

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН
Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
В. Ф. Грабин, В. Н. Замков,
А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,
И. В. Кривцун, С. И. Кучук-Яценко,
Ю. Н. Ланкин,
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, В. Ф. Мошкин,
О. К. Назаренко, И. К. Походня,
И. А. Рябцев, Ю. А. Стеренбоген,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)
Б. Брейтвейт (Великобритания)
Д. фон Хофе (Германия)
К. Буше (Франция)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
Т. Игар (США)
К. Иноуэ (Япония)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Чжан Янмин (Китай)
В. К. Шелег (Беларусь)

Адрес редакции:
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 227 6302, 269 2623
Факс: (38044) 268 0486
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр, Т. В. Юштина
Электронная верстка:
И. С. Баташева, А. И. Сулима,
И. Р. Наумова,
И. В. Петушков

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001
Журнал входит в перечень
утвержденных ВАК Украины изданий
для публикации трудов соискателей
ученых степеней.
При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.
За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.

СОДЕРЖАНИЕ

Торжества, посвященные юбилею ИЭС им. Е. О. Патона	3
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Наплавка в ИЭС им. Е. О. Патона	5
Рябцев И. А., Кусков Ю. М., Рябцев И. И., Новикова Д. П., Григоренко С. Г., Костин В. А. Вторичное твердение наплавленного металла типа дисперсионно-твердеющей стали системы легирования Fe-C-Ni-Cr-Si-Al-Cu	7
Кузьменко О. Г. Поведение частиц некомпактной присадки на границе воздух-шлак при электрошлаковой наплавке	11
Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Исследование свойств наплавленного металла типа мартенситностареющих сталей	16
Пулька Ч. В., Шаблий О. Н., Письменный А. С. Влияние режимов индукционной наплавки на структуру и свойства наплавленного металла	19
Осин В. В., Рябцев И. А. Влияние серы на свойства сплавов на основе железа и перспективы ее использования в наплавочных материалах	22
Соколов Г. Н., Зорин И. В., Цурихин С. Н., Лысак В. И. Особенности процесса ЭШН композиционным стержнем в малогабаритном секционном кристаллизаторе	26
Демченко В. Ф., Козлитина С. С. Компьютерные системы информационной поддержки сварочного производства	31
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ	
Переплетчиков Е. Ф. Плазменно-порошковая наплавка износостойких сплавов в арматуростроении	37
Ву Дж. Б. С., Павленко А. В. Износостойкие сплавы на основе кобальта для наплавки	44
Сом А. И. Плазменно-порошковая наплавка композиционных сплавов на базе литых карбидов вольфрама	49
Гулаков С. В., Чигарев В. В., Иванов В. П., Псарева И. С., Лаврентик О. А. Совершенствование технологии наплавки деталей металлургического оборудования (Обзор)	54
Кусков Ю. М., Кузьменко О. Г., Лентюгов И. П. Электрошлаковая переработка металлоотходов и использование полученных полуфабрикатов в наплавочном производстве	58
Соколов Г. Н. Свойства наплавленного металла, используемого для упрочнения металлургического инструмента	62
Жудра А. П., Ворончук А. П., Великий С. И., Фомакин А. А. Новое оборудование для наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей	65
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	
Патенты в области сварочного производства	68
По зарубежным журналам	69
ХРОНИКА	
ПОЗДРАВЛЯЕМ!	72
Т. Г. Кравцову — 70 лет	73
И. В. Кривцуну — 50 лет	73
Памяти Троицкого В. И.	74
Памяти Мосенкиса Ю. Г.	74
ИНФОРМАЦИЯ	75

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

Каховский завод электросварочного оборудования
Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона
Ново-Краматорский машиностроительный завод
Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 10 (618)
October 2004

Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

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

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
B. Braithwaite (UK)
C. Boucher (France)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Diltey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
T. Eagar (USA)
K. Inoue (Japan)
N. I. Nikiiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
Zhang Yanmin (China)
V. K. Sheleg (Belarus)

Address:

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

Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotlyar,
T. V. Yushchina
Electron galley:
I. S. Batasheva, A. I. Sulima,
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

This publication and each of the articles
contained here in are protected
by copyright.

Permission to reproduce material
contained in this journal must be obtained
in writing from the Publisher.

CONTENTS

Celebrations devoted to the jubilee of the E. O. Paton Electric
Welding Institute 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Surfacing at the E.O.Paton Electric Welding Institute 5
**Ryabtsev I. A., Kuskov Yu. M., Ryabtsev I. I., Novikova D. P.,
Grigorenko S. G., Kostin V. A.** Secondary hardening of
deposited metal of type of dispersion-hardening steel
of Fe-C-Ni-Cr-Si-Al-Cu system 7
Kuzmenko O. G. Behaviour of particles of non-compact filler at
air-slag interface in electroslag surfacing 11
Kondratiev I. A., Ryabtsev I. A., Chernyak Ya. P. Investigation
of properties of deposited metal of maraging steels type 16
Pulka Ch. V., Shablyi O. N., Pismennyi A. O. Effect of induction
surfacing conditions on structure and properties of deposited
metal 19
Osin V. V., Ryabtsev I. A. Effect of sulphur on properties of iron-
base alloys and prospects of its use in surfacing consumables 22
Sokolov G. N., Zorin I. V., Tsurikhin S. N., Lysak V. I. Peculiar-
ities of ESS with a composite rod in a small-sized sectional mould 26
Demchenko V. F., Kozlitina S. S. Computer systems of informa-
tion support of welding industry 31

INDUSTRIAL

Pereplyotchikov E. F. Plasma-powder cladding of wear- and
corrosion-resistant alloys in valve manufacturing 37
J. B. S. Wu, Pavlenko A. V. Wear-and corrosion-resistant alloys
on cobalt base for hardfacing 44
Som A. I. Plasma-powder hardfacing of composite materials on
base of cast tungsten carbides 49
**Gulakov S. V., Chigaryov V. V., Ivanov V. P., Psareva I. S.,
Lavrentik O. A.** Improvement of technology of surfacing the met-
allurgical equipment components (Review) 54
Kuskov Yu. M., Kuzmenko O. G., Lentyugov I. P. Electroslag
recycling of metal waste and use of produced semiproducts in sur-
facing sector 58
Sokolov N. G. Properties of deposited metal used for hardening
of metallurgical tools 62
Zhudra A. P., Voronchuk A. P., Velikiy S. I., Fomakin A. A.
New equipment for hardfacing bells and cups of charging units of
blast furnaces 65

BRIEF INFORMATION

Patents in the field of welding 68
Review of foreign journals 69

NEWS

Congratulations! 72
T. G. Kravtsov is 70 73
I. V. Krivtsun is 50 73
In memory of Troitsky V. I. 74
In memory of Mosenkis Yu. G. 74

INFORMATION 75

*Journal «Avtomaticheskaya Svarka» is published in English under the title «The Paton Welding Journal».
Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact the editorial board.*



ТОРЖЕСТВА, ПОСВЯЩЕННІ ЮБІЛЕЮ ІЭС ім. Е. О. ПАТОНА

17 вересня в г. Києві в Дворці молодіжні НТУУ «КПІ» відбувся святковий вечір з нагоди 70-літнього ювілею Інституту електрозварювання ім. Е. О. Патона НАН України — широко відомого і визнаного в світі науково-дослідницького центру в області зварки, спецелектрометалургії і нанесення захисних покриттів. В ньому взяли участь співробітники інституту, а також численні гості — керівники органів, найбільших промислових підприємств, провідних академічних, науково-дослідницьких установ і вищих навчальних закладів України, а також Росії, Білорусії і Грузії. Серед почесних гостей — Голова Верховної Ради України В. М. Литвин, перший заступник прем'єр-міністра, міністр фінансів України Н. Я. Азаров, міністр освіти і науки України В. Г. Кремень, двічі Герой Союзу А. А. Леонов і др.

Вечір відкрив президент Національної академії наук України директор Інституту електрозварювання ім. Е. О. Патона академик **Б. Е. Патон**. Він прочитав привітання Президента Л. Д. Кучми колективу інституту з нагоди ювілею і Указу про нагородження державними нагородами України співробітників Інституту електрозварювання ім. Е. О. Патона НАН України.

У К А З ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про відзначення державними нагородами України
працівників Інституту електрозварювання
імені Е. О. Патона НАН України, м. Київ

За вагомих особистих внесоків у розвиток науки, розробку і впровадження новітніх високоефективних технологій, зміцнення міжнародного авторитету вітчизняної наукової і інженерної школи у галузі зварювання **п о с т а н о в л я ю :**

Нагородити орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня

КУЧУКА-ЯЦЕНКА Сергія Івановича — заступника директора, доктора технічних наук, академіка НАН України

Нагородити орденом «За заслуги» I ступеня

ПОХОДНЮ Ігоря Костянтиновича — завідувача відділу, академіка-секретаря Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України, доктора технічних наук, академіка НАН України

Нагородити орденом «За заслуги» III ступеня

ЗАГРЕБЕЛЬНОГО Олександра Айзиковича — заступника завідувача відділу
КИСЕЛЕВСЬКОГО Фелікса Миколайовича — завідувача відділу, доктора технічних наук, професора
КОВТУНЕНКА Віктора Олексійовича — завідувача лабораторії
ТРИГУБА Миколу Петровича — завідувача відділу, доктора технічних наук
ЦАРЮКА Анатолія Корнійовича — завідувача відділу

Нагородити орденом княгині Ольги III ступеня

ЛОКТЕВУ Вероніку Іванівну — завідувача відділу

Нагородити медаллю «За працю і звитягу»

ГОЛОВАТЕНКА Олексія Івановича — електрозварювальника
ГОРОШКА Миколу Валер'яновича — фрезерувальника
КОРЖА Миколу Михайловича — слюсаря державного підприємства «Дослідний завод зварювальних матеріалів»

Присвоїти почесні звання:

«ЗАСЛУЖЕНИЙ ДІЯЧ НАУКИ І ТЕХНІКИ УКРАЇНИ»

МАХНЕНКУ Володимирі Івановичу — завідувачу відділу, докторові технічних наук, академіку НАН України

МОВЧАНУ Борисі Олексійовичу — головному науковому співробітнику, докторові технічних наук, академіку НАН України

НАЗАРЕНКУ Олегу Кузьмовичу — завідувачу відділу, докторові технічних наук, члену-кореспонденту НАН України

«ЗАСЛУЖЕНИЙ МАШИНОБУДІВНИК УКРАЇНИ»

КУЦАКУ Валерію Стефановичу — заступникові директора

Президент України

Л. КУЧМА

м. Київ, 9 вересня 2004 року
№ 1053/2004

Борис Евгеньевич кратко охарактеризовал основные этапы деятельности Института электросварки, включая его основание, довоенный и военный периоды, период восстановления народного хозяйства, годы индустриального развития. Руководитель отметил, что на сегодняшнем этапе институт развивает свою деятельность по инновационному пути и «продолжает трудиться так, чтобы народ Украины с каждым годом жил лучше». Он поблагодарил всех, кто в канун юбилея поздравил коллектив Института электросварки со знаменательным событием, и тех, кто принимает участие в торжествах.

Выступивший затем **В. М. Литвин** отметил, что юбилей института — знаковое событие для страны. Успехи Института электросварки неразрывно связаны с незаурядной личностью его руководителя — академика **Б. Е. Патона**. По словам **В. М. Литвина**, **Б. Е. Патон** «взял в руки электрод длиной на всю жизнь». Он пожелал всем ученым и специалистам института добра, счастья и выдающихся успехов. От имени Верховной Рады Украины **В. М. Литвин** поздравил с награждением сотрудников Института электросварки и вручил Почетные грамоты Верховной Рады Украины членам-корреспондентам НАН Украины **Г. М. Григоренко**, **А. Я. Ищенко**, **В. И. Лакомскому**, докторам технических наук **Ю. С. Борисову**, **Э. Ф. Гарфу**, кандидатам технических наук **В. Н. Бернадскому**, **И. А. Рябцеву**, помощнику директора **Л. В. Катюхе**.

Н. Я. Азаров зачитал поздравление премьер-министра Украины **В. Ф. Януковича** коллективу Института электросварки. В нем высказана уверенность в том, что патоновцы и далее приумножат успехи в науке и в создании передовых технологий. **Николай Янович** заметил, что институт в сложное время выжил, достиг новых успехов и сейчас ему важно занять достойное место среди научных центров мира. Он отметил, что с 2005 г. объемы финансирования науки в Украине будут удвоены, уже реализована программа увеличения пенсий, выплат ученым-членам Национальной академии наук Украины. Соответственно должна возрастать отдача от деятельности научных учреждений. **Н. Я. Азаров** поздравил **Б. Е. Патона** с награждением Института электросварки Почетной грамотой Кабинета Министров Украины. Почетные грамоты были вручены также ряду ученых и специалистов института, среди которых **Л. А. Волгин**, **В. С. Гвоздецкий**, **Б. А. Житницкий**, **П. А. Косенко**, **В. Г. Кривенко**, **Г. С. Маринский**, **В. В. Нестеренко**, **С. И. Притула**.

Директор института **Б. Е. Патон** тепло поблагодарил **В. М. Литвина** и **Н. Я. Азарова** за высокую оценку деятельности института и его сотрудников.

В. Г. Кремень поздравил коллектив Института электросварки от имени Министерства образования и науки Украины. По его словам, «это праздник мировой науки». Он дал совет молодым студентам «писать свою жизнь» с академика **Б. Е. Патона**. Остановившись на деятельности технопарков в Украине, **В. Г. Кремень** подчеркнул высокую эффективность работы технопарка «ИЭС им. Е. О. Патона» и пообещал «зеленую улицу» его инновационным проектам.

Затем от имени Президиума НАН Украины коллектив Института электросварки поздравил ее первый вице-президент **В. П. Шпак**. Он отметил, что ИЭС им. Е. О. Патона является гордостью академии, всей Украины и признанным в мире научным центром.

С теплыми поздравлениями выступили также заместитель Председателя Киевской городской государственной администрации г. Киева **В. А. Кирьян**, ректор Киевского национального университета им. Тараса Шевченко **В. В. Скопенко**, ректор НТУУ «КПИ» **Н. З. Згуровский**.

Затем лучшие студенты сварочного факультета НТУУ «КПИ» от имени собравшихся в зале возложили цветы к расположенному на территории НТУУ «КПИ» памятнику основателю Института электросварки академику **Е. О. Патону**.

На вечере прозвучали теплые поздравления в адрес старейших сотрудников института, ветеранов, участников Великой Отечественной войны академиков НАН Украины **В. К. Лебедева**, **Д. А. Дудко**, **И. К. Походни**, докторов технических наук **А. А. Россошинского**, **Ю. А. Стеренбогена**, **Г. И. Лескова**, кандидата технических наук **В. Н. Подолы**, инженеров **В. К. Зяхора**, **В. С. Убель**.

В заключение состоялся праздничный концерт мастеров искусств и художественных коллективов Украины, России и Беларуси.

Дирекция и весь коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины выражают сердечную благодарность руководству государства, всем ведомствам, предприятиям, научным учреждениям, вузам, общественным организациям, а также отдельным лицам, которые поздравили коллектив института в связи с 70-летием со дня его основания.



НАПЛАВКА В ИЭС им. Е. О. ПАТОНА

Отделу «Физико-металлургических процессов наплавки износостойких и жаропрочных сталей» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины исполнилось 50 лет. Организатором и его первым руководителем (1954–1984) был известный ученый в области металлургии сварки и наплавки, основатель школы наплавщиков в бывшем СССР, профессор, доктор технических наук, лауреат Государственной премии СССР и премии имени Е. О. Патона И. И. Фрумин.

Наиболее обширные исследования выполнены отделом по дуговой наплавке. В начале 1950-х годов под руководством И. И. Фрумина разработаны технология износостойкой наплавки стальных прокатных валков и первая в СССР порошковая наплавочная проволока — ПП-3Х2В8 (современное наименование ПП-Нп-35В9Х3ГСФ). Наплавка прокатных валков этой проволокой, вначале освоенная на Днепропетровском трубопрокатном заводе им. Ленина, дала отличные результаты — стойкость валков повысилась примерно в десять раз.

После такого успеха износостойкую дуговую наплавку стальных прокатных валков порошковой проволокой начали применять на Магнитогорском, Кузнецком, Коммунарском (ныне Алчевском) металлургических комбинатах, а также на многих других предприятиях бывшего СССР. Было организовано централизованное производство наплавочной порошковой проволоки на Магнитогорском метизно-металлургическом заводе и создано серийное производство вальцenaплавочных станков на Краматорском станкостроительном производственном объединении.

Работы в этом направлении в отделе не прекращались, к настоящему времени разработана гамма порошковых проволок, предназначенных для наплавки стальных прокатных валков различных типов, что позволяет потребителю для каждого типа валков выбрать оптимальный состав наплавленного металла, исходя из условий их эксплуатации, характера и интенсивности изнашивания. А порошковая проволока ПП-Нп-35В9Х3ГСФ вот уже около 50 лет остается одной из наиболее используемых для наплавки не только прокатных валков, но и других деталей, работающих в аналогичных условиях.

Кроме проволок для наплавки прокатных валков, в отделе разработано более двух десятков марок порошковых проволок, а также технологии наплавки под флюсом, открытой дугой и в защитных газах различных деталей машин и механизмов, эксплуатирующихся в условиях практически всех известных видов изнашивания. Наиболее используемыми из порошковых проволок являются следующие: ПП-АН194 и ПП-АН198 (для наплавки валов, осей, крановых колес и пр.); ПП-АН130, ПП-АН132, ПП-АН140, ПП-АН148 (для наплавки штампов холодной и горячей штамповки); ПП-АН158 (для наплавки плунжеров гидропрессов); ПП-АН159 и ПП-АН174 (для наплавки

роликов машин непрерывного литья заготовок); ПП-АН192 и ПП-АН197 (для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания); ПП-АН105 (для наплавки деталей из стали 110Г13Л).

Большие успехи достигнуты в области плазменной наплавки. В отделе разработан и широко применяется в промышленности плазменный способ наплавки выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания с использованием в качестве присадочного материала спеченных в вакууме колец из порошков никеля, хрома, графита и других материалов. Кольцо укладывают в выточку тарелки клапана и расплавляют плазмотроном. В результате на рабочей фаске клапана получается слой жаростойкого сплава.

Плазменная наплавка с присадкой порошка (плазменно-порошковая наплавка) — наиболее гибкий и универсальный процесс, и отдел продолжает успешно развивать указанный способ наплавки, сохраняя в этой области лидирующие позиции. В отделе разработаны присадочные порошки на основе железа, никеля, кобальта, меди; технологии наплавки деталей общепромышленной, энергетической и нефтехимической арматуры, червяков экструдеров для прессования пластмасс и резиновых смесей, клапанов двигателей внутреннего сгорания, ножей горячей и холодной резки металлов, многолезвийного режущего инструмента и других деталей; специализированные и универсальные установки для наплавки.

Важнейшее преимущество плазменно-порошковой наплавки — возможность получения минимального проплавления: доля основного металла в наплавленном составляет всего 5... 10 %, что особенно важно при наплавке дорогостоящих сплавов на основе никеля и кобальта.

Ряд интересных разработок выполнен в отделе по электрошлаковой наплавке (ЭШН). С использованием этого процесса решена проблема наплавки прокатных валков из чугуна и заэвтектонидных сталей. Для реализации ЭШН чугунных прокатных валков в промышленности разработан секционный токоподводящий кристаллизатор, который позволяет использовать в качестве присадочных некомпактные материалы практически любого химического состава в виде дробы, стружки, кусковых материалов и жидкого металла. Этот способ наплавки отличается достаточно высокой производительностью — от десятков до нескольких сотен килограммов наплавленного металла в час.

Исследована и доведена до промышленного использования технология ЭШН некомпактными материалами (стружкой инструментальной стали и жидким присадочным металлом) крупных молотовых и прессовых штампов. В этом процессе используются неплавящиеся водоохлаждаемые электроды и неподвижные кристаллизаторы. Промышленные испытания показали, что ЭШН штампов



позволяет в 2...3 раза сократить расход штамповой стали, успешно утилизировать стружку непосредственно на предприятии, изготавливающем штампы.

Спроектированы и изготовлены установки для ЭШН штампов, одна из которых, смонтированная на участке наплавки штампов ОАО «Токмакский кузнечно-штамповочный завод», позволяет наплавлять до 1000 т штампов в год.

Разработан также способ электрошлаковой наплавки лентами (ЭШНЛ). Он осуществляется в нижнем положении одной или двумя электродными лентами. В последнем случае ленты располагаются параллельно и подаются в шлаковую ванну с определенным зазором. Характерными особенностями ЭШНЛ являются высокая производительность (до 60 кг/ч) и очень малое проплавление (доля основного металла в наплавленном 5...15%), что гарантирует получение заданного химического состава наплавленного металла в первом наплавленном слое.

Способ в основном используют для антикоррозионной наплавки плоских изделий и тел вращения большого диаметра лентами из нержавеющей стали и никелевых сплавов. Применяются холоднокатаные или спеченные электродные ленты шириной 30...80 мм и толщиной 0,5...1,0 мм и флюсы, обеспечивающие высокую стабильность электрошлакового процесса, хорошую отделимость шлаковой корки, отличное формирование и высокое качество наплавленного металла.

С использованием электрошлакового нагрева в отделе разработаны технологии производства различных лигатур, которые применяются в качестве шихты порошковых проволок для наплавки и дуговой металлизации. Ведутся также исследования по переработке промышленных отходов с применением ресурсосберегающих технологий на основе использования электрошлаковых процессов.

Электрошлаковый нагрев стал основой для технологий безокислительной термической обработки различных ответственных деталей, латунирования металлокорда и получения биметаллических деталей сталь + бронза для гидротрансмиссий. Для реализации этих технологий сотрудниками отдела совместно с ОКТБ и ОЗСО ИЭС им. Е. О. Патона разработано и внедрено на ряде предприятий соответствующее оборудование.

В отделе проведены исследования в области использования для наплавки других источников энергии — электронного пучка, лазеров, индукционного нагрева. Выполнен комплекс исследований по производству износостойких биметаллических листов и профилей (лемешная полоса, бочкины рештаков угольных комбайнов и др.) способом сварки прокаткой многослойных пакетов. Конструкция пакетов и технология прокатки обес-

печивали получение износостойких биметаллических листов с заданным соотношением слоев и плакировкой всей поверхности листа. Плакирующий слой в биметаллических профилях располагался в местах наибольшего износа. Причем выбрано соотношение слоев, например в лемешной полосе, обеспечивающее эффект самозатачивания лемехов.

Отдел работает над созданием принципиально новых наплавочных материалов триботехнического назначения, которые используются для восстановления и упрочнения деталей, работающих в условиях трения металла по металлу (валов, осей, крановых колес, штампов холодной и горячей штамповки, деталей общепромышленной арматуры и т. п.). Новые наплавочные материалы легируются элементами, которые сами по себе или в сочетании с другими играют роль твердой смазки, существенно снижая износ и потери на трение.

В последние годы вместе с отделом математических исследований ИЭС им. Е. О. Патона разработаны компьютерные системы проектирования технологий дуговой наплавки. Одна из них предназначена для разработки технологий наплавки деталей машин и механизмов, эксплуатирующихся в различных отраслях промышленности: горнодобывающей, металлургической, химической, на транспорте, в сельском хозяйстве и др. С ее помощью решаются такие основные задачи, связанные с проектированием технологий наплавки, как выбор наплавочных материалов в зависимости от условий наработки и видов изнашивания деталей, подходящих способов и техники наплавки, материала подслоя, определение режимов наплавки, условий предварительного подогрева и последующего охлаждения наплаваемой детали.

