7–11.

3. Ono T., Esashi M. Сверхтонкие микрозонды для нано-техники, с. 12–14.

4. Shikida M. Оценка свойств микропленочных материалов, с. 15–17.

5. Higurashi E., Sawada R. Оптические микросенсоры с встроенным полупроводниковым лазером, с. 18–20.

6. Maenaka K. Инерциальные сенсоры, с. 21–23.

7. Tokeshi M., Kitamori T. Комплексные химические исследования. Современное состояние оснащения химических систем, с. 24–26.

8. Konishi S. Дисперсионные бесконтактные системы с несущей, с. 27–29.

9. Murakami Y. Применение микротехники в биотехнологии, с. 30–31.

10. Kuwana Y. Сверхминиатюрные устройства для передачи мускульных потенциалов летающих насекомых, с. 32–34.

Oshima K., Yamane S. Применение современных систем управления сварочным процессом в промышленности. Ч. 2. Обработка информации и управление с помощью фази- и нейросетей, с. 35–45.

Yamamoto K., Koyama T. Сравнительный анализ стандартов на сварные конструкции. Сосуды давления, с. 46–52.

(Япония). — 2000. — Vol. 69, № 7 (яп. яз.)

Umeki T. Технические записки, с. 34.

Сварка напорных трубопроводов. Сварка толстолистовой высокопрочной стали, с. 5.

Сварка трением с перемешиванием (FSW)

1. Fukura T. Способ FSW, с. 6–10.

2. Okamura H. Особенности и ее применение в Японии, с. 11–17.

3. Enomoto M. Применение фирмами-поставщиками материалов, с. 18–22.

Kano F., Kawai A. Неразрушающий контроль методом позитронной аннигиляции, с. 23–27.

Nakamura T. Виды и характеристики электродов для контактной сварки, с. 28–34.



(Чехия). — 2000. — Vol. 38, № 4 (чешск. яз.)

Sob M., Friak M. Принципы расчета электронной структуры и магнитных свойств железа — последние достижения, с. 225–238.

Polak J., Kruml T. Циклическая пластичность, усталостная долговечность и структуры дислокаций в ферритной нержавеющей стали, с. 239–265.

Valka L. Применимость микромеханических моделей зарождения скола в зависимости от степени отпуска бейнитной структуры, с. 253–268.

Zahumensky P., Homolova V., Svoboda M., Janovec J. Влияние времени и выдержки при температуре на химический состав карбида M23C6 в стали 12CrMoV, с. 269–279.

Prauseis Z., Gliha V. Расчет критического раскрытия трещины образцов с плоской трещиной в разнопрочных сварных соединениях, с. 280–296.



(Германия). — 2000. — № 9 (нем. яз.)

Verges P. Регистрация сварочных параметров, с. 328, 330, 332.

Bouaifi B., Buchholz A. Синергетические эффекты между дугой и лазерным лучом при лазерной гибридной сварке, с. 334, 336, 338–339.

Wilde M., Hilbert K. Самый большой павильон без опор в Европе, с. 340, 342–343.

Aichele G. Снижение затрат в сварочной технике, с. 344–347.

Vollrath K. Ремонт инструмента путем наплавки, с. 350, 352, 354.

Инструктор по спецодежде для сварщиков, с. 355.

Hahn O., Koyoro M., Meschut G. Комбинация склеивания и соединения с использованием формовки, с. 356–358, 360, 361.

Реформы в управлении качеством, с. 361–364.

(Германия). — 2000. — № 10 (нем. яз.)

Blum P. Профессиональная подготовка — основа производительности предприятий, с. 370–371.

Aichele G. Механизированная плазменная сварка, с. 374–376, 378, 380.

Appel L., Netwig A. W. Сварка трением стали и алюминия, с. 381–383, 385.

Matthes K.-J., Kusch M. Влияние вида модуляции источника тока на результат сварки, с. 386, 388, 390–391.

Killing R. Воздействие на свариваемость металлических материалов, с. 392–394.

Propper P. Управление качеством и его последствия, с. 396–398.

(Германия). — 2000. — № 11 (нем. яз.)

Bouaifi B. Разрезанные по размеру тонкие листы с износостойким покрытием, с. 406, 408, 410.

Aichele G. Снижение затрат в сварочной технике, с. 412, 414, 416, 418, 420.

Schauder V., Schafer T. Контролируемая автоматическая сварка лап штабелерукладчиков, с. 424–429.

Kaulich G., Killin R. Разработка источников сварочного тока для дуговой сварки, с. 430, 432–435.

Haferkampf H., Goede M. Чистый отработанный воздух при обработке пластмасс лазерным лучом, с. 438, 440.



(Италия). — 2000. — № 5 (итал. яз.)

Meester B. Различные аспекты свариваемости углеродисто-марганцовистых и микролегированных сталей, с. 565–577.