Вторая система предназначена для разработки технологий наплавки деталей машин и механизмов предприятий металлургической промышленности. В системе содержится информация о более чем 300 деталях металлургического оборудования, подлежащих наплавке. Для каждой из деталей рекомендуются приемлемые варианты наплавочных материалов, режимы наплавки, условия термобработки, защитные среды, оборудование и другие показатели технологии дуговой наплавки.

Отдел поддерживает тесные контакты с промышленными предприятиями и фирмами в Украине и за рубежом, выполняет для них работы по наплавке по договорам и контрактам. Сотрудники отдела постоянно участвуют в конференциях и семинарах по сварке и смежным процессам, регулярно публикуют результаты своих исследований в научно-технических журналах. Лучшие разработки отдела отмечены дипломами и медалями на отечественных и международных выставках.



ВТОРИЧНОЕ ТВЕРДЕНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИПА ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩЕЙ СТАЛИ СИСТЕМЫ ЛЕГИРОВАНИЯ Fe–C–Ni–Cr–Si–Al–Cu

И. А. РЯБЦЕВ, Ю. М. КУСКОВ, кандидаты техн. наук, **И. И. РЯБЦЕВ**, инж., **Д. П. НОВИКОВА, С. Г. ГРИГОРЕНКО**, кандидаты техн. наук, **В. А. КОСТИН**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведено металлографическое исследование наплавленного металла типа дисперсионно-твердеющей стали системы Fe–C–Ni–Cr–Si–Al–Cu. Показано, что в зависимости от длительности отпуска вторичное твердение наплавленного металла происходит в две стадии. На первой — оно идет за счет распада остаточного аустенита и образования мартенсита. На второй — при увеличении длительности отпуска мартенсит распадается с образованием новых фаз — высоколегированного феррита и дисперсных включений с повышенным содержанием кремния и никеля.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавочные материалы, самозащитные порошковые проволоки, дисперсионное твердение, структура

В общем случае упрочнение дисперсионно-твердеющих сталей и сплавов обусловлено выделением частиц дисперсной фазы вследствие распада пересыщенного твердого раствора. Уровень упрочнения, в частности повышения твердости, определяется характером распада, размером, формой и структурой выделяющихся частиц. У разных сталей и сплавов он проявляется с некоторыми особенностями, и даже у самой распространенной конструкционной низкоуглеродистой стали Ст3 при определенных условиях наблюдается дисперсионное твердение [1].

Частицы дисперсной фазы, как правило, представляют собой очень тонкие пластинки или иглы и при исследованиях из-за особенностей своей формы создают эффект аномального рассеяния рентгеновских лучей. В случае отсутствия явных признаков новой выделяющейся фазы в качестве частиц второй фазы могут рассматриваться зоны Гинье-Престона [2]. Образование таких зон или когерентно-связанных частиц фазы со структурой в изоморфной матрице, как и других промежуточных фаз, связывают с границей метастабильного равновесия на диаграмме состояния. Таким образом, утверждается непрерывная последовательность стадий распада, вплоть до выделения трехмерных частиц стабильной и метастабильной фаз.

Как показал анализ литературных данных [3–6 и др.], дисперсионно-твердеющие стали и сплавы используют в основном при производстве режущего инструмента. Большинство из них — это высоколегированные стали и сплавы систем W–Co–Fe,

W–Mo–Cr–Fe, Cr–Mo–V–Fe, Ni–Cr–Fe и др. Все они характеризуются ярко выраженным эффектом дисперсионного твердения и после соответствующей термической обработки приобретают высокие эксплуатационные свойства. Однако их широкому применению в промышленности препятствует высокая стоимость, поскольку содержание в этих сталях дорогостоящих легирующих элементов (вольфрама, молибдена, кобальта) составляет 20 мас. % и более. Кроме того, они, как правило, отличаются значительной первоначальной твердостью (*HRC* 40...55).

Достаточно хорошо исследованы низко- и среднеуглеродистые дисперсионно-твердеющие хромомарганцевые стали, легированные никелем, молибденом, ванадием и другими элементами, содержащие 2... 20 мас. % Cr и 1... 10 мас. % Mn [7–10]. Мало изучены дисперсионно-твердеющие высокоуглеродистые стали, которые, по некоторым данным [11–12], обеспечивают значительное повышение твердости при отпуске (до *HRC* 25... 30).

В настоящей работе исследуются особенности вторичного твердения высокоуглеродистого (около 1 мас. % C) наплавленного металла системы ле-

Таблица 1. Химический состав и твердость металла, наплавленного опытными проволоками

№ порошковой проволоки	Марка проволоки	Массовая доля элементов*, %					Твердость	
		C	Mn	Si+Al+Cu	Ni	Cr	<i>HВ</i> после наплавки	<i>HRC</i> после отпуска при 550 °С с выдержкой 6 ч
1	ПП-Нп-ДТС1	1,0	0,5	5,0	8,0	5,0	163	18...22
2	ПП-Нп-ДТС2	1,0	0,5	7,0	8,0	5,0	197	27...29
3	ПП-Нп-ДТС3	1,0	0,5	9,5	8,0	5,0	179	52...53
4	ПП-Нп-ДТС4	0,7	0,5	9,5	8,0	5,0	143	50...52
5	ПП-Нп-ДТС4	0,4	0,5	9,5	8,0	5,0	480	50...52
6	ПП-Нп-ДТС5	1,0	2,5	9,5	5,5	5,0	217	53...54
7	ПП-Нп-ДТС6	1,0	4,0	9,5	4,0	5,0	229	50...52
8	ПП-Нп-ДТС7	1,0	8,0	9,5	0	5,0	207	53...55

* Расчетный состав проволоки.

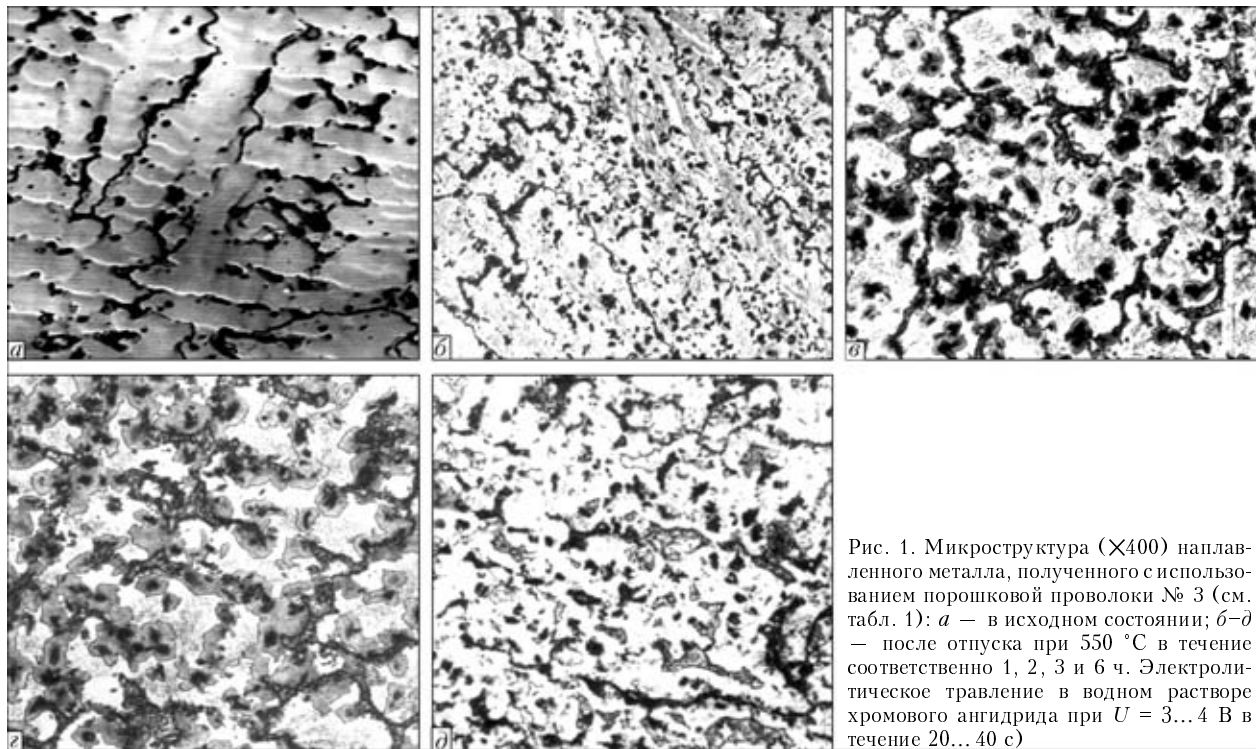


Рис. 1. Микроструктура ($\times 400$) наплавленного металла, полученного с использованием порошковой проволоки № 3 (см. табл. 1): *a* — в исходном состоянии; *b-d* — после отпуска при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение соответственно 1, 2, 3 и 6 ч. Электролитическое травление в водном растворе хромового ангидрида при $U = 3...4\text{ В}$ в течение 20... 40 с)

гирования Fe–C–Ni–Cr–Si–Al–Cu. При этом поставлена цель — разработать наплавочный материал, твердость которого в результате отпуска повышалась бы не менее чем в 2 раза — с *HRC* 20... 25 (после наплавки) до *HRC* 48... 52 (после отпуска).

В табл. 1 приведены составы металла, наплавленного опытными порошковыми проволоками. С помощью предварительных экспериментов установлено, что вторичное дисперсионное твердение наплавленного металла выбранной системы легирования в основном обеспечивают кремний, алюминий и медь. Для исследования их влияния на этот процесс суммарное содержание этих легирующих элементов в опытных порошковых проволоках № 1–3 изменяли в диапазоне 5,0...9,5 % (табл. 1). В проволоках № 4 и 5 массовая доля углерода уменьшена, что позволило определить нижний предел его содержания — до 0,7 мас. %; верхний предел ограничен 1,0 мас. %, поскольку при большем содержании углерода в наплавленном металле появляются трещины. В проволоках № 6–8 для снижения их стоимости никель частично или полностью заменен аналогичным аустенизатором — марганцем.

Методики проведения экспериментов. Металл для исследований получали наплавкой опытными самозащитными порошковыми проволоками (табл. 1) диаметром 2 мм в четыре слоя на пластины из стали Ст3 размером 20×50×200 мм без предварительного подогрева на следующем режиме: ток — 200... 250 А, напряжение на дуге — 22... 24 В. После наплавки образцы охлаждали на воздухе.

Вырезку образцов для металлографических исследований производили на электроэрозионном станке. Их закрепляли в оправках, шлифовали и полировали обычным способом, используемым в металлографии. Одну часть шлифов исследовали

в состоянии непосредственно после наплавки, другую — после отпуска при температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ при различном времени выдержки.

Металлографические исследования образцов наплавленного металла выполняли на оптическом микроскопе «Неофот-32» с увеличением от 200 до 1000. Замеры микротвердости структурных составляющих производили на микротвердомере «Лекко» при нагрузке 10 г. Для указанных исследований применялся также сканирующий электронный микроскоп JSM-840 и ферритометр Ferritgehaltmesser 1.053.

Обсуждение результатов исследований. Как следует из табл. 1, для обеспечения вторичного твердения в составе наплавленного металла должно содержаться суммарно не менее 9,5 % алюминия, кремния и меди. Попытка заменить дорогостоящий никель аналогичным аустенизатором — марганцем, успехом не увенчалась, поскольку при этом повысилась склонность наплавленного металла к образованию холодных трещин.

Для исследования механизма вторичного твердения выбран металл, наплавленный порошковой проволокой № 3. В металле этого типа появления трещин не наблюдалось. В нем зафиксирована одна из наименьших твердостей (*HB* 179) после наплавки и одна из наибольших (*HRC* 52... 53) после отпуска. Исследовали образцы наплавленного металла № 3 в исходном состоянии (непосредственно после наплавки) и после отпуска при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 1, 2, 3 и 6 ч.

В результате металлографических исследований установлено, что структура металла этого типа в исходном состоянии представляет собой аустенит с одиночными включениями карбидов и небольшим содержанием карбидной эвтектики, расположенной преимущественно по границам зерен (рис. 1, *a*). Исходя из показаний ферритометра можно утвер-

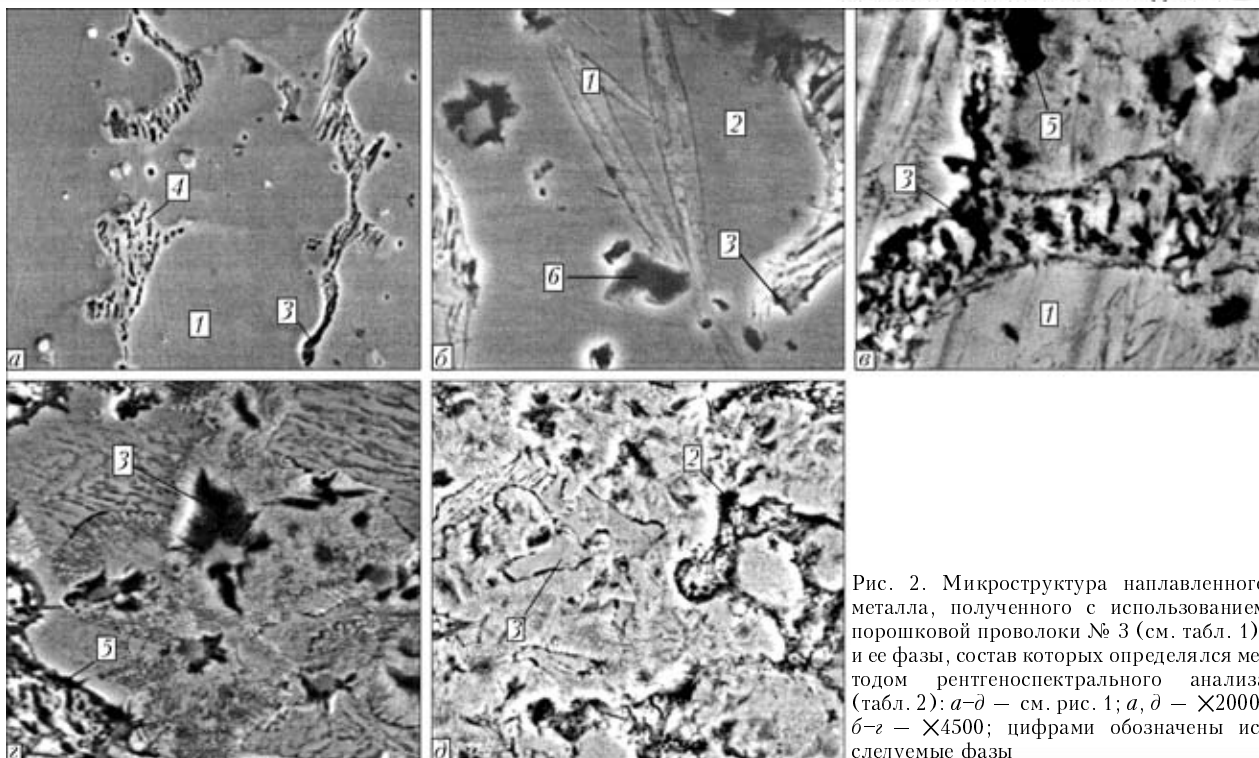


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла, полученного с использованием порошковой проволоки № 3 (см. табл. 1), и ее фазы, состав которых определялся методом рентгеноспектрального анализа (табл. 2): а-д — см. рис. 1; а, д — $\times 2000$; б-г — $\times 4500$; цифрами обозначены исследуемые фазы

ждать, что α -фаза в наплавленном металле отсутствует. Микротвердость аустенитной матрицы составляет $HV 1800...2300$ МПа (здесь и далее замер производили при нагрузке 0,1 Н).

Исследования на сканирующем электронном микроскопе JSM-840 при увеличении 5000 показали, что в составе эвтектики находятся практически все легирующие элементы, содержащиеся в стали (рис. 2, а и табл. 2, точка 4). По сравнению с матрицей (рис. 2, а и табл. 2, точка 1) в карбидной эвтектике содержания хрома и кремния выше. По границам эвтектики расположены отдельные темные включения с повышенным, по сравнению с матрицей и эвтектикой, содержанием кремния и никеля (рис. 2, а и табл. 2, точка 3).

В случае отпуска при 550°C с выдержкой 1 ч происходит распад аустенита и в структуре металла образуется значительная объемная доля мартенсита, что, по-видимому, и определяет первый этап старения. В результате твердость возрастает до $HRC 40...44$. Мартенсит имеет игольчатое строение с ориентацией иголок в основном под углом 60° друг к другу. В некоторых иглах заметна центральная плоскость сдвига — мидриб. В структуре наплавленного металла имеются также включения карбидов и карбидной эвтектики (см. рис. 1, б). Микротвердость мартенсита составляет $HV 3980...4900$ МПа.

При большом увеличении в структуре наплавленного металла определяется новая фаза, которую предварительно диагностировали как феррит. В этой фазе зафиксировано повышенное содержание кремния. Как и в исходном состоянии, в месте расположения эвтектической со-

ставляющей также есть включения с повышенным содержанием кремния и никеля (рис. 2, б и табл. 2, точка 6). Содержание основных легирующих элементов в мартенситных иглах и остаточном аустените примерно одинаковое (рис. 2, б и табл. 2, точки 1, 2).

Исходя из показаний ферритометра, общее содержание α -фазы в структуре наплавленного металла превышает 55 об. %.

После выдержки в течение 2 ч при температуре отпуска наблюдается распад мартенсита и выпадение включений карбидов. Увеличивается количество карбидной эвтектики (см. рис. 1, в). Макротвердость после выдержки при 550°C в течение 2 ч возрастает до $HRC 54...56$.

Таблица 2. Химический состав участков наплавленного металла

Рисунок	Место анализа (номер точки)	Массовая доля элементов, %					
		Fe	Cr	Cu	Si	Ni	Ti
2, а	Матрица (1)	82,69	3,51	2,94	3,02	7,56	0,29
	Включение (3)	77,64	3,05	1,88	6,80	10,18	0,44
	Эвтектика (4)	69,97	15,22	2,37	4,78	7,69	—
2, б	Мартенсит (1)	83,08	3,55	2,59	3,34	7,44	—
	Аустенит (2)	82,25	4,00	3,61	2,98	7,17	—
	Феррит (3)	79,56	3,73	2,11	5,86	8,74	—
2, в	Включение (6)	78,04	2,18	2,36	7,68	9,38	0,37
	Аустенит (1)	82,40	3,59	3,06	2,80	7,92	0,24
	Феррит (3)	79,88	2,80	1,91	7,28	7,83	0,31
2, г	Включение (5)	78,38	1,79	1,77	7,56	10,41	0,09
	Феррит (3)	82,25	2,31	1,63	4,25	9,18	0,38
	Включение (5)	77,83	2,53	1,75	6,61	10,77	0,51
2, д	Включение (2)	77,75	2,75	0,72	11,28	8,36	1,07
	Включение (3)	77,87	3,50	1,28	9,05	9,15	0,60



Химический состав матрицы стали остается без изменений (рис. 2, *в* и табл. 2, точка 1). В новой α -фазе массовая доля кремния увеличивается до 7,28 % (рис. 2, *в* и табл. 2, точка 3). В эвтектических участках продолжается процесс формирования фазы с повышенным содержанием никеля и кремния (рис. 2, *в* и табл. 2, точка 5). Эти изменения сопровождаются дальнейшим увеличением микротвердости металла HV 4900...6500 МПа.

В случае отпуска с выдержкой в течение 3 ч происходит дальнейший распад мартенсита и увеличение содержания легированного феррита. По границам зерен и в самих зернах возрастает содержание карбидов и карбидной эвтектики (см. рис. 1, *з*). Увеличение времени выдержки при температуре отпуска до 3 ч не сказывается ни на твердости, которая остается на уровне HRC 54...56, ни на микротвердости, максимальное значение которой по-прежнему составляет HV 6500 МПа.

Состав основных структурных составляющих практически не меняется. Наиболее высокое содержание никеля отмечено в феррите и темной фазе, расположенной в эвтектике (рис. 2, *г* и табл. 2, точки 3 и 5). В темной составляющей эвтектической фазы зафиксировано повышенное содержание кремния — 6,61 мас. % (рис. 2, *г* и табл. 2, точка 5).

После выдержки при температуре 550 °С в течение 6 ч твердость наплавленного металла несколько снижается (HRC 52...53), микротвердость также понижается и не превышает HV 6060 МПа. Мартенсит полностью распадается, наблюдается частичное растворение карбидов и карбидной эвтектики (см. рис. 1, *д*). Заметное развитие получает процесс коагуляции включений в легированном феррите, содержание которого по показаниям ферритометра превышает 55 мас. %. В темной составляющей эвтектики еще больше увеличивается содержание кремния (9,05...11,28 мас. %) при довольно высоком содержании никеля и пониженном меди (рис. 2, *д* и табл. 2, точки 2 и 3).

Таким образом, механизм вторичного твердения исследуемого наплавленного металла при отпуске можно представить как многостадийный процесс. На первом этапе при выдержке при температуре отпуска 1 ч происходит формирование мартенситной структуры (преддисперсное упрочнение) и появление упрочняющих включений, а именно, новой α -фазы — высоколегированного феррита с повышенным содержанием кремния либо кремния и никеля, а также темной составляющей в карбидной эвтектике с повышенным содержанием кремния и никеля. На втором этапе при увеличении времени

выдержки до 2...3 ч мартенсит распадается, в структуре наплавленного металла появляются карбиды и карбидная эвтектика, возрастает объемная доля новой упрочняющей α -фазы. Содержание кремния и никеля в ней и темных включениях в карбидной эвтектике увеличивается. В случае выдержки при температуре 550 °С в течение 6 ч наряду с ростом α -фазы происходит противоположный, сопровождающийся коагуляцией включений α -фазы и увеличением в ней содержания кремния свыше 10 мас. % и никеля свыше 8 мас. %. При таком содержании этих элементов α -фаза становится «мягче» и соответственно несколько снижается вторичная твердость наплавленного металла.

1. Полотнюк В. В., Николаева В. А. Электронномикроскопическое исследование старения стали // *Металловедение и терм. обработка металлов*. — 1964. — № 8. — С. 4–15.
2. Скаков Ю. А. Современное состояние теории старения металлических сплавов // *Там же*. — 1967. — № 5. — С. 27–40.
3. Героденко М. М. Дисперсионно-твердеющие сплавы для наплавки // *Автомат. сварка*. — 1965. — № 2. — С. 48–51.
4. Хуторянский Е. Д., Демянцевич В. П. Исследование влияния состава наплавленного сплава на его твердость с помощью многофакторного планирования эксперимента // *Свароч. пр-во*. — 1970. — № 9. — С. 9–11.
5. *Дисперсионно-твердеющие сплавы для литого и наплавного инструмента* / А. А. Попов, Л. Е. Попова, Г. Л. Куркулис, Фан Шу-Сэнь // *Изв. вузов. Черн. металлургия*. — 1964. — № 2. — С. 124–128.
6. Устиновичков Ю. И., Прожерин А. Е., Ковенский И. М. Вторичное твердение молибденовых и ванадиевых сталей // *Физ. мет. и металлургия*. — 1981. — 51, вып. 1. — С. 172–179.
7. Фрумин И. И., Резницкий А. М. Применение дисперсионно-твердеющей стали для наплавки валков обжимного прокатного стана // *Автомат. сварка*. — 1975. — № 9. — С. 55–57.
8. Влияние фосфора на структуру и свойства стали 5Х20Н4АГ9 / К. А. Вернер, В. Д. Зеленова, В. М. Доронин, А. Ф. Буйнов // *Металловедение и терм. обработка металлов*. — 1967. — № 1. — С. 46–48.
9. *Дисперсионно-твердеющий сплав типа 30Х5Г3Д2МФ для износостойкой наплавки* / Л. К. Лещинский, А. И. Олдаковский, Л. С. Малинов и др. // *Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1981. — С. 52–54.
10. Кальянов В. Н., Багров В. А. Новый материал для восстановления штампов горячей штамповки // *Современные проблемы сварки и ресурса конструкций: Тез. докл. междунар. конф., г. Киев, 27–28 нояб. 2003 г.* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — С. 30–31.
11. Иванов С. Н., Мияйловский К. Н. Особенности дисперсного твердения литого высокоуглеродистого легированного сплава // *Металловедение и терм. обработка металлов*. — 1968. — № 1. — С. 64–67.
12. Ксендзык Г. В., Звогарев Н. А. Наплавляемый дисперсионно-твердеющий сплав на основе железа // *Автомат. сварка*. — 1968. — № 2. — С. 60–62.

Metallography of deposited metal of the type of precipitation-hardening steel of the Fe-C-Ni-Cr-Si-Al-Cu system has been conducted. It is shown that secondary hardening of the deposited metal occurs in two stages, depending upon the time of tempering. At the first stage it occurs due to decomposition of retained austenite and formation of martensite. At the second stage, as the time of tempering increases, martensite decomposes to form new phases, i. e. high-alloy ferrite and dispersed inclusions with an increased content of silicon and nickel.

Поступила в редакцию 09.02.2004



ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ НЕКОМПАКТНОЙ ПРИСАДКИ НА ГРАНИЦЕ ВОЗДУХ–ШЛАК ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКЕ

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

Приведены данные о поведении частиц некомпактных материалов (стружка и дробь) на поверхности шлаковой ванны при электрошлаковой наплавке. Определены условия закрепления этих частиц на межфазной границе воздух–шлак. Показано, что дробь хромистого чугуна диаметром до 2,3 мм и стружка инструментальной стали 5ХНМ толщиной до 2,7 мм (закрепление наибольшей гранью) или до 0,6 мм (закрепление наименьшей гранью) могут плавать на поверхности шлаковой ванны.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, некомпактные материалы, шлаковая ванна, металлическая ванна, межфазная граница

Длительное время при использовании электрошлаковых процессов, в частности электрошлаковой наплавки (ЭШН), применяют некомпактные материалы (НМ) в виде дроби [1, 2], стружки [2–4], сечки проволоки [1, 2] или иных частиц [3, 5].

Существенной особенностью ЭШН НМ является то, что частицы НМ могут некоторое время находиться на поверхности шлаковой ванны, не погружаясь в нее [1, 3, 4, 6]. С одной стороны, это может привести к их окислению и нарушению электрошлакового процесса [3, 6], а с другой — нагрев частиц на поверхности шлаковой ванны способствует быстрому плавлению образующегося на них гарнисажа [7], что снижает опасность засорения наплавленного металла шлаковыми включениями и образования других дефектов.

В литературе этот вопрос практически не нашел отражения. Имеющиеся публикации малочисленны и относятся к случаю пребывания на поверхности шлака жидких металлических капель [8] и частиц медного штейна [9], а также к плавлению металлических тел в железоуглеродистых расплавах [10]. Следует отметить, что в работах [8, 10] принято допущение об абсолютной несмачиваемости плавающих частиц, чего в реальных процессах не зафиксировано [11, 12].

Цель настоящей работы заключалась в проведении аналитической оценки поведения частиц НМ на поверхности шлаковой ванны при условиях, близких к таковым в реальных электрошлаковых процессах. Анализ поведения частиц НМ на поверхности шлаковой ванны был выполнен применительно к частицам в виде шара (аналог дроби) и прямоугольной пластины (стружка), наиболее часто применяемым в ЭШН НМ [2, 5]. Предлагаемый способ можно использовать для оценки поведения частиц другой формы.

Как указывалось выше, при попадании на границу раздела воздух–шлаковый расплав частицы НМ некоторое время могут плавать на ее повер-

хности. В это время происходит сложное тепловое и гидродинамическое взаимодействие частиц со шлаковым расплавом, заключающееся в нестационарном движении частиц в шлаке, образовании на их поверхности гарнисажа и его последующего расплавления, в нагреве частицы за счет тепла расплавленного шлака. При этом плотность системы частица–гарнисаж и краевой угол смачивания поверхности частицы расплавом непрерывно изменяются.

В настоящей работе рассматриваются частицы, которые не перемещаются по поверхности шлакового расплава, а находятся на его поверхности до полного расплавления гарнисажа. При температуре расплавления гарнисажа краевой угол смачивания шлаком твердой поверхности металла θ будет составлять менее $\pi/2$ [12, 13].

Поскольку плотность частиц НМ $\rho_{НМ}$ больше плотности шлака $\rho_{Ш}$, то они могут удерживаться на поверхности шлакового расплава только силами

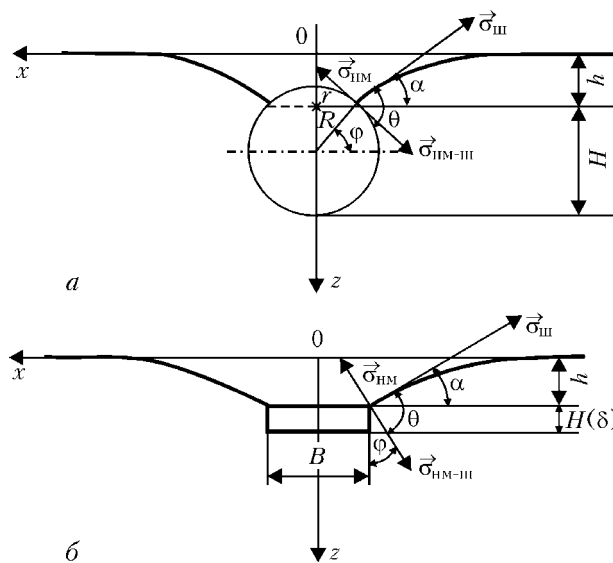


Рис. 1. Схема расположения частиц НМ на поверхности шлаковой ванны и направление векторов поверхностного натяжения на границе фаз: a — шар; b — пластина; $\sigma_{ШМ}$ — поверхностное натяжение на границе НМ–воздух; $\sigma_{НМ-III}$ — поверхностное натяжение на границе НМ–шлак (остальные обозначения см. в тексте)

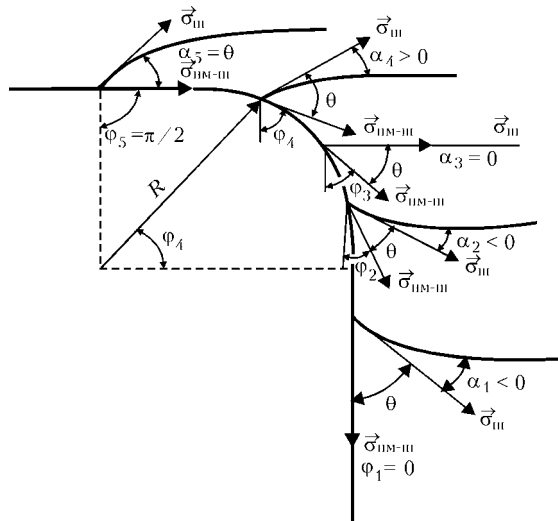


Рис. 2. Перемещение периметра смачивания через зону ребер частиц НМ, имеющих плоские грани ($\alpha_1 \dots \alpha_5, \varphi_1 \dots \varphi_5$ — изменение углов α и φ при погружении частицы НМ в шлак)

поверхностного натяжения [11, 13]. При этом вертикальная составляющая сил поверхностного натяжения (рис. 1) равна [11]

$$F_{\sigma z} = l\sigma_{\text{ш}} \sin \alpha, \quad (1)$$

где l — длина периметра смачивания; $\sigma_{\text{ш}}$ — поверхностное натяжение шлака; $\alpha = \theta + \varphi - \pi/2$ — угол наклона поверхности шлака к горизонту у периметра смачивания; θ — гистерезисный (или в частном случае равновесный) краевой угол смачивания; φ — угол формы частицы.

Как утверждается в работах [1, 10], на удержание твердых тел различной формы на поверхности расплавов существенное влияние оказывает характер смачивания. В указанных работах отмечается, что удержание твердых пластин на поверхности расплавов возможно лишь в случае отрицательного смачивания ($\theta > \pi/2$). Однако этот вопрос носит дискуссионный характер. При проведении экспериментов по переплаву стружки штамповых сталей (ДИ-22, 5ХНМ) [4] и отходов ножовочных полотен (сталь РЗМЗФ2) [5] в шлаке системы $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ нами замечено, что частицы в форме пластинок продолжают плавать в шлаковом расплаве даже при нагреве их поверхности до температуры солидуса переплавляемого материала. При этом имеет место положительное смачивание ($\theta < \pi/2$).

На основе данных работ [13, 14] процесс закрепления частиц, имеющих плоские грани, на поверхности шлаковой ванны при $\theta < \pi/2$ можно представить следующим образом (рис. 2).

Сначала при попадании частицы НМ на поверхность шлаковой ванны вектор поверхностного натяжения $\sigma_{\text{ш}}$, направленный вниз под углом θ к боковой грани частицы, способствует ее погружению. В результате частица начинает погружаться в расплав и периметр смачивания перемещается с ее боковых граней в зону верхних ребер (участки поверхности частицы, отстоящие от ребра на расстоянии, равное радиусу действия молекулярных

сил). Здесь вектор $\sigma_{\text{ш}}$ меняет направление и при $\theta + \varphi > \pi/2$ будет направлен вверх под некоторым углом α к горизонту, содействуя закреплению частиц на поверхности шлаковой ванны.

Переход периметра смачивания через зону ребра можно рассматривать как перемещение по криволинейной поверхности с очень малым радиусом кривизны, соизмеримым с радиусом действия молекулярных сил. При этом угол α и определяемая им сила $F_{\sigma z}$ будут возрастать. В момент перед затоплением частицы периметр смачивания будет проходить в зоне ребер по верхней грани, вследствие чего угол φ становится равным $\pi/2$, а угол α достигает своего максимального значения, т. е. гистерезисного угла смачивания θ .

Отсюда следует, что закрепление на поверхности шлаковой расплава частиц с плоскими гранями может происходить при достаточно малых краевых углах. Для частиц, падающих на границу раздела воздух-шлаковый расплав под углом или малой гранью, вероятность закрепления на границе меньше, чем для частиц, падающих на поверхность раздела одной из больших граней.

Для тел с криволинейной поверхностью направление действия поверхностных сил также меняется по мере погружения и способствует их выталкиванию при $\theta < \pi/2$ [15]. Однако условия закрепления таких частиц на границе раздела менее благоприятные, так как в этом случае максимальный угол φ всегда меньше $\pi/2$. Положение частицы на поверхности раздела (рис. 1) определяется углом φ , характеризующим положение периметра смачивания на поверхности частицы, и высотой h , равной смещению поверхности шлака по вертикали в точке 0.

Цель анализа состоит в определении зависимости угла φ (или α) от радиуса R (или толщины δ) частицы и краевого угла смачивания θ , а также максимальных размеров плавающих частиц.

Шар. На плавающий в шлаке шар радиусом R действуют силы

$$\text{тяжести: } \mathbf{P} = V\rho_{\text{нм}}\mathbf{g} = \frac{4}{3}\pi R^3\rho_{\text{нм}}\mathbf{g};$$

$$\begin{aligned} \text{Архимеда: } \mathbf{F}_A &= V_c\rho_{\text{ш}}\mathbf{g} = \pi H^2(R - \frac{H}{3})\rho_{\text{ш}}\mathbf{g} = \\ &= \frac{1}{3}\pi R^3(1 + \sin \varphi)^2(2 - \sin \varphi)\rho_{\text{ш}}\mathbf{g}; \end{aligned}$$

гидростатического давления (часть архимедовой силы, определяемой разностью уровней периметра смачивания и поверхности шлака):

$$\mathbf{F}_p = \pi r^2 h \rho_{\text{ш}} \mathbf{g} = \pi R^2 h \rho_{\text{ш}} \mathbf{g} \cos^2 \varphi;$$

поверхностного натяжения:

$$\mathbf{F}_\sigma = 2\pi r \sigma_{\text{ш}} = 2\pi R \sigma_{\text{ш}} \cos \varphi,$$

где V — объем шара; V_c и $H = R(1 + \sin \varphi)$ — соответственно объем и высота заглубленного сегмента; $r = R \cos \varphi$ — радиус его основания; g — ускорение свободного падения.

При $R \ll a$, что соответствует радиусу дроби, применяемой для ЭШН НМ, можно определить



величину h , воспользовавшись выражением, приведенным в работе [15]:

$$h = -R \cos \varphi \operatorname{tg} \alpha \left(\ln \frac{R \cos \varphi}{2a} + \gamma \right),$$

где $a^2 = \sigma_{\text{ш}} / \rho_{\text{ш}} g$ — капиллярная постоянная шлака; $\gamma = 0,5772$ — постоянная Эйлера.

Условием равновесия частиц на границе раздела воздух–шлаковый расплав является равенство нулю значения суммы проекций действующих сил на вертикальную ось. При этом, если составляющая вектора силы направлена вверх, то проекцию считаем положительной, а если вниз — отрицательной. Таким образом, после соответствующих преобразований можно записать

$$R^2 \left[(1 + \sin \varphi)^2 (2 - \sin \varphi) + 3 \left(\ln \frac{R \cos \varphi}{2a} + \gamma \right) \cos^3 \varphi \right] \times \operatorname{ctg} (\theta + \varphi) - 4 \frac{\rho_{\text{НМ}}}{\rho_{\text{ш}}} - 6a^2 \cos \varphi \cos (\theta + \varphi) = 0. \quad (1)$$

Решение трансцендентного уравнения (1) относительно φ в явном виде получено быть не может, однако определение R при различных φ не вызывает затруднений.

Максимальному размеру частиц, которые плавают на поверхности шлака, отвечает значение угла φ_{max} . Для его нахождения необходимо приравнять к нулю производную $d(\Sigma F_z) / d\varphi$. Из этого условия определить значение φ_{max} аналитически сложно. Следует заметить, что экстремумы ΣF_z и F_{σ_z} находятся практически при одних и тех же значениях φ , поскольку сила поверхностного натяжения претерпевает наибольшее изменение при затоплении частицы как по значению, так и по направлению. Поэтому необходимое значение определим из условия $dF_{\sigma_z} / d\varphi = 0$ при $d^2 F_{\sigma_z} / d\varphi^2 < 0$. Отсюда

$$\varphi_{\text{max}} = \frac{\pi - \theta}{2}.$$

Подставив значение φ_{max} в уравнение (1), находим выражение для определения максимального радиуса частиц сферической формы, удерживаемых на поверхности шлака:

$$R_{\text{max}}^2 \left[\left(1 + \cos \frac{\theta}{2} \right)^2 \left(2 - \cos \frac{\theta}{2} \right) - 3 \left(\ln \frac{R_{\text{max}} \sin \theta / 2}{2a} + \gamma \right) \sin^3 \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} - \frac{4\rho_{\text{НМ}}}{\rho_{\text{ш}}} \right] + 6a^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} = 0. \quad (2)$$

Таким образом, значение R_{max} зависит от поверхностного натяжения шлака, угла смачивания и плотности контактирующих фаз.

Пластина. На плавающую в шлаке пластину толщиной δ действуют силы тяжести, выталкивающая, гидростатического давления и поверхностного натяжения, имеющие следующие выражения:

$$\mathbf{P} = V_{\text{ш}} \rho_{\text{НМ}} \mathbf{g} = \delta BL \rho_{\text{НМ}} \mathbf{g}; \quad \mathbf{F}_A = V_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} \mathbf{g} = \delta BL \rho_{\text{ш}} \mathbf{g}; \\ \mathbf{F}_p = S h \rho_{\text{ш}} \mathbf{g} = BL h \rho_{\text{ш}} \mathbf{g}; \quad \mathbf{F}_{\sigma} = 2(B + L) \sigma_{\text{ш}},$$

где $V_{\text{ш}}$ — объем пластины; S — площадь основания; B — ширина; L — длина.

Условия равновесия пластины на поверхности шлака имеют вид

$$\delta BL \rho_{\text{ш}} g + BL h \rho_{\text{ш}} g + 2(B + L) \sigma_{\text{ш}} \sin \alpha - \delta BL \rho_{\text{НМ}} g = 0. \quad (3)$$

В общем случае для подобных по форме частиц при заданном значении a $h = f(L, B, \alpha)$.

Если у переплавляемого материала $B \neq L$ и $B/2 \gg a$, что характерно для основной массы стружки, применяемой при ЭШН НМ [4], то h можно определить, используя формулу (2) приведенную в работе [10]:

$$h = 2a \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда выражение (3) после соответствующих преобразований примет вид

$$\delta = \frac{2a \sin \frac{\alpha}{2} \left(m a \cos \frac{\alpha}{2} + 1 \right)}{\rho_{\text{НМ}} / \rho_{\text{ш}} - 1}, \quad (4)$$

где $m = 2(B + L) / BL$ — отношение периметра пластины к площади основания. При $\alpha = \alpha_{\text{max}} = \theta$ по формуле (4) можно определить максимальную толщину пластины, удерживаемой шлаком.

Если для переплавляемого материала $L \gg B$, удобно рассматривать пластину бесконечной длины. В этом случае в выражении (4) $m = 2/B$.

С целью проверки достоверности полученных зависимостей рассмотрим несколько конкретных примеров расчета для электрошлаковых технологий, применяемых в промышленности, где используются НМ.

Электрошлаковая наплавка зернистым присадочным материалом валков горячей прокатки [6]. Наплавочный материал — литая дробь высокохромистого чугуна с плотностью $\rho = 7600 \text{ кг/м}^3$ [16]. Для наплавки используют шлак АН-75 [17], близкий по составу к шлаку АНФ-14. Согласно работе [18], при температуре $1460 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура поверхности шлака при данном способе наплавки [6]) шлак АНФ-14 имеет свойства ($\rho_{\text{ш}} = 2650 \text{ кг/м}^3$ и $\sigma_{\text{ш}} = 0,31 \text{ Н/м}$), которые с некоторой долей приближения можно отнести к шлаку АН-75. Краевой угол смачивания поверхности высокохромистого чугуна шлаком АН-75 при $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура солидуса чугуна) достигает $42,5^\circ$ [17].

Результаты расчета по формуле (1) значений R для различных углов φ , а также R_{max} по выражению (2) приведены на рис. 3. Согласно данным работы [6], дробь диаметром не более $1,5 \text{ мм}$ (или $R \leq 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) устойчиво плавает на поверхности шлаковой ванны, что достаточно хорошо совпадает с расчетными данными.

Электрошлаковая наплавка стружкой изношенных штампов [5]. Наплавочный материал — стружка штамповой стали 5ХНМ плотностью $\rho_{\text{НМ}} =$

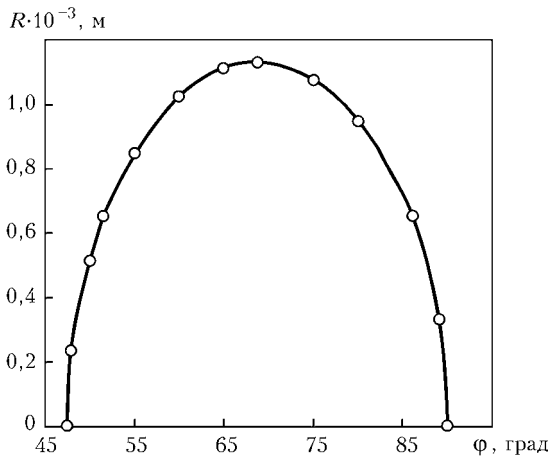


Рис. 3. Зависимость радиуса чугунной дроби, плавающей на поверхности шлака, от угла формы частицы φ

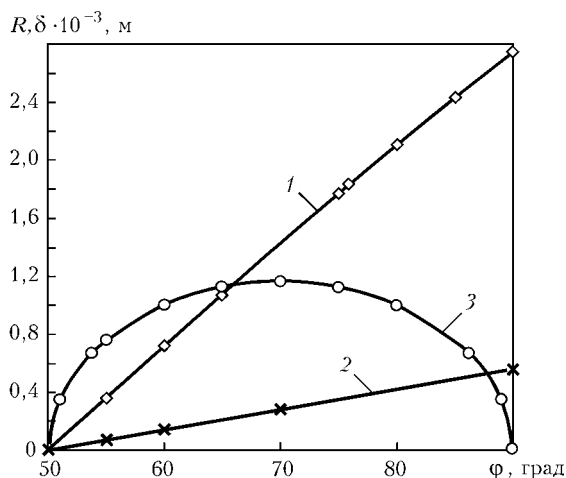


Рис. 4. Зависимость размеров частиц НМ из стали 5ХНМ, плавающих на поверхности шлака, от угла формы φ: 1, 2 — стружка, закрепленная соответственно наибольшей и наименьшей гранью; 3 — дробь

$= 7849 \text{ кг/м}^3$ [19]. Данные о значениях $\rho_{\text{ш}}$ и $\sigma_{\text{ш}}$ для шлака АН-15М, используемого при наплавке штампов, в литературе отсутствуют, поэтому воспользуемся данными работы [20] для шлака, близкого по составу к АН-15М, мас. %: CaF_2 25,0; Al_2O_3 33,65; CaO 30,85; SiO_2 10,5. При 1600°C для этого шлакового расплава $\rho_{\text{ш}} = 2660 \text{ кг/м}^3$, $\sigma_{\text{ш}} = 0,39 \text{ Н/м}$. Даных о краевом угле смачивания шлаком АН-15М поверхности стали 5ХНМ также нет. По данным работы [17], при температуре 1300°C угол смачивания поверхности стали 45 шлаком АНФ-29, близким по составу шлаку к АН-15М, достигает $38,5^\circ$. При 1460°C (температура солидуса стали 5ХНМ [19]) для расчетов принимаем угол θ равным 40° .