Di Lucchio R., Leone G., Sanfilippo G. Анализ технологических характеристик полиэтилена третьего поколения PE 100, предназначенного для производства труб, с. 581–589.

Roselini C. Отчет о проведении аттестации и сертификации персонала, работающего в области сварки в Италии на протяжении десяти лет, с. 593–597.

Costa G., Giorgi S. Отчет о 53-м Международном конгрессе МИС, 9–14 июля 2000 г., Флоренция, с. 601–610.

Присуждение премии им. Е. О. Патона dr. S. Maddox (UK), с. 603.

Matsuyama K., Satonaka S. Обзор методов контроля сварных швов, выполненных контактной точечной сваркой, с. 615–623.

Hackl H. Пайка МИГ оцинкованных листов, с. 627–630.



(Польша). — 2000.
— № 8 (пол. яз.)

Kensik R., Kudla K. Коэффициент мощности импульсно-дуговой сварки, с. 5–8.

Adamiec P., Dziubinski J. Оценка водородного растяжения, с. 9–11.

Ambroziak A., Krynicki L., Koralewicz Z. Применение ультразвукового контроля для оценки качества точечных сварных соединений, с. 17–21.

Pfeifer T. Современные автоматические системы для плазменно-дуговой резки, с. 22–25.

(Польша). — 2000.
— № 9 (пол. яз.)

Nowacki J., Lukoje A. Потенциальные возможности и направления развития отдела сварки Технического университета г. Щецина, с. 1–3.

Banasik M. Молекулярный CO₂-лазер и его применение для сварки, с. 4–8, 13–14.

Lesinski K. J., Radomski R. Технико-экономические аспекты восстановления железнодорожных рельсов и стрелочных переводов, с. 15–17.

Pakos R. Слоистые трещины в низкоуглеродистых сталях, с. 18–20.



QUARTERLY
OF J.JWS
(Япония). — 2000.
— Vol. 18, № 4
(яп. яз.)

Hirata Y., Fukushima M., Sano T. et al. Явление микродугового разряда, с. 511–518.

Shimizu S., Yamanaka E., Okuda H. Изучение трещинообразования при ЭЛС сплава A6061 (Al–Si–Mg сплава), с. 519–526.

Tsuji Y., Yamamoto T., Miyasaka F., Ohji T. Математические модели процесса сварки МАГ, с. 527–533.

Utsumi A., Matsuda J., Yoneda M., Katsumura M. Применение сканирования CO₂-лазером для управления дугой при сварке ТИГ. Ч. 3. Высокоскоростная комбинированная дуговая и лазерная обработка поверхности, с. 534–539.

Hirata Y., Hirose S., Ogaki S. et al. Моделирование явления конвекции в жидкой ванне. Ч. 1. Изучение процесса проплавления при сварке ТИГ, с. 540–548.

Fujimoto K., Tominaga K., Nakata S. Высокоточное измерение положения методом раздельного формирования изображения полей видимости, с. 549–554.

Okui N., Ohga S., Saitoh T. et al. Высокоскоростная сварка МАГ в tandem угловых швов, с. 555–562.

Nishimoto K., Saida K., Kurora S. Метод предварительной активации поверхности для удаления оксидной пленки с нержавеющей стали SUS316 и улучшения ее свариваемости со сплавом A6061 при диффузионной сварке. Ч. 3. Диффузионная сварка алюминиевых сплавов с нержавеющими сталью, с. 563–571.

Watanabe T., Sutou A., Yanagisawa A. et al. Соединение алюминиевых и оцинкованных железных труб, с. 572–579.

Kotani K., Jung J., Ikeuchi K., Matsuda F. Влияние гравитационных фаз на прочность бинарных Al–X сплавов (X=Mg, Si, Mn, Zn, Cu). Ч. 6. TEM-исследование механизма диффузионного соединения алюминиевых сплавов, с. 580–589.

Nishimoto K., Saida K., Inui M., Takahashi M. Механизм высокотемпературного растягивания ремонтных швов. Ч. 3. Трецинообразование при ремонтной сварке литых жаростойких сплавов, модифицированных длительным горячим прессованием, с. 590–599.

Noguchi K., Araki M., Imaizato E. et al. TEM-исследования слоя коррозии в зоне соединения Au–Al, герметизированного смолой, с. 600–605.

Koyabu K., Asano K., Takahashi H. et al. Свариваемость сплавов на никелевой основе с облученной нейтронами нержавеющей сталью, с. 606–616.

Fuji A., Kokawa H., Kim Y.-C. Изучение напряжений, деформаций, скорости распространения звука и распределения твердости на поверхности раздела соединения чистого титана с чистым алюминием, полученного сваркой трением, с. 617–627.