При наплавке используют стружку с фрезерных и строгальных станков. Первая имеет вид изогнутых пластинок со следующими размерами: $\delta = (0,3... 1,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = (8,5... 11,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $L = (16... 20) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. При падении такой стружки в шлаковый расплав наибольшей гранью расчеты из формулы [17] дают следующие значения для $\delta_{\text{max}} = (2,743... 3,130) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

В случае падения стружки на наименьшую грань (т. е. ребра длиной L расположены вертикально) $\delta_{\text{max}} = (0,555... 0,730) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Стружка строгальных станков имеет вид изогнутых пластинок размерами $\delta = (1,0... 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = (11... 13) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $L = (20... 50) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ или спиралей длиной $L = (120... 150) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при аналогичных δ и B . В случае падения стружки в виде изогнутых пластинок на наибольшую грань, согласно расчетам по выражению из работы [17], $\sigma_{\text{max}} = (2,310... 2,743) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. При падении стружки на наименьшую грань $\delta_{\text{max}} = (0,206... 0,555) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Вероятность закрепления стружки в виде плоской спирали больше, если она контактирует с поверхностью шлака по всей длине L (т. е. ребра длиной B расположены вертикально). Для данного случая (пластина бесконечной длины, поскольку $L \gg \delta$) $\delta_{\text{max}} = (0,845... 1,021) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Таким образом, расчеты показывают, что при наплавке стружка с фрезерных станков практически вся находится на поверхности шлака до подплавления или полного расплавления, а большая часть стружки (особенно спиралевидной) со строгальных станков может погружаться и плавиться под слоем шлака.

В качестве примера на рис. 4 даны расчетные значения толщины плавающей стружки (в виде изогнутой пластинки) размерами $B = 11 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $L = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ в зависимости от угла φ. Для сравнения там же приведены данные расчета характеристик равновесного положения на поверхности шлака АН-15М дроби стали 5ХНМ.

Выводы

1. В результате теоретического анализа получены зависимости, описывающие условия пребывания НМ различной формы на поверхности шлака.
2. На основании расчетов по полученным зависимостям применительно к системе твердый металл–шлаковый расплав установлено, что дробь хромистого чугуна диаметром до 2,3 мм и стружка инструментальной стали 5ХНМ толщиной до 2,7 мм (закрепление наибольшей гранью) или до 0,6 мм (закрепление наименьшей гранью) могут удерживаться на поверхности шлаковой ванны. При этом зафиксировано достаточно хорошее совпадение опытных данных с расчетными.

1. *Металлургия электрошлакового процесса* / Б. И. Медовар, А. К. Цыкуленко, В. Л. Шевцов и др. — Киев: Наук. думка, 1986. — 248 с.
2. *Кусков Ю. М., Ксендзык Г. В.* Применение зернистого присадочного материала при электрошлаковой наплавке // *Современные способы наплавки и их применение*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 62–70.
3. *Лютый И. Ю., Латаш Ю. В.* Электрошлаковая выплавка и рафинирование металлов. — Киев: Наук. думка, 1982. — 188 с.
4. *Носатов В. А., Кузьменко О. Г., Овчинникова Т. Х.* Получение биметаллических заготовок с использованием электрошлакового обогрева переплавом стружки // *Теория и практика процессов получения биметаллических и многослойных отливок*. — Киев: ИПЛ, 1987. — С. 109–113.
5. *Кузьменко О. Г., Носатов В. А.* Получение инструмента и технологической оснастки повышенной работоспособности электрошлаковой наплавкой с использованием отходов инструментального производства // *Металлообработка*:



- Современный инструмент и инструментальные материалы. — Киев: О-во «Знание» Украины, 1996. — С. 29–30.
6. Ксендзык Г. В. Электрошлаковая наплавка зернистым присадочным материалом // Свароч. пр-во. — 1990. — № 11. — С. 2–3.
 7. Численное моделирование движения и нагрева макрохолодильников в шлаковой ванне / В. Ф. Демченко, А. К. Цыкуленко, А. И. Барышев и др. // Автомат. сварка. — 1984. — № 9. — С. 24–28.
 8. Poggi D., Minto R., Davenport W. G. Mechanisms of metal entrapment in slags // J. Metals. — 1969. — 21, № 11. — P. 40–45.
 9. Ванюков А. В., Зайцев В. Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1969. — 408 с.
 10. Условия плавления металлических тел в расплавах / В. Я. Бакст, М. Я. Меджибоджеский, Л. И. Тарасюк и др. // Изв. вуз. Черн. металлургия. — 1984. — № 3. — С. 33–37.
 11. Адам Н. К. Физика и химия поверхностей. — М.; Л.: Гостехиздат, 1947. — 552 с.
 12. Попель С. И. Поверхностные явления в расплавах. — М.: Металлургия, 1994. — 432 с.
 13. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание. — М.: Химия, 1974. — 416 с.
 14. Иващенко Ю. М., Єременко В. Н. Основи прецизійного вимірювання поверхньої енергії розплавів за методом лежачої краплі. — К.: Наук. думка, 1972. — 234 с.
 15. Товбин М. В., Чеша И. И., Духин С. С. Исследование свойств поверхностного слоя жидкой металлы методом плавающей капли // Коллоид. журн. — 1970. — 32, № 5. — С. 771–777.
 16. Лариков Л. Н., Юрченко Ю. Ф. Структура и свойства металлов и сплавов. Тепловые свойства металлов и сплавов: Справочник. — Киев: Наук. думка, 1985. — 440 с.
 17. Кусков Ю. М. Исследование и разработка наплавочных материалов и технологии электрошлаковой наплавки валков горячей прокатки: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1979. — 210 с.
 18. Вязкость и поверхностное натяжение некоторых сварочных шлаков / В. И. Голошубов, А. М. Сливинский, Н. И. Конерсак и др. // Автомат. сварка. — 1972. — № 2. — С. 73.
 19. Кушиловский В. В., Крутиков В. К. Литые штампы для горячего объемного деформирования. — Л.: Машиностроение, 1987. — 126 с.
 20. Физические свойства расплавов системы CaO–SiO₂–Al₂O₃–MgO–CaF₂: Справочник / А. А. Акбердин, И. С. Куликов, В. А. Ким и др. — М.: Металлургия, 1987. — 144 с.

Data are given on behaviour of particles of non-compact materials (chips and grit) on the surface of the slag pool in electroslag surfacing. Conditions have been determined for fixation of these particles at the air-slag interface. It is shown that grit of chromium cast iron with a diameter of up to 2.3 mm and chips of tool steel 5KhNM up to 2.7 mm thick (fixation at the biggest side) or up to 0.6 mm thick (fixation at the smallest side) may float on the surface of the slag pool.

Поступила в редакцию 09.02.2004,
в окончательном варианте 23.02.2004



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПОКРЫТИЯ И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

15–17 марта 2005 г.

г. Москва
Центр международной торговли

В предыдущей выставке (11–13 мая 2004 г.) приняли участие более 80 компаний из 12 стран, включая 15 иностранных компаний, выбравших обработку поверхности как платформу для выхода на российский рынок. Выставка прошла при поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ, правительства Москвы, Министерства экономического развития РФ, Российского союза производителей и предпринимателей и Общества производителей нефтегазового оборудования.

Выставка обработка поверхности хорошо известна иностранным специалистам, она рекламируется в 9 ведущих международных журналах и на крупнейших иностранных выставках.

Организаторы: ООО «Примэкспо».
Тел: +7(812) 380 60 02
Факс: +7(812) 380 60 01
E-mail: coating@primexpo.ru
www.primexpo.ru/coating



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИПА МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

И. А. КОНДРАТЬЕВ, И. А. РЯБЦЕВ, кандидаты техн. наук, Я. П. ЧЕРНЯК, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы структура и свойства мартенситностареющих сталей, наплавленных порошковыми проволоками различных систем легирования. Установлен оптимальный состав наплавленного металла, который непосредственно после наплавки имеет твердость HRC 30, что позволяет без затруднения производить обработку резанием. После отпуска при $480\text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 ч твердость наплавленного металла возрастает до HRC 50 и он приобретает высокую теплостойкость, что позволяет рекомендовать его для упрочнения рабочих поверхностей штампового инструмента сложной формы.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавленный металл, мартенситностареющие стали, порошковая проволока, теплостойкость

По своим технологическим, механическим и эксплуатационным свойствам мартенситностареющие стали являются весьма перспективным материалом широкого назначения. Благодаря специфическому механизму упрочнения технология изготовления самых разнообразных изделий из этих сталей отличается относительной простотой и надежностью [1, 2].

Применение мартенситностареющих сталей в качестве наплавленного металла имеет ряд преимуществ перед металлом мартенситного класса: возможность наплавки без предварительного и сопутствующего подогревов; сравнительно невысокую исходную твердость, что позволяет производить механическую обработку наплавленных изделий резанием; получение высоких эксплуатационных свойств в результате отпуска после механической обработки.

Информация в технической литературе о мартенситностареющих сталях в основном касается низкоуглеродистой высоконикелевой стали, легированной молибденом и кобальтом. Высокопрочные стали на основе системы легирования Fe-Ni-Co-Mo , как правило, классифицируются по пределу прочности [1]. Эти стали отличаются достаточно высокой твердостью и прочностью. Например, стали, содержащие около 15 мас. % Co и 10 мас. % Mo , после старения имеют твердость HRC 60. Область применения таких сталей — судостроение, ракетная, авиационная и криогенная техника.

Для наплавки подобных сталей (H8M11K10CT , H12M8K8C2T и др.) под слоем флюса разработано несколько марок порошковых проволок [3, 4]. Однако очень высокая стоимость и дефицитность легирующих элементов ограничивает возможности широкого применения подобных материалов в целях упрочнения различных деталей и инструментов. Необходимо учитывать также, что высокая степень легирования высокопрочных мартенситно-

стареющих сталей (суммарное содержание легирующих элементов в них, как правило, должно составлять не менее 30...35 %) практически не позволяет изготовить порошковую проволоку, особенно самозащитную, обеспечивающую получение наплавленного металла такого класса.

В связи с изложенным, внимание заслуживают экономнолегированные конструкционные или инструментальные мартенситностареющие стали [4, 2]. Последние могут использоваться, в частности, для наплавки штампового инструмента, работающего в контакте с горячим металлом.

Высокая прочность мартенситностареющих сталей указанной группы является суммарным результатом реализации в основном двух процессов упрочнения — образования твердого раствора замещения и сдвигового (мартенситного) механизма $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения.

В случае применения сталей указанного типа в качестве наплавочных материалов для восстановления штампового инструмента они должны иметь высокую теплостойкость и термостойкость. Для обеспечения этих свойств в их состав должны входить никель, молибден, титан, алюминий и другие легирующие элементы, благодаря которым обеспечивается снижение температуры $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения, а также образование мартенсита замещения и упрочняющих фаз. Кроме того, введение массовой доли молибдена (0,5...2,5 %) в сталь существенно повышает ее пластичность и вязкость. При незначительной добавке кремния в никелевую сталь уменьшается растворимость молибдена и титана, что увеличивает эффект дисперсионного твердения [2].

Следует отметить, что для снижения температуры начала мартенситного превращения и упрочнения мартенсита после закалки целесообразно использовать углерод, содержание которого в таких сталях может составлять 0,06...0,10 мас. %. Возможность повышения содержания углерода в стали до 0,10 мас. % важна при создании порошковых наплавочных проволок, для производства которых используют холоднокатаную ленту из стали 08кп и углеродсодержащие ферросплавы.



Таблица 1. Химический состав наплавленного металла

№ порошковой проволоки	Марка проволоки	Массовая доля элементов, %						HRC	
		C	Ni	Mn	Mo+Ti+W	Si+Al+Cu	Прочие	После наплавки	После отпуска
1	ПП-Нп-ОП1	0,10	11,0	—	3,4	2,8	4,8 Cr; 0,2 V	28...31	43...45
2	ПП-Нп-ОП2	0,05	8,9	2,3	2,3	1,1	5,0 Cr	29...31	40...41
3	ПП-Нп-ОП3	0,06	5,2	0,7	3,2	1,7	3,9 Cr; 0,8 Nb	38...39	46...48
4	ПП-Нп-ОП4	0,10	—	5,1	4,6	4,1	—	32...34	52...53
5	ПП-Нп-ОП5	0,07	—	5,1	3,7	2,0	—	20...22	34...35
6	ПП-Нп-ОП6	0,11	—	5,5	4,2	3,4	—	25...26	34...35
7	ПП-Нп-ОП7	0,07	2,3	5,2	4,0	4,6	—	39...40	44...45
8	ПП-Нп-ОП8	0,07	7,5	5,2	2,3	2,4	—	32...34	52...53
9	ПП-Нп-ОП9	0,08	8,0	5,5	2,4	1,5	—	29...30	49...50
10	ПП-Нп-ОП10	0,07	8,5	5,8	2,5	0,7	—	25...26	46...47
11	ПП-Нп-ОП11	0,08	3,9	4,1	4,2	4,5	—	34...35	48...49

Примечание. Температура старения 480... 500 °С, выдержка 3 ч.

Для выбора оптимального состава наплавленного металла изготовлено 11 опытных самозащитных порошковых проволок диаметром 2 мм, обеспечивающих получение металла типа мартенситностареющих сталей различных систем легирования. Наплавку без предварительного подогрева всеми порошковыми проволоками производили на режиме: $I_n = 240... 260$ А; $U_d = 22... 24$ В. Химический состав наплавленного металла (в четвертом слое) и его твердость после наплавки и отпуска представлены в табл. 1.

По составу опытные порошковые проволоки можно разделить на несколько групп (табл. 1). В шихте порошковых проволок первой группы (№ 1–3) в качестве основных легирующих элементов использовали никель, хром и молибден; в шихте второй группы (№ 4–6) хром отсутствовал, а никель был полностью заменен марганцем; в третьей группе (№ 7–11) хрома также не было, а никель частично заменялся марганцем.

В процессе наплавки установлено, что все исследуемые порошковые проволоки отличались необходимыми сварочно-технологическими свойствами: качественным формированием наплавленного металла и хорошей отделимостью шлаковой корки (газошлакообразующая система проволок — $CaCO_3-TiO_2-CaF_2$). Однако при многослойной наплавке на жесткий массивный образец установлено, что в безникелевом наплавленном металле (порошковая проволока № 6) и наплавленном ме-

талле с 2 мас. % Ni (порошковая проволока № 7) образуются мелкие трещины. В металле, наплавленном с использованием порошковых проволок остальных групп, появление дефектов не обнаружено.

При выборе оптимального состава наплавленного металла исходили из следующего условия: твердость металла после наплавки не должна превышать HRC 30, а после старения должна быть на уровне HRC 50. Этим требованиям в наибольшей мере отвечает никельмарганцевый наплавленный металл (порошковые проволоки № 8, 9), дополнительно легированный кремнием, который несколько усиливает эффект дисперсионного твердения [2]. По степени легирования он более экономичен, чем известные мартенситностареющие стали, содержащие 12... 18 мас. % Ni и до 10 мас. % молибдена, кобальта, вольфрама и других легирующих элементов [1, 2].

Из этих двух составов наплавленного металла (порошковые проволоки № 8 и 9) предпочтение следует отдать второму, имеющему после наплавки твердость HRC 30, что позволяет без затруднений проводить обработку резанием. После отпуска твердость наплавленного металла возрастает до HRC 50. Исходя из этого указанный тип металла был принят за основу при разработке самозащитной порошковой проволоки и технологии наплавки слоя экономнолегированной мартенситностареющей стали.

Для выбора оптимальной термической обработки металла, наплавленного порошковой проволо-

Таблица 2. Зависимость твердости металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-ОП9, от температуры и времени отпуска

Отпуск		HRC	
Температура, °С	Время, ч	После наплавки	После отпуска
400	3	29...30	48...49
400	5	29...30	48...49
500	3	29...30	49...50
500	5	29...30	46...47
600	3	29...30	30...31
600	5	29...30	28...29

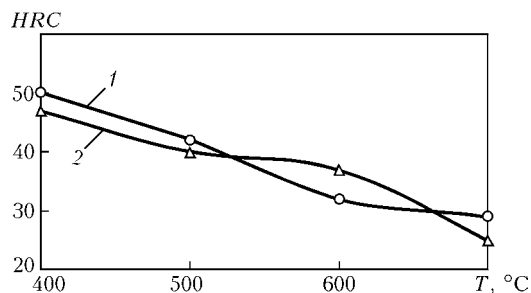


Рис. 1. Теплостойкость металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-ОП9 (1), и штамповой стали 5ХНМ (2)

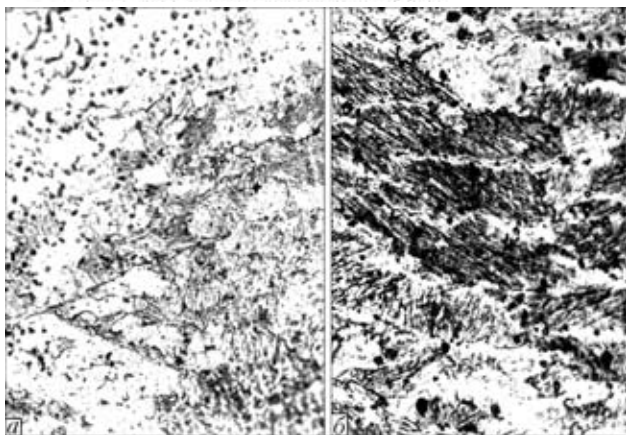


Рис. 2. Микроструктура металла, полученного с использованием проволоки ПП-Нп-ОП9, после наплавки (а, X320) и отпуска (б, X500) при 480 °С, 3 ч

кой марки ПП-Нп-ОП9, исследована зависимость его твердости от температуры и продолжительности отпуска. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Оптимальным режимом отпуска металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП9, следует считать нагрев до 480...500 °С и выдержка 3 ч.

Была исследована теплостойкость (стойкость против отпуска) металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-ОП9, которую в основном предполагается использовать для восстановления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металла. Обычно теплостойкость характеризуется температурой отпуска, при которой металл сохраняет твердость на уровне HRC 40. Результаты испытаний приведены на рис. 1. По этому показателю наплавленный металл предлагаемого состава не уступает известной штамповой стали 5ХНМ [5].

Были проведены опыты по определению влияния технологии наплавки на исходную твердость металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП9, а также на эффект старения. Установлено, что предварительный подогрев (200...400 °С) наплавляемой детали не сказывается на исходной твердости наплавленного слоя и его твердости после отпуска.

Не оказывают влияния также на твердость металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП9, способ наплавки (открытая дуга или под флюсом) и скорость охлаждения после наплавки — замедленное (термостат, печь) или на открытом воздухе. Отмечено незначительное (на 2...3 единицы по шкале Роквелла) повышение исходной твердости металла, полученного при наплавке с остыванием до 20 °С каждого предыдущего наплавленного слоя перед нанесением следующего. При этом твердость после отпуска остается на прежнем уровне — HRC 50.

Structure and properties of maraging steels deposited with flux-cored wires of different alloying systems have been studied. Optimal composition of deposited metal has been determined. In the as-deposited condition this metal has hardness of HRC 30, which makes it easy to cut, whereas after tempering at 480 °C for 3 h its hardness grows to HRC 50. The deposited metal after tempering has good high-temperature strength, which allows it to be recommended for hardening of working surfaces of intricate die tools.

Таблица 3. Химический состав структурных составляющих металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП9

Место анализа	Массовая доля элементов, %						
	Fe	Ni	Mn	Si	Al	Mo	Ti
Матрица	84,92	7,21	4,35	1,29	0,79	0,70	0,78
Включение	63,15	5,09	2,87	0,80	0,65	0,68	26,75

Металлографические исследования показали, что после наплавки структура металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП9, состоит из аустенита, феррита и незначительной объемной доли мартенсита (рис. 2, а). После отпуска при температуре 480 °С, 3 ч структура наплавленного металла этого типа представляет собой мелорельефный пластинчатый мартенсит с включениями мелкодисперсных карбидов (рис. 2, б).

На микрорентгеноспектральном анализаторе Camebax SX50 исследовали состав матрицы и дисперсных включений в металле, наплавленном проволокой ПП-Нп-ОП9 (табл. 3), а также распределение в нем основных легирующих элементов.

Включения представляют собой сложные карбиды, размер которых составляет от 2 до 5 мкм. Что касается распределения легирующих элементов в наплавленном металле, то в нем наиболее равномерно в матрице распределен алюминий, а титан в основном входит в состав карбидов.

Исследования эффекта старения в процессе отпуска наплавленного металла типа мартенситностареющих сталей различных систем легирования позволили определить оптимальный состав самозащитной порошковой проволоки ПП-Нп-ОП9. Причем, как было установлено, твердость металла, наплавленного этой проволокой, не зависит от способа и температурного цикла наплавки. Наплавленный металл этого типа обладает также достаточно высокой теплостойкостью, что позволяет рекомендовать его для упрочнения рабочих поверхностей штампового инструмента сложной формы.

1. Перкас М. Д., Кардомский В. М. Высокопрочные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1971. — 224 с.
2. Бирман С. Р. Экономнолегированные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1974. — 207 с.
3. Бармин Л. Н., Королев Н. В., Прякин А. В. Свойства мартенситностареющих сплавов для наплавки инструмента горячего и холодного деформирования металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 57–61.
4. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситностареющие стали для наплавки штампов // Свароч. пр-во. — 2003. — № 2. — С. 35–37.
5. Позняк Л. А. Инструментальные стали. — Киев: Наук. думка, 1996. — 488 с.

Поступила в редакцию 09.02.2004



ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Ч. В. ПУЛЬКА, канд. техн. наук, **О. Н. ШАБЛИЙ**, д-р физ.-мат. наук (Тернопольский гос. техн. ун-т им. Ивана Пулюя),
А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований структуры и свойств металла, наплавленного индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей. Показано, что благодаря экранированию на 12 % снижается неравномерность толщины слоя наплавленного металла, экономится на 10...15 % электроэнергия, исключается перегрев торца диска и наплавленного металла, а также сокращается время наплавки по сравнению с наплавкой без экранирования. При этом микроструктура, твердость и износостойкость наплавленного металла остаются на том же уровне, что и при индукционной наплавке без экранирования.

Ключевые слова: индукционная наплавка, индуктор, удельная мощность, тепловое и электромагнитное экранирование, наплавленный металл, карбиды, микротвердость, структура, износостойкость

Для экономии электроэнергии при индукционной наплавке ножей ботворезов авторами настоящей работы предложено изменять мощность источника нагрева по экспоненциальному закону (т. е. при непрерывном наращивании удельной мощности) без переключения генератора [1]. При этом достигается экономия электроэнергии на 15...25 %. Эта идея была реализована при разработке технологии индукционной наплавки ножей ботворезов

с экранированием тепловых и электромагнитных полей [2, 3].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния режимов индукционной наплавки на структуру и свойства металла, наплавленного индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей, а также их сравнение с аналогичными свойствами металла, наплавленного обычным индукционным способом без экранирования.

Наплавку по двум технологиям выполняли с использованием износостойкого порошкообразного сплава ПГ-С1 (У30Х28Н4С4). Толщина наплавленного слоя составляла 0,8...1,5 мм, основной металл — сталь Ст3 толщиной 3 мм. Для наплавки использовали двухвитковый кольцевой индуктор, оборудованный дополнительными устройствами для экранирования тепловых и электромагнитных полей.

Как показали исследования, в микроструктуре металла, наплавленного по разработанной авторами технологии, содержатся первичные хромистые

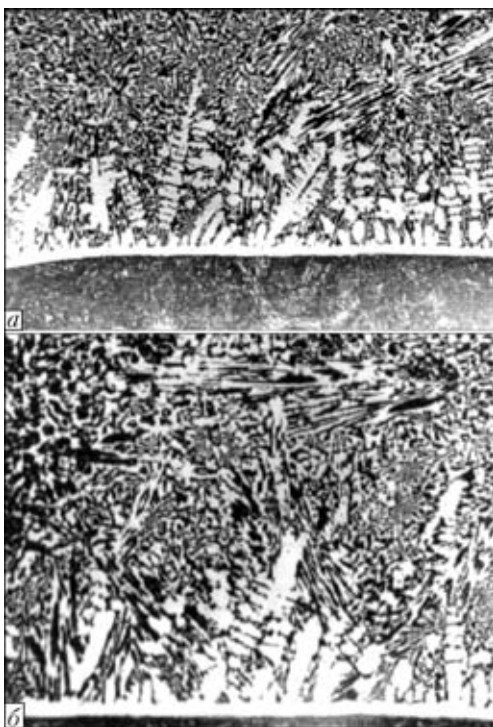


Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла У30Х28Н4С4, полученная непосредственно у границы сплавления (а) и в центре наплавленного слоя (б) (травление электролитическое в 20%-м водном растворе хромового ангидрида, напряжение 20 В, выдержка 5 с, $\times 200$)

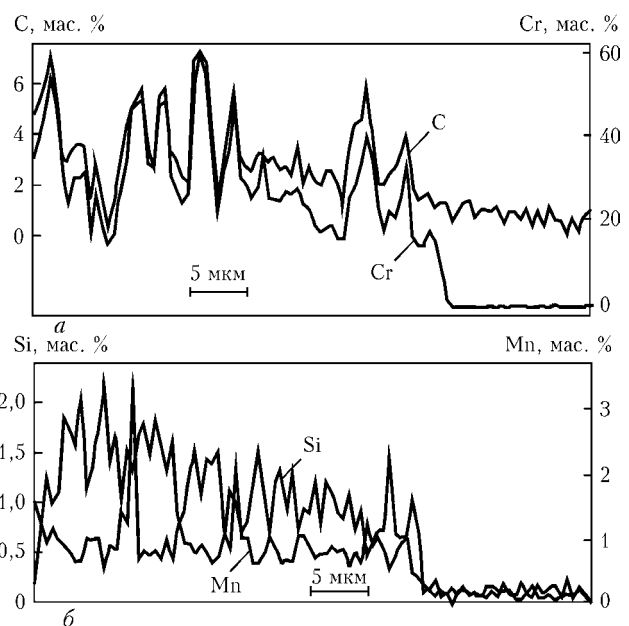


Рис. 2. Распределение углерода, хрома (а), кремния и марганца (б) по высоте слоя наплавленного металла



Таблица 1. Микротвердость (МПа) структурных составляющих наплавленного металла

Способ наплавки	Карбиды хрома	Матрица	Белая полоска (переходная зона)
Без экранирования	15320... 17820	4550... 5140	3220... 3570
С экранированием	14300... 15440	5150... 5900	3780... 4530

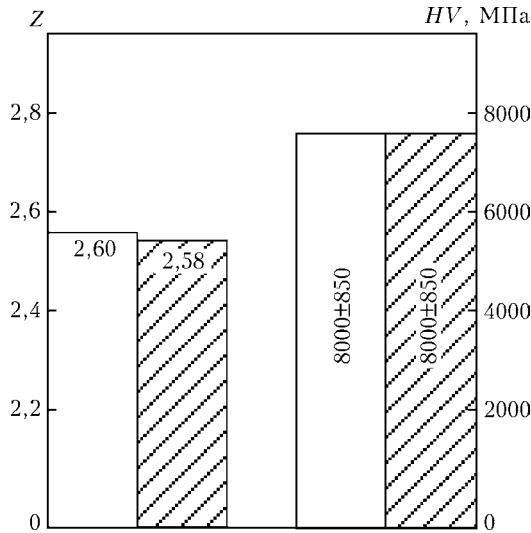


Рис. 3. Относительная износостойкость Z и твердость металла образцов, полученных при индукционной наплавке без экранирования (светлые столбцы) и с экранированием (заштрихованные) тепловых и электромагнитных полей

карбиды в виде довольно крупных пластинок прямоугольной или ромбовидной формы, равномерно распределенные в матрице (рис. 1). Со стороны наплавленного металла к границе раздела прилегают скопления карбидной эвтектики. У линии сплавления наплавленный металл имеет четко выраженную дендритную структуру (рис. 1, а). В

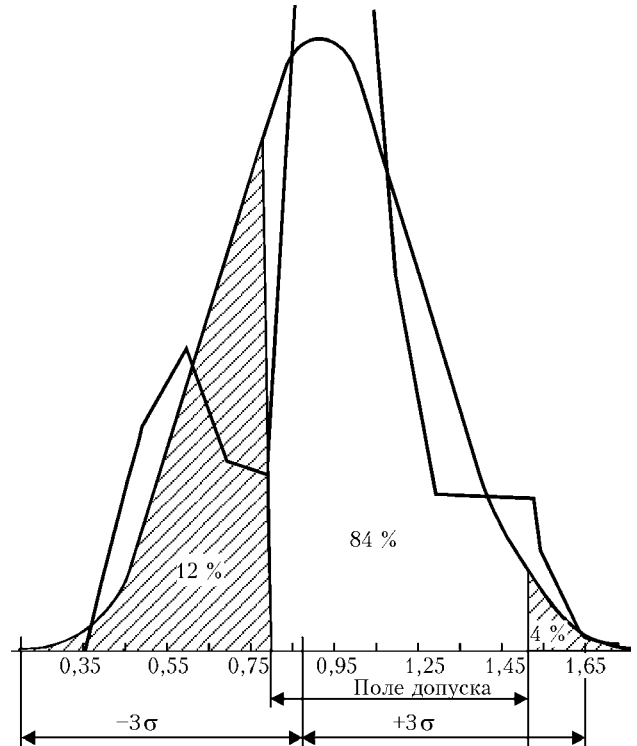
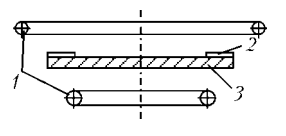
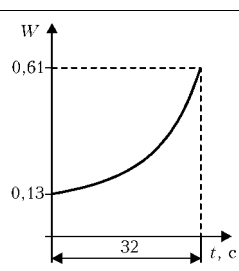

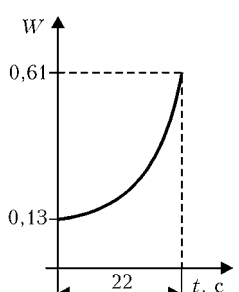


Рис. 4. Кривая нормального распределения слоя наплавленного металла по толщине, полученного при использовании нагревательной системы с экранированием

Таблица 2. Режимы наплавки с применением различных нагревательных систем

Способ наплавки	Напряжение, кВ		Ток, А		Длительность наплавки, с	Изменение удельной мощности на индукторе $W \cdot 10^{-9}$, Вт/м ³
	на контуре	на аноде	сети лампы	анода лампы		
Без экранирования тепловых и электромагнитных полей 	3,1...8,5	11,5...12,0	0,65...1,70	2,0...5,5	32	
С экранированием тепловых и электромагнитных полей 	3,1...8,5	11,5...12,0	0,65...1,70	2,0...5,5	22	

Примечание: 1 – индуктор; 2 – твердый сплав; 3 – деталь; 4, 5 – соответственно тепловой и электромагнитный экраны; при наплавке использовали генератор ВЧИ-63/0,44.



верхнем слое наплавленного металла содержатся включения первичных карбидов веерообразной формы (рис. 1, б). Белая полоска на границе раздела между основным и наплавленным металлом имеет переменную ширину (15... 20 мкм). По краям наплавленного валика структура представляет собой смесь карбидов различной дисперсности. При этом наличие первичных крупных пластинчатых карбидов не наблюдается.

С помощью микротвердомера М-400 фирмы «Леко» (табл. 1) была замерена микротвердость (МПа) структурных составляющих металла, наплавленного без экранирования и с экранированием тепловых и электромагнитных полей.

Как видно из полученных данных, значения микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного по двум технологиям, практически не отличаются.

Был произведен микрорентгеноспектральный анализ наплавленного металла на микроанализаторе SX-50 («Камебакс») фирмы «Камека» (рис. 2). Во всех случаях анализ производился примерно в центре наплавленного слоя перпендикулярно линии сплавления на глубине до 480 мкм от границы сплавления. Установлено, что в металле исследованных образцов углерод связан в карбиды типа Me_7C_3 (рис. 2, а), заметного диффузионного перераспределения углерода у линии сплавления не наблюдалось. Кремний и марганец также не диффундируют в основной металл (рис. 2, б).

Исследования износостойкости наплавленного металла проведены на машине НК-М [4] при следующих условиях: абразив — кварцевый песок с размерами частиц 0,2... 0,4 мм; путь трения — 400 м; давление — 0,466 МПа; эталон — отожженная сталь 45. На рис. 3 представлены усредненные данные о износостойкости наплавленного металла, полученные по результатам трех испытаний.

Как видно из рис. 3, относительная износостойкость и твердость металла, наплавленного по двум технологиям, находится примерно на одном уровне.

Произведены исследования равномерности толщины слоя наплавленного металла по методике [5]. На рис. 4 представлена кривая нормального

распределения наплавленного слоя металла по толщине. Незаштрихованные области, находящиеся под кривой нормального распределения, теоретически представляют собой процентную долю деталей, у которых толщина наплавленного металла находится в поле допуска. Равномерность распределения слоя металла по толщине, наплавленного с экранированием тепловых и электромагнитных полей, по сравнению с наплавкой без экранирования, увеличивается на 12 % вследствие более равномерного распределения мощности (температуры) в зоне наплавки. Кроме того, на 10... 15 % достигается экономия электроэнергии за счет сокращения времени наплавки диска (с 32 до 22 с) и уменьшения конвективного теплообмена между торцевой поверхностью детали с окружающей средой (табл. 2).

Таким образом, результаты исследований показали, что металл наплавленный индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей, по своим свойствам не уступает металлу, наплавленному по обычной технологии. Однако за счет экранирования на 12 % снижается неравномерность распределения слоя наплавленного металла по толщине на 10... 15 %, достигается дополнительная экономия электроэнергии, время наплавки сокращается с 32 до 22 с, исключается перегрев торца диска и наплавленного металла.

1. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Будзан Б. П. Оптимизация энергозатрат при индукционной наплавке тонкостенных фасонных дисков // Автомат. сварка. — 1987. — № 1. — С. 36-39.
2. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Письменный А. С. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования // Там же. — 2002. — № 11. — С. 24-26.
3. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Письменный А. С. Оптимизация индукционной наплавки тонких дисков с учетом теплового и электромагнитного экранирования // Там же. — 2003. — № 9. — С. 22-25.
4. Юзвенко Ю. А., Гавриш В. А., Марьенко В. А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 23-27.
5. Пулька Ч. В. Влияние режимов наплавки на толщину наплавленного слоя и величину деформации тонких стальных дисков // Автомат. сварка. — 1997. — № 10. — С. 57-58.

The paper gives results of investigation of structure and properties of metal deposited by the induction surfacing method that involves screening of thermal and electromagnetic fields. It is shown that owing to screening the non-uniformity of thickness of the deposited metal layer is decreased by 12 %, saving of power amounts to 10...15 %, overheating of the face of disk and deposited metal is eliminated, and time of surfacing is reduced compared with surfacing without screening. In this case the microstructure, hardness and wear resistance of the deposited metal remain at the same level as in induction surfacing without screening.

Поступила в редакцию 11.01.2004,
в окончательном варианте 14.01.2004

ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. В. ОСИН, инж., **И. А. РЯБЦЕВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ литературных данных о влиянии серы на механические и эксплуатационные свойства сталей и чугунов. Показано, что сера является перспективным легирующим элементом в наплавочных материалах, предназначенных для восстановления и упрочнения деталей, работающих в условиях трения металла по металлу при повышенных температурах и подвергающихся износу схватыванием.

Ключевые слова: сера в сталях, сера в чугуне, сульфидные включения, механические свойства сталей и чугунов, наплавочные материалы, легирование серой

Сера является вредной примесью в сталях и других сплавах на основе железа. В частности, она образует легкоплавкие сульфидные включения, выделяющиеся по границам зерен, которые приводят к появлению в металле кристаллизационных трещин, а также обуславливает красноломкость стали при температурах горячей деформации [1]. Из-за отрицательного влияния серы на свойства сталей и сплавов на основе железа ее содержание обычно ограничивают до 0,03 % [2].

По данным работ [3, 4] сера неограниченно растворима в жидком и обладает очень низкой растворимостью в твердом железе. Как следует из диаграммы состояния железо-сера (рис. 1), в процессе равновесной кристаллизации железа в температурном интервале 1535... 1365 °С (δ -железо) при концентрации серы до 0,18 % (что является предельной ее растворимостью в δ -железе при 1365 °С) выделения сульфидной фазы не происходит. Предельная растворимость серы в γ -железе при 1365 °С составляет 0,04... 0,05 % и со снижением температуры уменьшается и составляет 0,005 % при 913 °С. $\gamma \rightarrow \alpha$ -Превращение при 913 °С приводит к скачкообразному увеличению концентрации серы в железе до 0,02 %, однако при дальнейшем охлаждении ее содержание в нем снова снижается.

Сульфиды, с которыми связаны основные причины отрицательного влияния серы на свойства сталей и чугунов, представляют собой соединения

серы с металлами (в основном с железом), а также неметаллами (бором, кремнием, мышьяком и др.). Согласно работе [5], по склонности к образованию сульфидов в стали легирующие элементы можно расположить в следующей последовательности: Zr, Ti, Mn, Nb, V, Cr, Al, Mo, W, Fe, Ni, Co, Si.

В табл. 1 представлены данные энтальпии образования сульфидов некоторых элементов, которыми легируются различные стали [4].

В спокойных, хорошо раскисленных углеродистых сталях, а также в легированных сталях вследствие более низкой по сравнению с концентрацией серы концентрацией в них кислорода, основную массу неметаллических включений составляют сульфиды. Поэтому основное влияние на свойства стали оказывают именно включения серы,

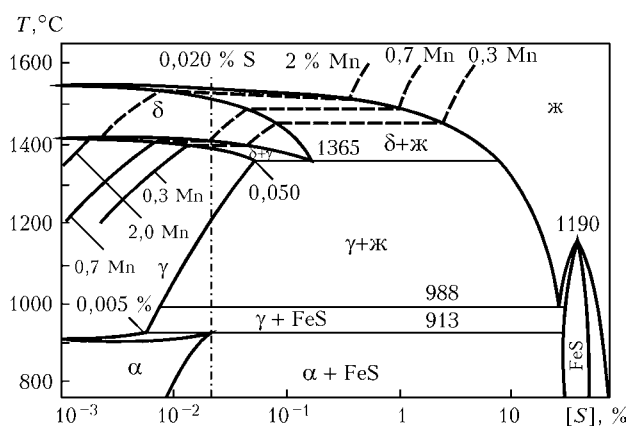


Рис. 1. Фрагмент диаграммы Fe-S (сплошная кривая) и влияние марганца (штриховая) на структурное состояние [4]

Таблица 1. Энтальпии образования сульфидов ($-H_{298}$, кДж/моль)

Легирующий элемент	Значение энтальпии в зависимости от типа сульфида			Легирующий элемент	Значение энтальпии в зависимости от типа сульфида		
	MeS	MeS ₂	Me ₂ S ₃		MeS	MeS ₂	Me ₂ S ₃
Fe	95,46	185,06	—	Si	—	205,15	—
Co	85,41	140,26	213,53	Ti	217,71	334,94	—
Ni	92,95	142,35	—	Ce	494,04	644,35	1258,13
Al	—	—	723,90	Ba	443,80	—	—
Mn	205,16	207,25	—	Ca	469,55	—	—

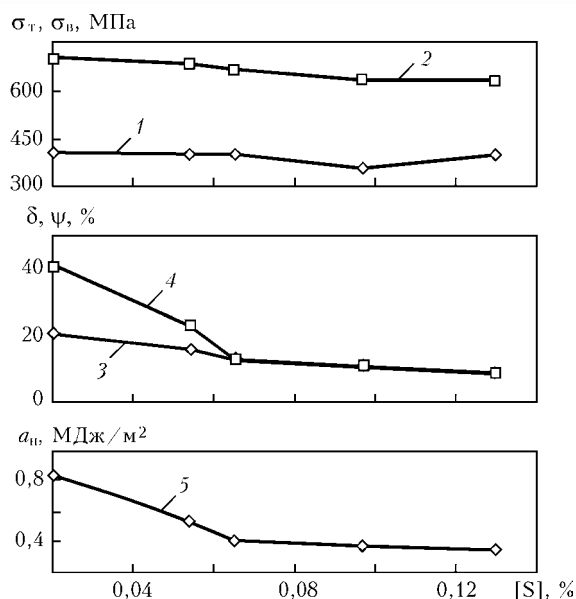


Рис. 2. Влияние серы на механические свойства стали 35Л (нормализация при 900 °С, отпуск при 680 °С), раскисление алюминием 0,02 % (второй тип включений) [4]: 1 — предел текучести; 2 — предел прочности; 3 — относительное удлинение; 4 — относительное сужение; 5 — ударная вязкость (образцы с круглым надрезом)

причем важен не только состав, но и форма сульфидных включений [4]. В частности, с точки зрения снижения вероятности образования кристаллизационных трещин, предпочтительнее глобулярная форма сульфидов, равномерно располагающихся внутри зерен.

По составу, форме и расположению в структуре стали можно выделить три типа сульфидных включений [6, 7]: глобулярные, беспорядочно расположенные; включения эвтектического происхождения, образующие пленки по границам зерен; включения кристаллической формы, также беспорядочно расположенные в структуре стали.

В работе [8] рассмотрены условия образования в углеродистой стали сульфидов различных типов. Первый тип включений образуется в нераскисленной стали (содержание кислорода более 0,02 %). Наряду с серой эти включения могут содержать кислород, т. е. фактически они являются оксисульфидами. Сульфидные включения второго типа образуются в стали, содержащей менее 0,012 % кислорода, в основном это сульфиды марганца.

Углерод и кремний значительно повышают активность серы, снижают температуру ликвидуса и солидуса и увеличивают интервал кристаллизации. В низкоуглеродистых сталях, раскисленных слабыми раскислителями, чаще обнаруживаются сульфидные включения первого типа, при увеличении содержания углерода более 0,15 % появляются сульфиды второго типа, более 1 % — сульфиды третьего типа.

Общим свойством всех трех типов сульфидов является то, что они, как правило, образуются при кристаллизации последних порций металла, обогащенных ликвирующими элементами, как непосредственно участвующих в образовании сульфидов (марганец, сера), так и усиливающих их активность (углерод, кремний).

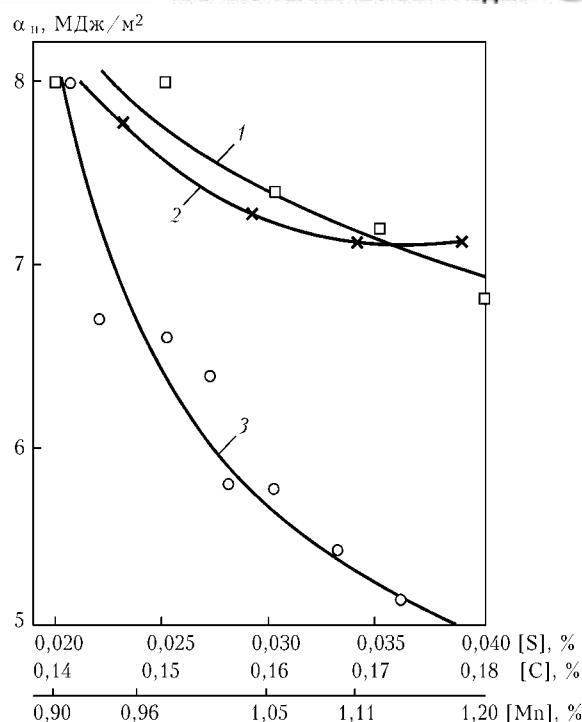


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости стали 16ГС от содержания углерода (1), марганца (2) и серы (3) [10]

Кроме упомянутого выше снижения трещиностойкости и красноломкости, сера может отрицательно влиять и на некоторые прочностные показатели сталей. Исследовано влияние содержания серы в пределах 0,020... 0,135 % на механические свойства литой углеродистой стали 35Л следующего химического состава, мас. %: 0,35 С; 0,75 Мп; 0,35 Сг и 0,011 Р [4]. Установлено, что сера в значительной мере снижает показатели пластичности (относительное удлинение и сужение) и ударной вязкости стали 35Л и практически не влияет на пределы текучести и прочности (рис. 2).

Установлено также, что на прочностные свойства стали 35Л влияет тип сульфидных включений. Максимальный уровень механических свойств при всех содержаниях серы имеет сталь с первым типом включений; минимальный — со вторым. При этом значительное снижение пластичности и ударной вязкости наблюдается при увеличении содержания серы до 0,05 %, дальнейшее ее увеличение оказывает меньшее влияние на указанные показатели.

В работах [9, 10] показана зависимость ударной вязкости стали 16ГС от содержания углерода, марганца и серы. Наибольшее влияние на ударную вязкость оказывает сера. При содержании ее более 0,03 % ударная вязкость снижается на 30 % (рис. 3). Данные работ [9, 10] также подтверждают, что предел текучести и прочности стали 16ГС не меняются с увеличением содержания серы.

Исследованиями различных авторов [4, 11–15] подтверждено, что сера аналогично влияет и на механические свойства литых низко- и высоколегированных сталей. Кроме того, сера снижает показатели хладноломкости стали — критическая температура хладноломкости литой стали с увеличением содержания серы смещается в сторону положительных температур [4]. Подобным образом



Таблица 2. Химический состав (мас. %) и механические свойства хромистых сталей с повышенным содержанием серы [15]

Тип стали	C	Cr	S	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	a_n , МДж/м ²
А	0,12	12,1	0,02	494	222	31,8	73,7	2,41
Б	0,12	12,0	0,23	531	237	32,6	59,2	2,36
В	0,12	12,1	0,51	501	239	28,5	58,4	1,49

сера влияет на механические свойства стали после прокатки. Об этом свидетельствуют данные [15] на примере стали типа Х12 (табл. 2). Сталь с повышенным содержанием серы имеет меньшие показатели пластичности и ударной вязкости. Особенно резко падают эти показатели у образцов, вырезанных поперек проката.

Существует значительное количество публикаций о влиянии серы на свойства сварных швов и наплавленного металла [16–24]. В работах [16, 17] подчеркивалось, что сера является одной из основных причин появления горячих (кристаллизационных) трещин при сварке. В зависимости от легирования образование трещин связывают в первую очередь с образованием эвтектик Fe–FeS (температура затвердевания 988 °С), Ni–NiS (температура затвердевания 645 °С) или других, также имеющих невысокую температуру плавления [17, 22 и др.].

Для снижения вероятности образования кристаллизационных трещин для сварных конструкций рекомендуется применять стали и сварочные материалы с пониженным содержанием серы. В то же время в работе [17] рассмотрена возможность борьбы с горячими трещинами за счет легирования сварных швов сталей типа Х18Н9 и Х25Н20 значительным количеством серы (до 3 %). Такое содержание серы позволяет избежать кристаллизационных трещин в сварных швах за счет эффекта «залечивания» (заполнения) межкристаллитных промежутков избыточными легкоплавкими сульфидными эвтектиками.

Проведенный анализ показывает, что сера в основном отрицательно влияет на многие характеристики сталей и сплавов на основе железа, а также сварных швов и наплавленного металла, однако имеются данные и о положительном ее влиянии на некоторые свойства сталей. Так, легирование серой применяют для улучшения обрабатываемости и качества поверхности стальных деталей за счет уменьшения схватывания между инструментом и обрабатываемым металлом [3, 15, 25].