Ohata A., Maeda Y., Nguyen T. N., Suzuki N. Использование сварочных материалов с низкой температурой превращения для повышения усталостной прочности швов на коробчатых профилях, с. 628–633.

Minag A., Tokaji K. Характеристики распространения усталостных трещин в соединениях, выполненных роликовой сваркой с раздавливанием кромок, с. 634–641.

Yanagisawa E., Murai R., Manabe Y. et al. Методика испытаний миниатюрных образцов для прогнозирования повреждений эксплуатируемых напорных установок, с. 642–650.

Shingu H., Sumi T., Uchida Y., Umeno M. Явление образования горячей зоны в соединениях электрической цепи, с. 651–656.

Nishio K., Nakamura N., Katoh M. Производство композитов из меди с твердыми материалами методом горячего изотактического прессования, с. 657–666.

Han X., Futamata M. Шумовые характеристики процесса сварки Nd: YAG-лазером, с. 667–673.

Terasaki T., Kamikihara H. Различия деформаций при резке и сварке торцевых швов, с. 674–679.



НОВЫЕ КНИГИ

В. П. Куликов. Технология сварки плавлением. — Минск: Изд-во «Дизайн ПРО», 2000. — 256 с.

В книге изложены физические основы источников нагрева металлов при сварке давлением. Описаны тепловые и металлургические процессы, происходящие при сварке. Даны характеристики основных способов сварки плавлением, применя-

ющиеся сварочные материалы и технология сварки различных металлов и сплавов. Отражены вопросы образования сварочных деформаций и напряжений, а также техники безопасности при проведении сварочных работ.

Е. Н. Верещаго, В. Ф. Квасницкий, Л. Н. Мирошниченко, И. В. Пентегов.
Схемотехника инверторных источников питания для дуговой сварки: Уч. пособие.
— Николаев, 2000. — 283 с.

Тенденции развития дуговой сварки, которая сочетает термические, гидро- и газодинамические, электромагнитные процессы, множественность режимов, высокую чувствительность качественных и надежностных показателей к статическим и динамическим параметрам источника питания, необходимость воспроизведения условий протекания процесса при наличии неконтролируемых возмущающих воздействий параметрического и сигнального типа, требуют создания новых видов преобразователей электрической энергии, наилучшим образом отвечающих задачам современной электротехнологии.

Очевидно, что широкий спектр столь сложных требований к сварочным источникам питания наиболее полно может быть удовлетворен лишь путем применения источников нового инверторного поколения. Их отличительной особенностью является наличие промежуточного звена повышенной частоты, включенного последовательно в цепь передачи потока энергии от энергетического входа к выходу.

Интерес к применению инверторных источников питания для дуговой сварки с каждым годом возрастает. К достоинствам таких источников следует отнести высокий КПД и коэффициент мощности, малые габариты и массу, удобство эксплуатации (в первую очередь, предназначены для ремонтных и монтажных работ), возможность формирования разнообразных внешних характеристик и динамических свойств, необходимых для осуществления различных сварочных процессов (например, для сварки методами TIG, MIG/MAG, MMA) и реализации практических всех современных идей автоматизации сварочных процессов. Если на первом этапе внедрения определяющими были энергетические и экономические преимущества инверторных источников, то на современном этапе выдвинулись на первый план высокие регулировочные свойства, обусловившие их доминирующее значение при включении в автоматизированные



и роботизированные комплексы. Кроме того, переход на повышенные частоты (20 кГц и более) позволяет снять или резко снизить акустический шум, обусловленный работой элементов источника и звучанием дуги.

В настоящее время все чаще и чаще для управления источниками питания используют микропроцессоры. Это позволяет, наряду с другими преимуществами, ускорить настройку и реализовать простое для сварщика однокнопочное управление источником. Интересно, что в этом случае высококачественная сварка и точное воспроизведение режимов сварки возможны без кропотливой операции подбора. Существенно, что при этом снижаются требования к квалификации сварщика и облегчается его работа. Кроме того, применение новейшей инверторной техники с новым управлением, использующим микропроцессор, позволяет сварщику работать быстро, эффективно и экономично, а высокие коэффициенты мощности и полезного действия и энергосберегающий режим (благодаря минимизации мощности холостого хода) современной техники значительно сокращают текущие расходы.

В предлагаемом вниманию читателей учебном пособии систематизированы и обобщены результаты работ по созданию инверторных источников питания для дуговой сварки и проанализированы вопросы их схемной реализации.

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов и университетов соответствующих специальностей. По мнению авторов, оно может быть полезно в эксплуатации источников питания инверторного типа и в создании их новых видов. Кроме того, оно может использоваться и как сборник прототипов при создании оригинальных устройств в других областях электротехники и электротехнологии, а также аспирантами, инженерами и научными работниками, занимающимися созданием и эксплуатацией источников питания нового типа.