В работе [15] сообщается о нержавеющей стали, содержащей 12 % Cr и 0,4 % S, которая применяется для изготовления деталей массового производства, где требуются хорошая обрабатываемость на станках-автоматах и наличие гладкой поверхности. Считается, что включения сульфидов способствуют лучшему отделению стружки при резании, улучшая тем самым поверхность обрабатываемого изделия.

Известны данные [26, 27] о положительном влиянии серы на износостойкость серого чугуна. Установлено [26], что при легировании серой до 0,86 % во много раз увеличивается износостойкость серого чугуна и по этому показателю он начинает

превосходить высокопрочный и ковкий чугун. Авторы работы рекомендуют сернистый серый чугун для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях трения и износа со смазкой или без нее.

Аналогичные данные получены в работе [27] на сером чугуне, легированном 5 % Si и 0,5 и 1,0 % S. Исследования показали, что такой чугун обладает высокими износостойкими свойствами в условиях сухого трения и может быть заменителем высоколегированных чугунов.

Известны данные о применении серы в сварочных и наплавочных материалах [25, 28]. В работах [25, 28] изучено влияние 0,025... 0,320 % S на структуру и свойства наплавленной быстрорежущей стали, близкой по составу к стали P9M4K8. Металлорежущий инструмент, наплавленный быстрорежущей сталью, содержащей 0,32 % S, имел износостойкость в 1,5... 2,0 раза выше, чем серийный инструмент. Примерно во столько же раз увеличилась производительность обработки.

По некоторым данным [29] сульфиды при трении металла по металлу могут играть роль твердой смазки, улучшая тем самым триботехнические характеристики пары трения. Кроме того, они препятствуют схватыванию металлов, особенно при повышенных температурах. Таким образом, сера может стать перспективной в качестве легирующего элемента для некоторых типов наплавочных материалов. Наиболее приемлемой областью применения таких материалов может быть наплавка режущего и штампового инструмента, прокатных валков некоторых типов и других деталей, работающих в условиях трения металла по металлу и подвергающихся изнашиванию схватыванием.

Отрицательное влияние серы на свойства наплавленного металла можно в определенной степени нейтрализовать за счет перевода сульфидов из пленочной в глобулярную форму, т. е. из второго типа в первый. Такие сульфиды должны равномерно располагаться в матрице сплава.

В заключение необходимо отметить следующее: серу применяют для легирования сталей и сплавов на основе железа для улучшения обрабатываемости и качества поверхности деталей. Однако с увеличением ее содержания снижаются показатели ударной вязкости, пластичности и хладноломкости стали, но при этом не изменяется предел прочности и текучести;

сера в стали и сплавах на основе железа образует легкоплавкие сульфидные эвтектики, выделяющиеся по границам зерен, которые являются одной из причин появления кристаллизационных трещин. При большом содержании легкоплавких эвтектик наблюдается эффект «залечивания» образующихся надрывов;



сульфиды препятствуют износу схватыванием, особенно при повышенных температурах, кроме того они могут играть роль твердой смазки, улучшая тем самым триботехнические характеристики пары трения. Таким образом, сера может быть перспективной для легирования материалов при наплавке штампов и штампового инструмента, прокатных валков некоторых типов и других деталей, работающих в условиях трения металла по металлу при повышенных температурах и подвергающихся износу схватыванием.

1. Мчедlishvili В. А., Любимова Г. А., Самарин А. М. Роль марганца в устранении вредного влияния серы на качество стали. — М.: Металлургиздат, 1960. — 53 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавнением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
3. Гудремон Э. Специальные стали: В 2 т. — М.: ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1959. — 1638 с.
4. Луцев В. В., Аверин В. В. Сера и фосфор в стали. — М.: Металлургия, 1988. — 256 с.
5. Виногорад М. И., Громова Г. П. Включения в легированных сталях и сплавах. — М.: Металлургия, 1972. — 214 с.
6. Симс К., Форген В. Неметаллические включения // Производство стали в электропечах: Сб. тр. — М.: Металлургия, 1965. — С. 349–375.
7. Шульте Ю. А. Электрометаллургия стального литья. — М.: Металлургия, 1970. — 227 с.
8. Даль В., Хенгстенберг Х., Дюрен К. Условия образования сульфидных включений различных типов // Черн. металлы. — 1966. — № 13. — С. 17–42.
9. Ласкоронский Э. Н., Юшин П. В., Слищенко Э. П. ЦНИИФ и технико-экономические исследования черной металлургии. Сер. 11, инф. 5, 1965. — 6 с.
10. Соколовский П. И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. — М.: Металлургия, 1966. — 215 с.
11. Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали. — М.: Металлургиздат, 1964. — 207 с.
12. Шеванди Е. М., Разов И. А. Хладостойкость и предельная пластичность металлов в судостроении. — Л.: Судостроение, 1965. — 336 с.
13. Гольдштейн Я. Е. Низколегированные стали в машиностроении. — М.: Машгиз, 1963. — 240 с.
14. Крамер М. А. Фасонное литье из легированных сталей. — М.; Л.: Машиностроение, 1964. — 228 с.
15. Хилушии Ф. Ф. Нержавеющие стали. — М.: Металлургиздат, 1963. — 600 с.
16. Любавский К. В. Реакция серы и горячие трещины при автоматической сварке малоуглеродистой стали под флюсом // Автоген. дело. — 1948. — № 1. — С. 22–26.
17. Медовар Б. И. К вопросу о природе горячих трещин в сварных швах // Автомат. сварка. — 1954. — № 4. — С. 13–28.
18. Мосендз Н. А., Макара А. М. Влияние состава флюса на содержание серы и кислорода в металле шва // Там же. — 1965. — № 1. — С. 38–42.
19. Куркин С. А. Стойкость металла шва против образования горячих трещин при автоматической сварке // Там же. — 1954. — № 2. — С. 23–32.
20. Позняк Л. А. О влиянии углерода на дендритную неоднородность распределения серы в сварных швах // Там же. — 1957. — № 1. — С. 3–7.
21. Россошинский А. А. К вопросу ликвиции некоторых легирующих элементов в сварных швах // Там же. — 1957. — № 1. — С. 37–39.
22. Потапов Н. Н. Влияние серы и фосфора на пластичность и ударную вязкость металла шва // Там же. — 1973. — № 1. — С. 8–11.
23. Особенности поведения серы и фосфора в сварочных флюсах и способы уменьшения их содержания / В. Г. Кузьменко, В. И. Галинич, В. И. Гузей и др. // Там же. — 1989. — № 6. — С. 28–34.
24. Фрумпи И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
25. Зубкова Е. Н. Влияние серы на структуру и свойства наплавленной быстрорежущей стали // Мех. и терм. обработка материалов. — 2002. — № 9. — С. 27–30.
26. Влияние серы на износостойкость чугуна / Е. П. Бровкина, А. И. Смирнов, Н. С. Гришук и др. // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1965. — № 4. — С. 183–185.
27. Влияние термоциклической обработки на структуру и износостойкость серого чугуна, легированного медью и серой / Е. А. Марковский, И. В. Олексенко, В. П. Гаврилюк и др. // Процессы литья. — 2002. — № 2. — С. 10–15.
28. Беляков А. В., Швец В. В. Литой металлорежущий инструмент // Литейное пр-во. — 1998. — № 9. — С. 8–9.
29. Самсонов Г. В., Барсегян Ш. Е., Ткаченко Ю. Г. О механизме смазочного действия сульфидов и селенидов тугоплавких металлов // Физико-химич. механика материалов. — 1973. — 9, № 1. — С. 58–61.

Literature data on the effect of sulphur on mechanical and service properties of steels and cast irons have been analysed. It is shown that sulphur is a promising alloying element for surfacing consumables intended for repair and hardening of parts that operate under the conditions of friction of metal on metal at increased temperatures and are subjected to adhesion wear.

Поступила в редакцию 11.01.2004



ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭШН КОМПОЗИЦИОННЫМ СТЕРЖНЕМ В МАЛОГАБАРИТНОМ СЕКЦИОННОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Г. Н. СОКОЛОВ, канд. техн. наук, И. В. ЗОРИН, С. Н. ЦУРИХИН, инженеры, В. И. ЛЫСАК, д-р техн. наук (Волгоград. гос. техн. ун-т, РФ)

Рассмотрены электрофизические и тепловые особенности электрошлаковой наплавки (ЭШН) с дополнительным полым графитовым электродом. Показано, что введение неплавящегося электрода в шлаковую ванну способствует образованию в ней высокотемпературной области, что позволяет равномерно расплавлять различные наплавочные материалы. Применение ЭШН обеспечивает возможность получения жаропрочного сплава на основе алюминид никеля.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, секционный кристаллизатор, композиционный стержень, моделирование процесса ЭШН, полый графитовый электрод, распределение тока, тепловой баланс, алюминид никеля

Электрошлаковая наплавка (ЭШН) в секционном кристаллизаторе (СК) малогабаритных (диаметром до 50 мм) торцов деталей оборудования и инструмента позволяет при достаточной производительности наплавки различными материалами без подведения к нему тока получать высококачественный металл в результате эффективной металлургической обработки расплава перегретым шлаком и обеспечения его направленной кристаллизации. Особенно эффективна ЭШН в СК для упрочнения прошивного и других видов инструментов, работающих в условиях циклического температурно-силового воздействия (ЦТСВ) при температуре до 1100 °С [1]. Однако в таких сложных условиях использование многих современных никелевых и кобальтовых суперсплавов недостаточно эффективно [2].

Известны новые типы сплавов, получающиеся различными металлургическими способами, которые отличаются более высокими технологическими и эксплуатационными свойствами при рабочих температурах, например с матрицей на основе алюминидов титана и никеля. Такие сплавы в отдельных случаях нашли промышленное применение [3]. Известно [2], что жаропрочные композиционные сплавы на основе алюминид никеля Ni₃Al более технологичны и содержат, как правило, ряд легирующих элементов с различной температурой плавления: 660 (алюминий), 1453 (никель), 3410 (вольфрам), 3000 (тантал), 2610 °С (молибден). Чтобы получить наплавленный металл такого типа с высоким уровнем сварочно-технологических свойств, необходимы композиционные наплавочные материалы, состоящие из металлической оболочки и наполнителя, в котором туго- и легкоплавкие компоненты содержатся в виде металлических порошков и проволок. Это позволяет обеспечить стехиометрическое соотношение легирующих элементов в наплавленном металле. В качестве такого

материала может быть композиционный стержень, состоящий из никелевой оболочки и наполнителя. Но эффективность использования композиционного стержня в обычном процессе ЭШН низкая из-за неравномерного расплавления его компонентов в шлаке.

Процессы ЭШН в зависимости от схемы подвода тока к шлаку (плавящимся металлическим и неплавящимся графитовым электродом или токоподводящей секцией кристаллизатора) обуславливают наличие различного и неравномерного теплового состояния расплава шлаковой ванны. При ЭШН плавящимся электродом, в частности порошковой проволокой [4], максимальная (около 2300 °С) температура шлака наблюдается в небольшой локальной зоне (тепловом центре), прилегающей к электроду, где и происходит его плавление. В случае неплавящегося электрода присадочный материал трудно целенаправленно подавать в тепловой центр шлака. При ЭШН в СК тепловой центр находится в периферийном участке шлаковой ванны у стенок токоведущей секции кристаллизатора [5], остальная часть шлака нагревается до температуры 1900 °С [1], которая является достаточной для равномерного расплавления компонентов композиционного стержня.

С целью обеспечения качественного расплавления композиционного стержня исследовали возможность образования нового теплового центра в шлаковой ванне путем введения в нее дополнительного полого неплавящегося электрода.

Условия протекания процесса ЭШН моделировали в водоохлаждаемых СК и цельном кристаллизаторе для случаев различного подвода тока к шлаку. Шлаковую ванну имитировал раствор электролита, вязкость которого (0,03 Па·с) примерно соответствовала вязкости перегретого шлака (флюс АНФ-6). Материалом для моделей СК и цельного кристаллизатора служили три медных кольца диаметром 50 мм и толщиной 2,5 мм, которые помещали в стеклянную полость цилиндрической формы (рис. 1). Кольцо токоведущей секции имело вертикальный разрез. Для имитации цельного кристаллизатора кольца соединяли между

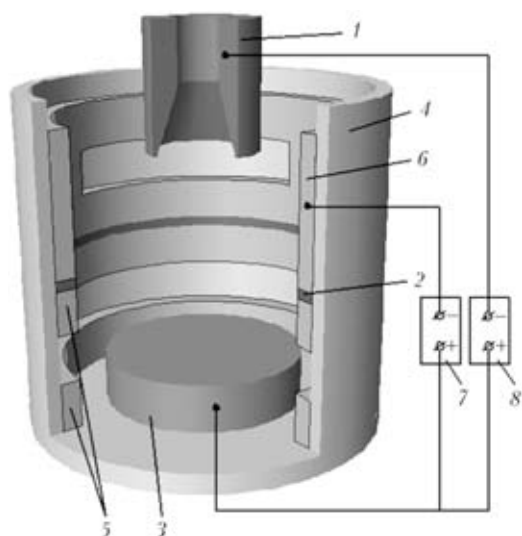


Рис. 1. Модель СК с дополнительным электродом: 1 — полый графитовый электрод; 2 — изолятор; 3 — изделие; 4 — стеклянная полость; 5 — формующая секция; 6 — токоподводящая секция; 7, 8 — источники питания постоянного тока

собой, а в модели СК их изолировали. В качестве изделия использовали медный цилиндр диаметром 20 мм и высотой 7 мм. Применяли графитовые электроды диаметрами 5, 12 и 15 мм со сплошным сечением и полые.

Во всех опытах на токоведущую секцию модельного кристаллизатора подавали напряжение 36 В от источника питания постоянного тока, а на дополнительный графитовый электрод — напряжение 28 В от независимого источника питания. После погружения графитового электрода в электрическую ванну (электролит) на различную глубину фиксировали визуальное движение на ее поверхности и в объеме. Для наблюдения характера движения электролита его подкрашивали графитовой крошкой. В связи со сложностью фиксации потоков электролита в модели в малом объеме ванны проследить его движение трудно, но возможно в начальный момент работы модели (в течение 8... 10 с). Для качественной оценки направления движения шлака с учетом данных работы [6] устанавливали направление вектора электромагнитной силы f_e .

Для изучения прогнозируемой высокотемпературной области в шлаке требуется оценить распределение тока в шлаковой ванне, которое влияет



Рис. 2. Вид рабочего торца полого графитового электрода

на характер течения шлака и определяет тепловую ситуацию в нем. Распределение линий тока в модельных схемах устанавливали на основе данных работ [5, 7], полученных для различных случаев подвода тока к кристаллизатору. Исследованные модельные схемы позволили определить возможность создания высокотемпературной области в шлаковой ванне СК за счет введения в нее дополнительного полого неплавящегося электрода. Опыты, проведенные в реальных условиях, показали, что в ходе ЭШН рабочий торец полого графитового электрода приобретает форму «обратного» конуса (рис. 2). При этом уменьшается площадь активной поверхности электрода, что позволяет получить ток повышенной плотности. Результаты исследований свидетельствовали о том, что при введении в СК дополнительного неплавящегося электрода существенно изменяется энергетическая обстановка в шлаковой ванне (рис. 3). Электрическое поле токоподводящей секции кристаллизатора вытесняет линии тока с неплавящегося электрода в подэлектродную область, где создается их высокая концентрация. Такое распределение тока увеличивает нагрев шлака в зоне погружения электрода, что образует температурный градиент в шлаковой ванне. Большая плотность линий тока на внутренней поверхности конического торца электрода обуславливает нагрев шлака в этой области до максимальной температуры, что способствует выравниванию скорости расплавления компонентов композиционного стержня.

Высокая плотность тока в нижней части стенки токоведущей секции и у поверхности электрода позволяет достичь здесь максимального значения объемной электромагнитной силы, направленной вниз и вызывающей вихревое движение электролита. Можно предположить, что модель движения электролита будет иметь вид двух потоков, нап-

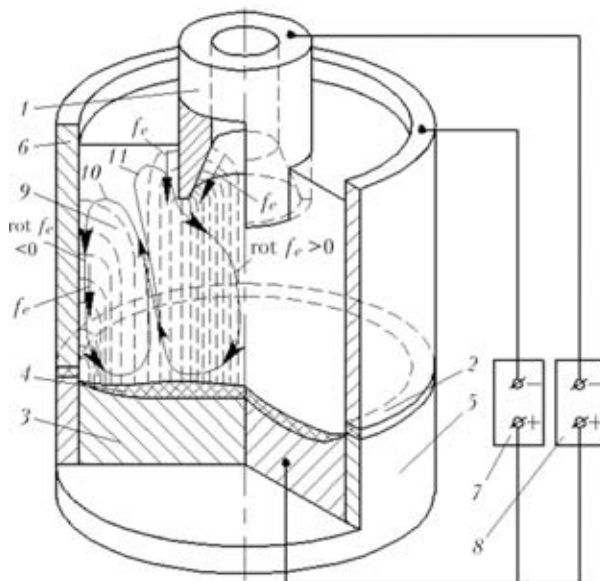


Рис. 3. Схема распределения тока и движения шлака в исследуемой (рис. 1) модели СК: 1, 2 и 5-8 — см. обозначения рис. 1; 3 — наплавленный металл; 4, 9 — соответственно металлическая и шлаковая ванны; 10, 11 — потоки шлака; штриховыми линиями показаны линии тока

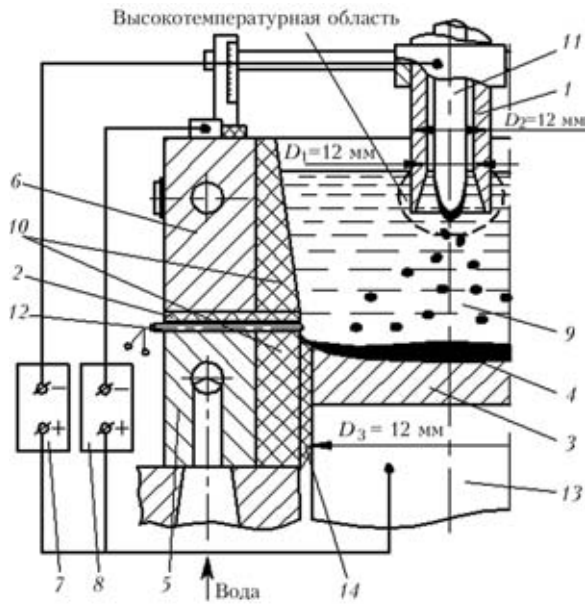


Рис. 4. Схема ЭШН в СК с полым графитовым электродом: 1–9 – см. обозначения рис. 3; 10 – графитовая вставка; 11 – композиционный стержень; 12 – термопара; 13 – изделие; 14 – шлаковый гарнисаж; D_1, D_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры полого графитового электрода; D_3 – диаметр наплавляемого изделия

равленных навстречу друг другу (см. рис. 3). В малом объеме модели наблюдается сглаживающий эффект от вращения электролита в горизонтальной плоскости. Такое вращение является результатом воздействия магнитного потока на электролит вследствие изменения направления тока в разрезанной токоведущей секции. Ввиду этого реальная картина течения шлака может быть искажена и рассматривать его движение возможно только в мгновенном варианте. Поток электролита 10, удовлетворяющий условию $\text{rot } f_e > 0$, продвигаясь вдоль электрода и далее к металлической ванне, отдает часть тепла, нагревает ее и поднимается в центр шлаковой ванны. Здесь потоки 10 и 11 приобретают одинаковое направление, вследствие чего на их границе создается результирующий поток, который подхватывает и переносит металлические капли к стенкам кристаллизатора. Двигаясь вдоль пристенной области СК, охлажденный в его верхней части поток 11, для которого $\text{rot } f_e < 0$, нагревается в нижней части стенки токоведущей секции, передавая при этом тепло поверхности металлической ванны. Вследствие такого движения продолжительность пребывания металлических капель в шлаке увеличивается и возрастает время их обработки шлаком.

Экспериментальные наплавки проводили по схеме ЭШН, разработанной в результате моделирования (рис. 4). В качестве наплавочного материала использовали композиционный стержень диаметром 5 мм, состоящий из никелевой оболочки, в полость которой помещали порошки алюминия, циркония, бориды молибдена, графита и проволоки из технически чистых вольфрама, тантала, молибдена и Нп-Х20Н80Т. Введение проволок из тугоплавких компонентов исключает сепарацию легких и тяжелых металлических порошков в ших-

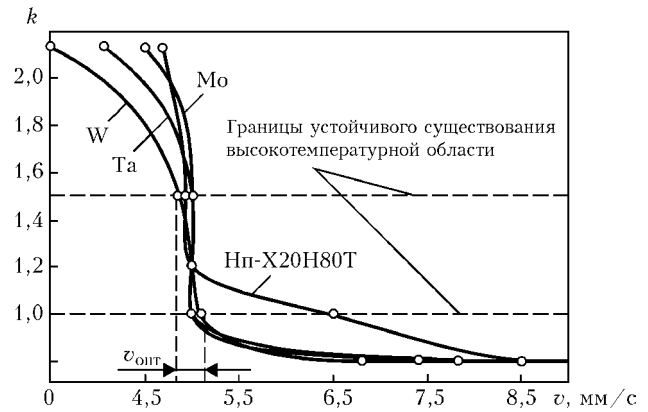


Рис. 5. Влияние соотношения токов на электродах k на скорость v расплавления композиционного стержня

те. Состав композиционного стержня рассчитывали исходя из химического состава известного сплава, содержащего никель и алюминий в стехиометрическом соотношении, обеспечивающем получение алюминида никеля Ni_3Al . Другие легирующие элементы в сплаве брали в следующих соотношениях, мас. %: 2,5... 3,0 W; 0,5... 2,5 Ta; 2,5... 3,0 Mo; 0,5... 2,5 Zr; 4,4 Cr; 0,035 V. Графитовый порошок вводили с учетом количества углерода, переходящего в шлак в результате электрохимического растворения рабочей части графитового электрода. Масса наплавленного на заготовку из стали 40Х металла составляла 40 г. Скорость расплавления каждого проволочного компонента композиционного стержня оценивали количеством металла, расплавляемого в единицу времени. Оптимальный режим ЭШН композиционного стержня соответствовал режиму, при котором разница в скорости расплавления его компонентов минимальна.

ЭШН вели на постоянном токе прямой полярности (источники питания ВДУ-504 и ВДУ-1000) с использованием флюса АНФ-6. В процессе наплавки ток с токоведущей секции СК $I_{СК}$ и ток с полого графитового электрода $I_э$ изменяли в пределах 140... 250 А, а напряжение на шлаке – в пределах 17... 23 В. Высоту шлаковой ванны поддерживали в диапазоне 25... 30 мм. Процесс осуществляли в среде аргона. Температуру шлака регистрировали с помощью вольфраморениевых термопар марки ВР 10/20 многоканальным потенциометром КСП-4. Твердость наплавленного металла при нормальной и высоких температурах определяли на приборе ТШ-2 твердосплавным шариком диаметром 5 мм при нагрузке 7,35 кН и выдержке в течение 10 с. Металлографические исследования полученного металла проводили известными методами.

В результате исследований установлено, что на равномерность плавления компонентов композиционного стержня и устойчивость процесса ЭШН в наибольшей степени влияет соотношение токов $I_{СК}/I_э = k$. При $k \leq 1,5$ температура шлака в приэлектродной области повышается до 3300 °С. При ЭШН происходит закипание шлака у поверхности электрода, что, однако, не нарушает стабильность процесса. Дальнейшее увеличение значений k приводит к интенсивному кипению шла-

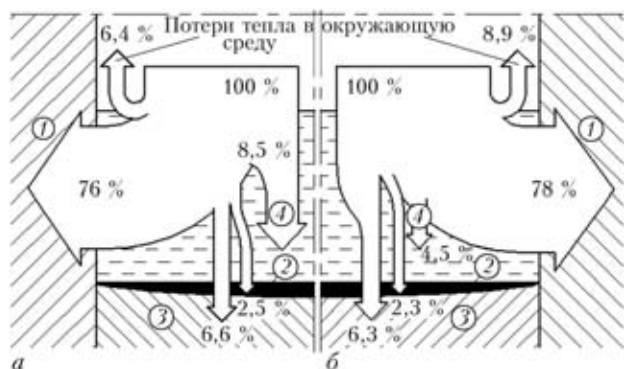


Рис. 6. Диаграмма теплового баланса процесса ЭШН в СК с дополнительным полым неплавящимся электродом (а) и по традиционной схеме (б): 1–4 – распределение тепловых потоков соответственно в кристаллизаторе, металлической ванне, заготовке, композиционным стержне

ковой ванны и ее выплескам, что негативно сказывается на прохождении процесса ЭШН. При $k \leq 1$ температура шлака в приэлектродной области уменьшается и сравнима с температурой шлаковой ванны в СК. Следовательно, в процессе наплавки соотношение k обуславливает устойчивое существование высокотемпературной области в зоне погружения электрода и должно составлять 1,0...1,5. Этот диапазон значений k справедлив для токов $I_{СК}$ и $I_э$, равных 140...250 А. Если значения токов превышают указанный интервал, то процесс ЭШН имеет неустойчивый характер. При соблюдении указанного значения соотношения k оптимальная скорость $v_{\text{онт}}$ расплавления композиционного стержня составляла 4,8...5,2 мм/с (рис. 5), что позволяет получать качественный наплавленный металл.

Для сравнения теплового режима работы СК по традиционной и исследуемой схемам рассчитывали тепловой баланс. При этом полагали, что тепловую ситуацию в шлаке определяет действие двух независимых источников его нагрева. Причем при расчете температуру шлака в зоне погружения графитового электрода и в остальном объеме шлаковой ванны принимали разной. Анализ полученных данных (рис. 6) показал, что при рассматриваемой схеме процесса ЭШН расход тепла на нагрев и плавление основного металла близок к такому же расходу при традиционной схеме и почти в 2 раза больше тепла поступает на нагрев и плавление композиционного стержня. Это происходит из-за высокого градиента температур в шлаке в зоне погружения электрода, в результате чего нагрев наплавочного материала ускоряется, что позволяет более эффективно расходовать теплоту шлаковой ванны. Значительные и одинаковые в обоих случаях потери тепла в кристаллизатор связаны с тем, что шлаковая ванна соприкасается с ним на 70 % своей поверхности.

С помощью металлографических исследований установлено, что наплавленный металл не содержит сварочных дефектов и имеет сложную гетерофазную структуру, основой которой служит твердый раствор на базе алюминиды никеля Ni_3Al . В структуре наплавленного металла присутствуют дисперсные частицы на основе твердого раствора

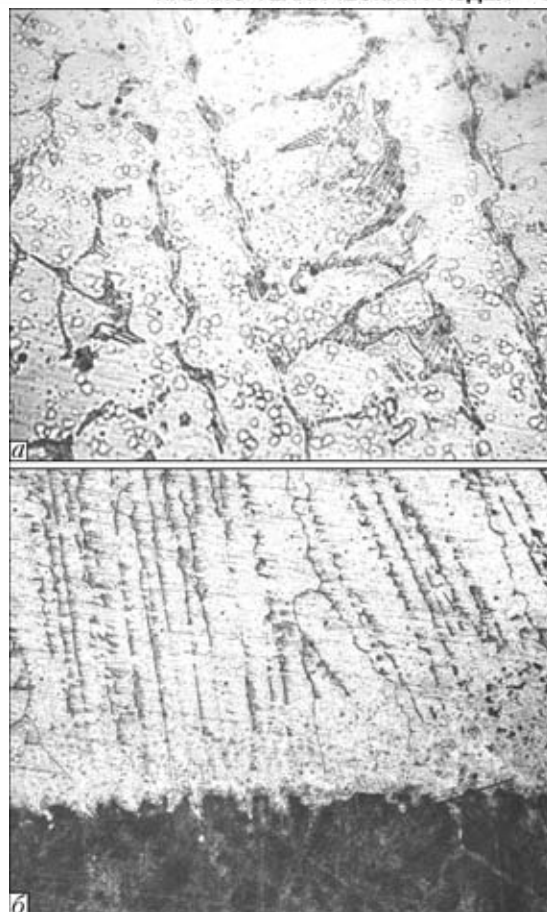


Рис. 7. Микроструктура наплавленного металла (а, $\times 400$) и зоны сплавления с основой (б, $\times 100$)

никеля γ -фазы, в которой содержится вторичная γ -фаза, представляющая собой Ni_3Al . По границам дендритов находятся эвтектические γ -фазы, карбиды и карбориды, в состав которых входит никель, алюминий и другие легирующие элементы. Суммарное содержание фаз на основе Ni_3Al составляет около 80 % (рис. 7, а). Композиционная структура наплавленного металла с направленным расположением дендритов обеспечивает необходимую термическую усталость и твердость ($HB\ 100...110$) при температуре до $1100\ ^\circ C$, что позволяет использовать его в условиях ЦТСВ.

В зоне сплавления наплавленного металла дефекты отсутствуют, нет опасных кристаллизационных и диффузионных прослоек, влияющих на служебные свойства наплавленного изделия (рис. 7, б).

Выводы

1. При введении в шлаковую ванну малогабаритного СК дополнительного полого графитового электрода в зоне погружения его в шлак образуется высокотемпературная область, устойчивость которой обеспечивается соотношением токов токовой секции кристаллизатора и полого графитового электрода 1,0...1,5.

2. Разработанная схема ЭШН в СК с дополнительным полым графитовым электродом позволяет получить качественный жаропрочный наплавленный металл на основе Ni_3Al для его работы в условиях ЦТСВ при температурах до $1100\ ^\circ C$.



1. Соколов Г. Н., Михеев А. Н., Павлов А. А. Электрошлаковая наплавка в секционном кристаллизаторе торцов опорков трубопрошивного стана // Свароч. пр-во. — 2002. — № 6. — С. 31–34.
2. Малолегированные легкие жаропрочные высокотемпературные материалы на основе интерметаллида Ni_3Al // Е. Н. Каблов, В. П. Бунтушкин, К. Б. Поварова и др. // Металлы. — 1999. — № 1. — С. 58–65.
3. Скачков О. А. Перспективные жаростойкие и жаропрочные сплавы на основе интерметаллидов $NiAl$ и Ni_3Al // Сталь. — 2002. — № 2. — С. 74–77.
4. Самсонов И. Г., Королев Н. В., Бармин Л. Н. Температурный режим при электрошлаковой наплавке порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1981. — № 1. — С. 34–38.
5. Дудко Д. А., Компан Я. Ю., Щербинин Э. В. К вопросу о физической природе движения расплава при электрошлаковом процессе // Свароч. пр-во. — 1990. — № 6. — С. 38–39.
6. Исследование электрошлакового процесса с помощью кинофотосъемки через прозрачную среду / Г. З. Волошкевич, Д. А. Дудко, И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко // Там же. — 1971. — № 2. — С. 15–17.
7. Томиленко С. В., Кусков Ю. М. Энергетические особенности электрошлакового процесса в токоподводящем кристаллизаторе // Автомат. сварка. — 1999. — № 2. — С. 51–53.
8. Ксендзык Г. В. Особенности тепловой работы токоподводящего кристаллизатора при электрошлаковой наплавке зернистым присадочным материалом // Промышл. теплотехника. — 1982. — № 2. — С. 45–50.

Electrophysical and thermal peculiarities of electroslag surfacing (ESS) using an extra hollow graphite electrode are considered. It is shown that addition of a nonconsumable electrode to the slag pool leads to formation of a high-temperature region in it, which allows a uniform melting of different components of surfacing consumables. The use of ESS provides a heat-resistant deposited alloy based on nickel aluminide.

Поступила в редакцию 29.01.2004



МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРКА И РЕЗКА

29.03–01.04.2005

Выставочный павильон, просп. Машерова, 14
Минск, Республика Беларусь

Организаторы:

Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт сварки и защитных покрытий с опытным производством
Беларусского государственного научно-производственного концерна порошковой металлургии

Министерство промышленности Республики Беларусь

Национальная академия наук Беларуси

ЗАО «МИНСКЭКСПО»

Направления экспозиции:

- ✓ материалы для сварки, наплавки и пайки;
- ✓ оборудование для сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки;
- ✓ источники питания;
- ✓ оборудование для орбитальной сварки и обработки труб;
- ✓ электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка;
- ✓ автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки; программное обеспечение для управления технологическими процессами сварки и резки и для контроля качества сварных соединений;
- ✓ автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, технологическая оснастка;
- ✓ современные технологические процессы для сварки, резки, пайки и термообработки;
- ✓ приборы для неразрушающего контроля сварных соединений;
- ✓ научное и информационное обеспечение сварки;
- ✓ система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков;
- ✓ охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве.

Дополнительную информацию можно получить:

e-mail: e_fedorova@minskexpo.com.by; tatiana@telecom.by
тел. +375 17 2269858, 2269940; факс +375 17 2269858, 2269936



КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. Ф. ДЕМЧЕНКО, д-р техн. наук, **С. С. КОЗЛИТИНА**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны системы информационного обеспечения технологий сварки и наплавки, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона

Ключевые слова: технология сварки и наплавки, сварочные материалы, режимы сварки, сварочные аэрозоли, металлургическое оборудование, аттестация специалистов, информационные системы, экспертные системы

Большое количество разнообразных способов сварки, сварочных материалов, типов сварных соединений, форм разделки и пространственного положения сварного шва, толщины и химического состава основного металла, вариантов режимов и других условий сварки обуславливают необходимость создания современных систем информационного обеспечения сварочного производства, ориентированных на специалистов, работающих в службах главного сварщика машиностроительных предприятий. Наряду с информационно-поисковыми, документальными, менеджерскими и другими информационными системами особый интерес представляет создание компьютерных систем проектирования сварочных технологий, которые аккумулировали бы накопленные знания, данные и имеющийся опыт высококвалифицированных специалистов в области сварки. Разработку подобных систем целесообразно вести таким образом, чтобы последовательно «накрывать» информационными системами отдельные предметные области сварочного производства.

Остановимся кратко на анализе существующих подходов к созданию систем информационного обеспечения. Первой формой компьютерного упорядочения информации были базы данных, организованные в виде файлов машиночитаемой информации. Несмотря на эволюцию, прошедшую за последние 40 лет, все базы данных ограничены включением только пассивной информации, отвечающей на вопрос *что?* Пассивный характер баз данных выражается в следующем: отвечая на вопрос *что?*, эти информационные системы подразумевают, что их пользователь знает ответ на вопрос *как?*, т. е. знает, как этими данными распорядиться для решения поставленной перед ним задачи. Если в память компьютера дополнительно к пассивной вводятся активная информация, отвечающая на вопрос *как?*, то, тем самым, база данных дополняется базой знаний. Построенные по такому принципу информационные системы принято называть экспертными системами. Специалисты Британского компьютерного общества дают, такое определение экспертной системы: «Под

экспертной системой понимается система, объединяющая возможности компьютера со знанием и опытом эксперта в такой форме, что система может предложить разумное решение поставленной задачи». Под такое весьма общее и широкое определение попадают самые разнообразные компьютерные системы, однако в любом случае при создании экспертной системы существенное значение имеет наличие двух фигурантов: предметного эксперта и инженера по знаниям. Функция первого из них — предоставить информационное сырье в форме данных и знаний, необходимых для создания экспертной системы в данной проблемной области. Инженер по знаниям систематизирует, обрабатывает и обобщает полученную информацию, создает модели баз данных и знаний, проектирует и разрабатывает соответствующее программное обеспечение.

Вопрос *как?*, на который отвечают экспертные системы, имеет два продолжения: *как поступать?* — так называемые оперативные экспертные системы, относящиеся к фактуальной экспертизе; *как понимать?* — когнитивные экспертные системы, относящиеся к интерпретационной экспертизе. Фактуальная экспертиза обеспечивает решение инженерных задач, в то время как интерпретационная является инструментом, ориентированным на научных работников и предназначенным для проектирования новых технологических процессов.

При разработке конкретной экспертной системы всегда возникают два вопроса: 1) насколько полной и достоверной является имеющаяся у эксперта информация по базам данных и базам знаний с точки зрения возможности решения поставленной задачи, обеспечения достоверности и качества компьютерных решений; 2) что делать с тем фактом, что часть информации неизбежно устаревает, и как поддержать систему в актуальном состоянии возможно длительное время? При ответе на первый вопрос первостепенное значение имеют опыт и квалификация эксперта, однако, вместе с тем, наиболее успешное решение проблемы достоверности информационного сырья достигается путем создания количественных моделей баз данных, которые позволяют на формальном уровне отсеивать заведомо недостоверную информацию. Проблема поддержания информационной системы в актуальном состоянии в определенной мере решается путем создания специальных редакторов



баз данных, которые дают возможность пользователю самостоятельно пополнять базы новой информацией, корректировать имеющуюся или удалять неактуальную для данного конкретного пользователя информацию, конфигурируя информационную систему в нужном для себя направлении.

Идеология экспертных систем оказывается чрезвычайно привлекательной для информатизации сварочного производства. В настоящей работе описаны некоторые информационные системы в области сварки, разработанные за последние годы в Институте электросварки им. Е. О. Патона.

Экспертная система «Наплавка» [1] (эксперт И. А. Рябцев). Предназначена для проектирования технологий механизированной электродуговой наплавки применительно к 12 способам наплавки для деталей типа тел вращения и с плоской наплавляемой поверхностью, работающих в различных отраслях промышленности (в металлургии, горнодобывающей, химическом машиностроении, сельском хозяйстве и др.). Структурно система состоит из нескольких подсистем: выбора наплавочного материала; проектирования технологии наплавки; редактора баз данных наплавочных материалов; банка технологий наплавки. Подсистема выбора наплавочного материала опирается на базу данных наплавочных материалов, которая в авторском варианте содержит информацию о 280 материалах, используемых в странах СНГ. Последняя включает данные о применении наплавочного материала (условия работы и виды изнашивания детали), сварочно-технологических характеристиках материала, износостойкости наплавлен-

ного металла и др. Детали, работающие в сходных условиях, сгруппированы в 42 группы (рис. 1), так что пользователю достаточно указать группу, к которой относится наплавляемая им деталь, чтобы получить рекомендации о подходящих наплавочных материалах. Для более точного определения оптимального наплавочного материала требуется дополнительно сообщить компьютеру детальную информацию об условиях работы и видах изнашивания детали. При наличии альтернативы в выборе материала система обеспечивает пользователя информационной поддержкой в виде данных (рис. 2) о химическом составе, износостойкости и сварочно-технологических характеристиках наплавленного металла. Благодаря этой поддержке пользователь, исходя из индивидуальных критериев качества, предъявляемых к наплавке данной детали, может выбрать подходящий наплавочный материал. База данных наплавочных материалов поддерживается в актуальном состоянии с помощью специального редактора, позволяющего пользователю самостоятельно вводить данные о новых наплавочных материалах или редактировать существующую информацию.

Подсистема проектирования технологии наплавки дает рекомендации о подходящих способах и технике наплавки данной детали и в зависимости от типа детали, ее габаритов и пространственного положения наплавленного слоя предлагает пользователю варианты рациональных режимов наплавки сварочными проволоками (лентами) различного диаметра. Итогом работы экспертной системы «Наплавка» является выходной документ, в ко-

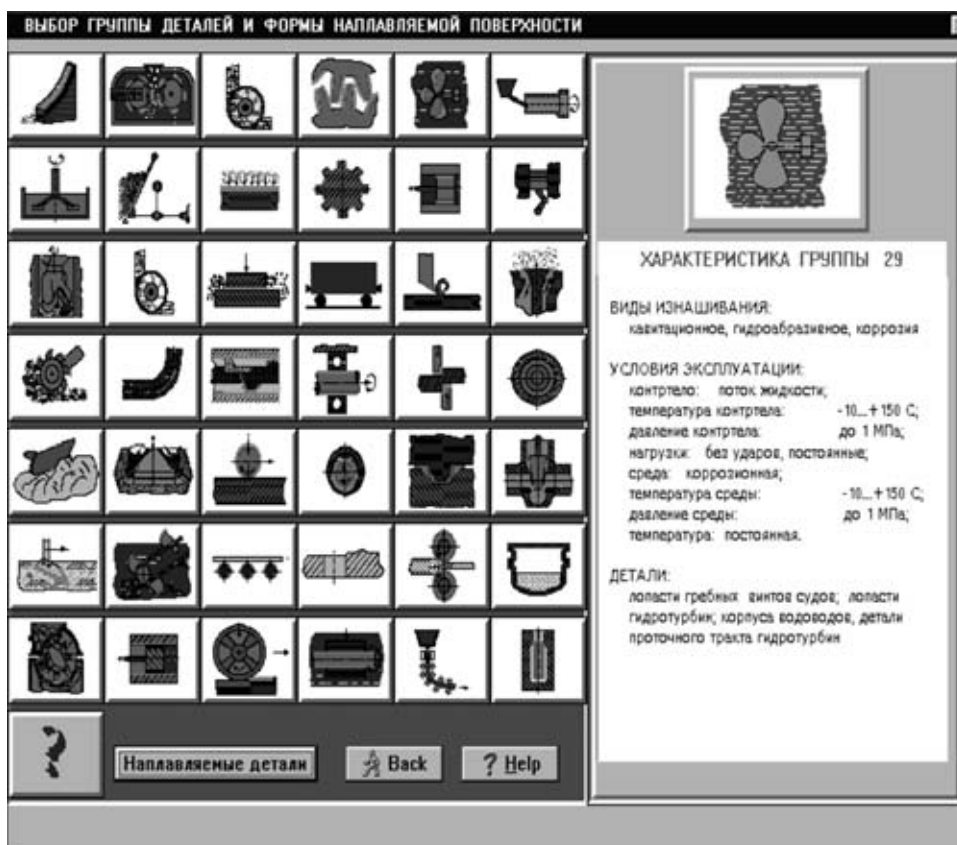


Рис. 1. Классификация наплавляемых деталей по группам

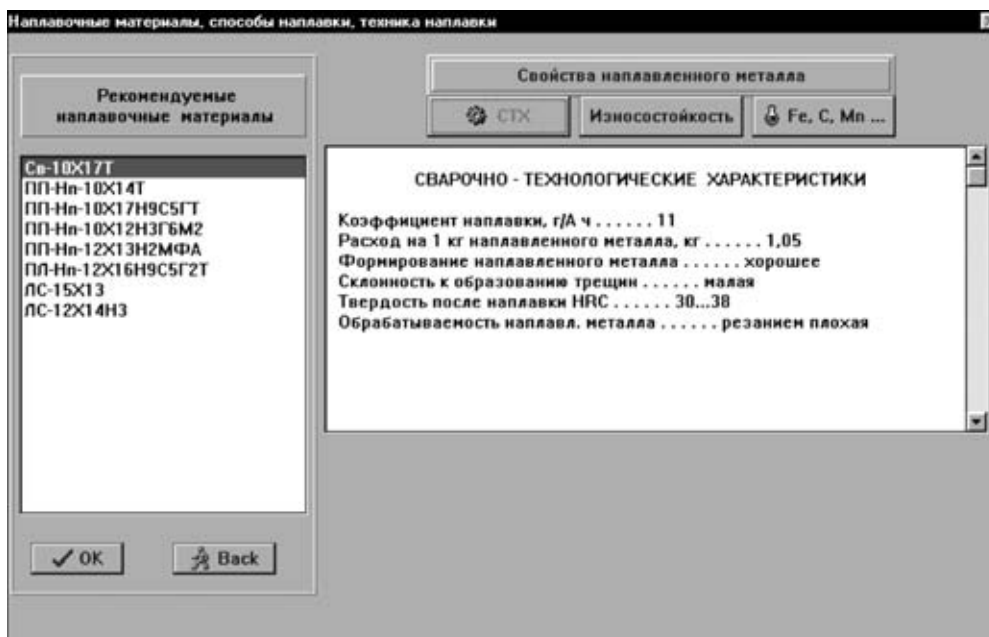


Рис. 2. Информационная поддержка решения о выборе наплавочного материала



Рис. 3. Итоговый документ работы экспертной системы «Наплавка деталей металлургического оборудования»

тором отражены результаты совместной работы технолога-сварщика и компьютера по проектированию технологии наплавки. Банк данных технических решений позволяет накапливать в памяти компьютера рекомендации по технологии наплавки отдельных деталей и узлов, полученных при помощи экспертной системы «Наплавка», а также корректировать эту информацию по результатам опытной проверки, создавая тем самым на предприятии банк характерных технологий наплавки.

Экспертная система проектирования технологий наплавки деталей металлургического оборудования [2] (эксперт И. А. Рябцев). Является дочерним продуктом экспертной системы «Нап-

лавка», ориентированным на проектирование технологий наплавки деталей металлургического оборудования. Базы данных и базы знаний системы содержат информацию о наплавке нескольких сотен деталей металлургического оборудования. Поиск информации организован по иерархической цепочке «Производство (цех металлургического предприятия)» — «Агрегат» — «Деталь». В качестве иллюстрации работы этой системы приведен итоговый документ работы системы (рис. 3), в котором даются рекомендации о подходящем сварочном материале, способе и режиме наплавки, сварочном оборудовании, условиях предварительного подогрева детали и ее охлаждения после наплавки.



Экспертная система проектирования технологий сварки легких сплавов (эксперты А. Я. Ищенко, В. П. Будник). Разработанная экспертная система аккумулировала знания, практический опыт и данные по технологиям сварки легких сплавов, реализованные в виде баз данных и баз знаний. В состав экспертной системы входят следующие фактографические и графические базы данных: основных материалов; сварных соединений; сварочных материалов; способов и режимов сварки; сравнительных характеристик способов сварки. База данных сварных соединений включает информацию о формах разделки сварного шва для стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений, допустимых способах сварки для данной формы разделки, а также геометрические ограничения на толщину металла и длину шва. В качестве иллюстрации работы системы на рис. 4 приведен элемент диалога пользователя с компьютером, в процессе которого выбирается форма разделки шва для стыкового соединения с заданной толщиной основного металла. Экспертная система позволяет выбирать сварочные материалы, способ и режимы сварки для различных систем легирования и марок основного металла.

Банк данных гигиенических характеристик сварочных аэрозолей [3] (эксперты О. Г. Левченко, В. А. Метлицкий). Информация о сварочных аэрозолях сосредоточена в базах данных, созданных для покрытых электродов, сварочных проволок и флюсов. Они содержат информацию о факторах, влияющих на химический состав и уровень выделений сварочных аэрозолей (марка присадочного материала, диаметр и тип проволоки, способ и режим сварки, состав защитной смеси и др.), а также данные об уровнях выделения газообразных и твердых компонентов сварочных аэрозолей. Для формирования баз данных и их поддержания в актуальном состоянии в процессе

эксплуатации компьютерной системы разработан редактор баз данных, который позволяет осуществлять их первичное наполнение и последующее редактирование.

Поиск информации в базах данных осуществляется по заданной марке сварочного материала, результат оформляется в виде выходного документа, в котором отображаются данные об условиях сварки и гигиенических показателях, характеризующих химический состав, уровень выделений и токсичность сварочных аэрозолей. По данным предельно допустимой концентрации сварочных аэрозолей рассчитывается производительность общеобменной вентиляции. Даются рекомендации по оборудованию для вентиляции рабочего места и средствам индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков (рис. 5). Благодаря детальному описанию условий сварки и уровней выделения сварочных аэрозолей по результатам работы компьютерной системы можно осуществить гигиеническую оценку процесса сварки для каждой марки сварочного материала, дать конкретные рекомендации по применению соответствующих средств защиты сварщиков и провести полный анализ влияния всех факторов на количественный и качественный состав сварочного аэрозоля, а также его токсичность. Последнее дает возможность проводить гигиеническую оптимизацию процесса и технологии сварки, оптимизировать состав сварочных материалов на стадии их разработки, выбрать среди имеющихся марок сварочных материалов менее токсичные.

Банк данных режимов сварки в CO_2 , под флюсом и в инертных газах (эксперт П. Зайффарт). В банке данных аккумулирована информация о режимах сварки в зависимости от толщины основного металла, способа и положения сварки, типа сварного соединения. Например, для полуавтоматической сварки в CO_2 данные о режимах

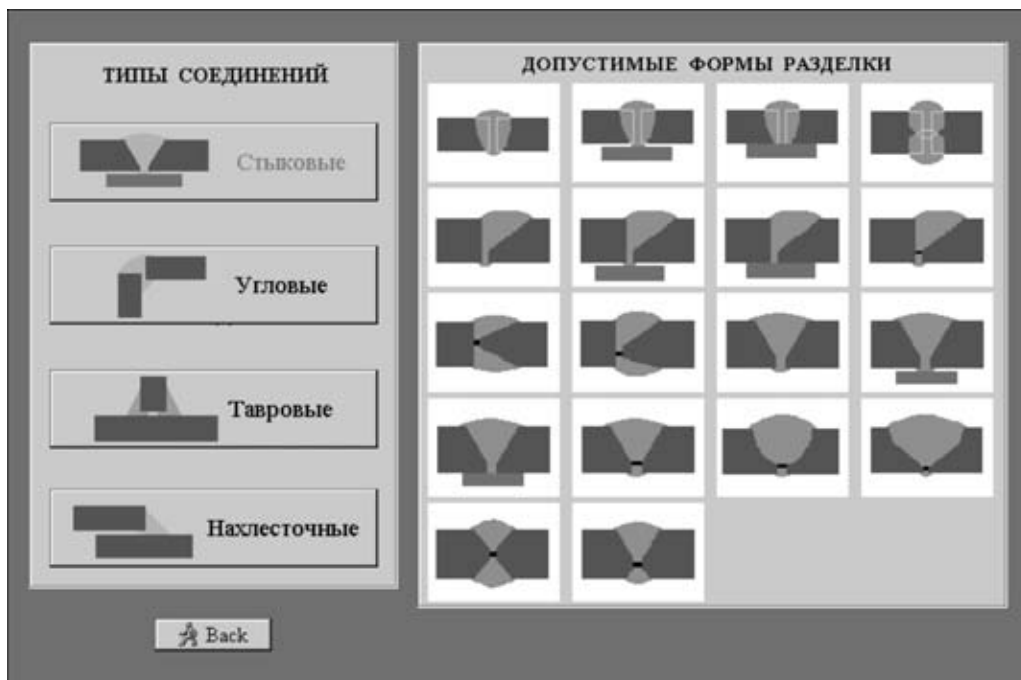


Рис. 4. Выбор типа сварного соединения и формы разделки кромок при сварке легких сплавов



Рис. 5. Рекомендации по защите сварщиков и окружающей среды от сварочных аэрозолей

охватывают толщины до 200 мм с информацией о количестве проходов, режимах сварки для корневого, заполняющих и декоративного швов, а при X-образной разделке эти данные приводятся для заполнения нижней и верхней разделки. В ряде случаев режимы сварки иллюстрируются микрошлифом сварного шва (рис. 6), что дает возможность пользователю из альтернативных вариантов режимов выбрать наиболее рациональный с его точки зрения. В настоящее время база данных содержит 1200 записей о режимах сварки.

Компьютерная система аттестации специалистов (эксперты П. Зайффарт, А. Шарф). Представляет собой некоторую унифицированную оболочку, предназначенную для аттестации и обучения слушателей учебных курсов. В состав системы входят три модуля: модуль формирования экзаменационных вопросов, экзаменационных билетов и учебного материала (редактор соответствующих баз данных); модуль тестирования знаний слушателя с элементами обучения; экзаменационный модуль, осуществляющий официальную аттестацию знаний слушателя по отдельным разделам курса. Система позволяет поддерживать несколько учебных курсов, каждый из которых имеет некоторое количество разделов. Экзаменационный вопрос содержит варианты ответов, из которых один или несколько являются правильными. Предусмотрено четыре различных шаблона ответов на экзаменационный вопрос: текстовые ответы и графические варианты ответов, в том числе и с рисунком, поясняющим вопрос. При помощи редактора имеется возможность сформировать базы экзаменационных вопросов к различным учебным курсам. Из них преподаватель генерирует экзаменационные билеты, по своему усмотрению выбирая вопросы, относящиеся к различным разделам курса. При работе экзаменационного модуля из комплекта би-

летов компьютер по датчику случайных чисел выбирает билет, на который слушатель должен ответить в течение заданного времени. Правильность ответов оценивается по 100-балльной системе. Тестирующий модуль служит для подготовки учащихся к сдаче экзаменов и также может быть использован в качестве вспомогательного средства в учебном процессе. В отличие от экзамена при тестировании экзаменационный билет генерируется по датчику случайных чисел из базы экзаменационных вопросов. При этом слушатель имеет возможность не только проконтролировать правильность своих ответов, но и получить информационную поддержку в том случае, если ответ оказался неверным. Для этой цели редактор баз данных экзаменационных вопросов устанавливает связь между вопросом и соответствующим разделом электронного учебника, который преподаватель предварительно готовит при помощи специального программного средства. При этом имеется также возможность непосредственного доступа к электронному учебнику через его оглавление. Разработанная компьютерная система может быть использована на кафедрах высших учебных заведений, промышленных предприятиях, средних учебных заведениях для аттестации слушателей и специалистов. Предусматривается, в частности, ее применение при подготовке и аттестации специалистов по курсу европейских инженеров-сварщиков. С этой целью экспертами подготовлены базы экзаменационных вопросов по нескольким учебным курсам, а также разработан соответствующий электронный учебник. Оценивая перспективу развития и использования электронных средств информационной поддержки сварочного производства, авторы полагают, что изложенные в настоящей статье компьютерные системы вместе с другими системами, которые уже разработаны [4] или будут разработаны в даль-


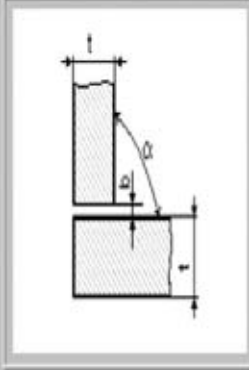


Способ сварки
сварка в смеси газов (Ar + 18% CO₂)

Вид сварного шва угловой, односторонний

Положение шва РВ

Толщина металла (t) 8 мм

Макрошлиф шва

Режимы сварки обеспечивают качественное формирование шва и условие свариваемости

d пр. (мм)	Кол-во слоев	I (А)	U (В)	V (см/мин)	V пр. (м/мин)	Погонная энергия (Дж/см)	Макрошлиф
1.2	1	320	25.0	30	10.5	16000	*
1.2	1	270	23.0	30	7.9	12420	*
1.2	1	300	26.0	40	9.3	11700	*
1.2	1	260	23.0	40	7.0	8970	*
1.2	1	320	31.0	60	10.5	9920	*
1.2	1	290	27.0	60	9.0	7830	*
1.2	1	330	28.0	80	11.1	6930	*
1.2	1	305	23.0	80	9.9	5261.2	*

Для просмотра макрошлифа шва выберите режим сварки

← Назад ✕ Выход

Рис. 6. Варианты режимов сварки угловых швов в инертных газах (18 % CO₂ + Ar)

нейшем, позволят создать на машиностроительных предприятиях компьютеризированное рабочее место технолога-сварщика, обеспечив возможность использования специалистами служб главного сварщика опыта и знаний высококвалифицированных экспертов.

Авторы выражают искреннюю признательность экспертам за многолетнее плодотворное сотрудничество в создании описанных выше систем информационного обеспечения в области сварки.

1. *Экспертная система по технологиям механизированной электродуговой наплавки* / П. В. Гладкий, В. Ф. Демченко, И. А. Рябцев, С. С. Козлитина // Свароч. пр-во. — 1996. — № 2. — С. 23–26.
2. *Демченко В. Ф., Рябцев И. А., Козлитина С. С. Компьютерное проектирование технологий наплавки металлургического оборудования* // Сварщик. — 1999. — № 2. — С. 14–15.
3. *Информационно-поисковая система гигиенических характеристик сварочных аэрозолей* / В. Ф. Демченко, О. Г. Левченко, В. А. Метлицкий, С. С. Козлитина // Свароч. пр-во. — 2001. — № 8. — С. 41–43.
4. *Махиенко В. И., Королева Т. В., Лавриец И. Г. Компьютерная система выбора сварочных материалов для дуговой сварки конструкционных сталей* // Автомат. сварка. — 2003. — № 2. — С. 14–18.

Described are the information support systems developed by the E.O.Paton Electric Welding Institute for welding and surfacing technologies.

Поступила в редакцию 06.10.2003

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СПЛАВОВ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ

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

Приведены результаты исследований сплавов, применяемых в арматуростроении для наплавки деталей затвора. Рассмотрены некоторые особенности плазменно-порошковой наплавки. Показано, что при использовании плазменно-порошковой наплавки достигается наилучшая работоспособность уплотнительных поверхностей.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, коррозионностойкие сплавы, арматура, уплотнительная поверхность, структура, твердость, проплавление

Опыт эксплуатации показывает, что запорная трубопроводная арматура различного назначения выходит из строя преимущественно из-за повреждений уплотнительных поверхностей. На них могут возникать задиры, трещины, эрозионные и коррозионные разрушения [1], в результате чего нарушается герметичность затвора.

Надежным способом обеспечения высокой работоспособности уплотнительных поверхностей является наплавка специальными сплавами. При их выборе важное значение имеют условия эксплуатации арматуры. Металл, наплавленный на уплотнительные поверхности, должен быть стоек против задиров при его трении скольжения по металлу в различных рабочих средах при удельном давлении до 150 МПа. У наплавленного металла должна быть минимальная склонность к образованию трещин при теплосменах с перепадом температур до 200...300 °С. Твердость при рабочих температурах должна быть достаточно высокой (не менее $HV\ 300$). По сопротивлению эрозии и коррозии наплавленный металл не должен уступать нержавеющей стали типа 18-8. Должна быть обеспечена стабильность структуры и свойств при длительной эксплуатации, а также хорошая обрабатываемость и технологичность. Лишь немногие износостойкие сплавы отвечают всем этим требованиям. Наиболее приемлемыми для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры являются сплавы на основе кобальта, легированные хромом и вольфрамом. Для некоторых видов арматуры используются также сплавы на основе никеля, легированные хромом, кремнием и бором.

Кобальтхромвольфрамовые сплавы-стеллиты. Эти сплавы разработаны Э. Хайнесом (США) в 1907–1908 гг. и впервые описаны им в 1913 г. Известно более 60 марок стеллитов. Они отличаются высокой стойкостью против эрозии, коррозии, сохраняют высокую твердость до температуры 650 °С и хорошо сопротивляются износу [2–5].

Структура наплавленного металла, в котором массовая доля хрома составляет обычно 30 %, в

основном зависит от содержания углерода и вольфрама. Для наплавки деталей арматуры применяются доэвтектические кобальтхромвольфрамовые сплавы, структура которых состоит из твердого раствора и карбидной эвтектики, содержащей карбиды типа M_7C_3 и $M_{23}C_6$. При старении (5000 ч, 700 °С) происходит частичный распад карбидов M_7C_3 и в твердом растворе выделяется дисперсный карбид $M_{23}C_6$, что приводит к повышению твердости.

Для наплавки наиболее широко используются сплавы следующего содержания, мас. %: 1,0...1,6 С; 1,5...2,5 Si; 28,0...32,0 Cr; 4,0...8,0 W; $\leq 3,0$ Fe; основа Со. Твердость наплавленного металла составляет $HV\ 400...480$. Более твердые сплавы с повышенным содержанием углерода и вольфрама склонны к образованию трещин при резких теплосменах. Сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием и шлифованием. Ввиду большой склонности кобальтхромвольфрамовых сплавов к горячим трещинам необходим предварительный подогрев наплаваемой детали до температуры 600...750 °С, которую следует поддерживать при наплавке, а наплавленные детали отжигать при температуре 800...850 °С в течение 2–3 ч и медленно охлаждать. Эти особенности, а также высокая цена кобальта повышают себестоимость наплавленных деталей. К недостаткам кобальтхромвольфрамовых сплавов следует отнести не очень высокое сопротивление задирам [3], что вынуждает ограничивать эксплуатационное удельное давление арматуры. Кроме того, нежелательно использовать сплавы, содержащие кобальт, в зоне радиации, поскольку он образует долгоживущий радиоактивный изотоп ^{60}Co .

Для плазменной наплавки деталей арматуры в ИЭС им. Е. О. Патона создан сплав системы Со–Cr–W–С, дополнительно легированный бором, при введении которого образуется легкоплавкая боридная эвтектика, способная залечивать горячие трещины. Ее положительное влияние известно из опыта сварки жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. Легирование стеллитов бором снижает температуру их плавления, облегчает получение присадочных порошков и улучшает формирование наплавленного металла. Бор также эффективно повышает твердость наплавленного металла при



температурах до 550...600 °С (рис. 1) и стойкость против задира. Испытания на жаростойкость в воздухе при температуре 800 °С в течение 1000 ч и в водяном паре (700 °С, 0,1 МПа, 500 ч) не выявили существенной разницы в характере окисления стеллитов с бором (до 2,6 мас. %) и без него. В дистиллированной воде (300 °С, 20 МПа, 1000 ч) сплавы без бора и с бором (2,6 мас. %) имеют скорость коррозии соответственно 0,0038 и 0,0028 г/(м²·ч).

Исследования влияния бора на стойкость сплава стеллит 6 против образования трещин показали, что содержание бора в наплавленном металле не должно превышать 1,2...1,5 мас. %. Для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры рекомендуется порошок ПН-АН34 (ПрКХ30В5Н6СР) следующего состава, мас. %: 0,7...1,0 С; 1,5...2,5 Si; 28...32 Cr; 4...5 W; 4...8 Ni; 0,5...0,9 В; ≤ 3 Fe; основа Со. Твердость наплавленного металла составляет HRC 44...48. Этот порошок позволяет проводить наплавку деталей арматуры диаметром до 150 мм без предварительного подогрева. Для деталей больших размеров достаточен подогрев, не превышающий 500 °С.

Никелевые сплавы с хромом, кремнием, бором. В настоящее время разработано около 90 сплавов этого типа. Часть из них известна под торговой маркой «Колмоной». Эти сплавы появились в 1950-х годах и получили распространение как самофлюсующиеся припой и как присадочный материал для газовой наплавки, а также для газопламенной металлизации с последующим оплавлением. Наплавленный металл этого типа хорошо сопротивляется износу, сохраняет высокую твердость до температуры 600 °С, стоек против коррозии во многих агрессивных средах [6, 7]. К числу других преимуществ Ni-Cr-Si-B-сплавов относятся довольно низкая температура плавления (1050...1150 °С), умеренная стоимость по сравнению с кобальтхромвольфрамовыми сплавами, а также возможность значительного снижения температуры подогрева при наплавке. Эти сплавы успешно применяются для наплавки некоторых видов арматуры [1, 6].

Структура сплава, не содержащего углерод, состоит из твердого раствора, боридной эвтектики с микротвердостью HV 415...445 и боридов Ni₃B,

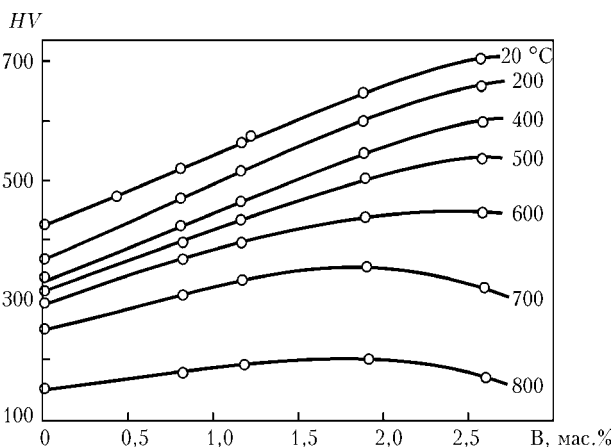


Рис. 1. Зависимость твердости наплавленного стеллита от содержания бора при различной температуре испытаний

CrB и Cr₅B₃. С повышением концентрации углерода количество эвтектики увеличивается, а при содержании углерода более 1 мас. % появляются гексагональные первичные карбиды М₇С₃. Углерод входит также в состав карборидов. В структуре сплавов наблюдаются гексагональные кристаллы с микротвердостью HV 1040...1385, H-образные карбориды с микротвердостью HV 1775...2340, а также кристаллы неправильной формы с микротвердостью HV 2700...3800.

Весь хром входит в состав твердого раствора на основе никеля. При увеличении концентрации хрома в сплаве появляются бориды хрома CrB. При этом хром и бор вступают в реакцию в таком соотношении, что состав твердого раствора практически остается постоянным (16...18 мас. % Cr). Кремний почти полностью находится в твердом растворе и не образует самостоятельных фаз. Он увеличивает активность хрома в твердом растворе, что способствует образованию карбидов и боридов хрома. Практически весь бор находится в сплавах в виде боридов. Железо в основном входит в твердый раствор. По мере увеличения его содержания количество эвтектики уменьшается, что свидетельствует о повышении растворимости углерода и бора в таком растворе.

Самофлюсование сплавов системы Ni-Cr-Si-B особенно ценно при наплавке деталей с подогревом, когда наплаваемая поверхность покрыта оксидной пленкой. Борный ангидрид и кремнезем, вступая в реакцию с оксидами металла подложки, растворяют их и тем самым создаются условия для хорошего смачивания наплавленной поверхности. Кроме того, бор и кремний способствуют отличному формированию наплавленного слоя. Однако сплавы на основе никеля, содержащие (мас. %) 0,35...0,70 С; 2,5...3,5 Si; 10,0...14,0 Cr; 2,0 В, по стойкости против коррозии в водяном паре с температурой выше 500 °С уступают кобальтовым стеллитам.

Установлено, что стойкость сплавов системы Ni-Cr-Si-B в водяном паре существенно зависит от химического состава и определяется характером боридов в структуре сплава. При низком содержании хрома (менее 14 мас. %) в сплаве образуется

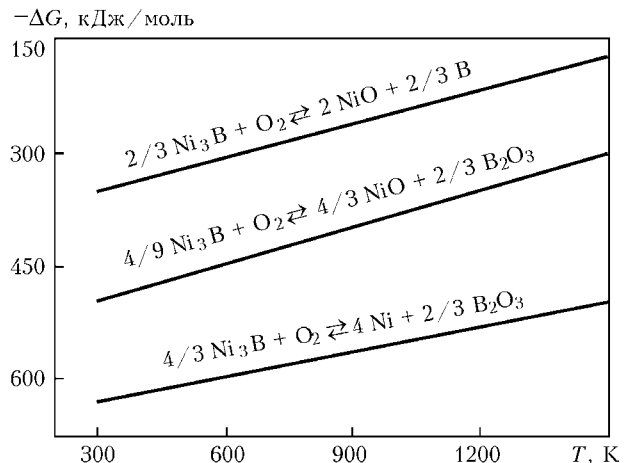


Рис. 2. Зависимость изобарного потенциала реакций окисления бориды никеля от температуры

борид никеля Ni_3B . Как показывают расчеты энергии Гиббса возможных реакций окисления Ni_3B , по данным Омори и Хасимото [8], наиболее вероятна реакция с образованием Ni и B_2O_3 (рис. 2). Температура плавления B_2O_3 составляет $468^\circ C$. В присутствии водяного пара он образует хорошо растворимую и летучую ортоборную кислоту H_3BO_2 . В результате происходит разрыхление оксидной пленки, что приводит к ускорению коррозии.

Исследование деталей паровых задвижек, уплотнительные поверхности которых наплавлены сплавами типа ПГ-СРЗ, после эксплуатации в водяном паре при температуре $545^\circ C$ и давлении 25,5 МПа в течение 7000...31216 ч показало, что средняя скорость коррозии металла составляет 0,06 мм/год, а образующаяся оксидная пленка имеет рыхлую слоистую структуру.

Иначе ведет себя сплав с повышенным содержанием хрома (более 18 мас. %), в котором образуется борид хрома CrB . При его окислении получается боратное стекло $Cr_2O_3-B_2O_3$, тугоплавкое и стойкое по отношению к воде. С увеличением содержания хрома возрастает его концентрация и в твердом растворе, что также существенно повышает жаростойкость сплава. В результате выполненных исследований разработан сплав Н68Х21С5Р на никелевой основе следующего состава, мас. %: 0,35...0,50 С; 4,0...5,0 Si; 20,0...22,0 Cr; 1,0...1,3 В; 4,0...7,0 Fe; остальное Ni. Сплав имеет малую склонность к задирам, хорошую термическую выносливость и высокую стойкость против коррозии [9].

Наплавку тарелок, седел и других деталей аппаратуры с хорошим доступом к наплавляемой поверхности наиболее целесообразно выполнять плазменно-порошковым способом [1, 5, 10]. Благодаря механизации процесса плазменно-порошковая наплавка обеспечивает более высокое и стабильное качество наплавленного металла по сравнению с ручной ацетилено-кислородной и электродуговой наплавкой. Преимуществами этого способа являются значительное увеличение производительности, экономия наплавочных материалов и улучшение условий труда, снижаются затраты на последую-

щую механическую обработку. Для достижения максимальной производительности процесса и экономии наплавочных материалов следует стремиться к однослойной наплавке. При этом доля основного металла должна быть минимальной, если содержание железа в наплавленном металле строго ограничено, как это имеет место, например, при наплавке сплавов системы Co-Cr-W.

Производительность электродуговой наплавки, измеряемая количеством металла, наплавленного в единицу времени при заданных технологических условиях, однозначно определяется значением тока. С повышением тока производительность возрастает, но одновременно увеличивается и доля основного металла в наплавленном слое. На практике это приводит к необходимости либо ограничения тока, либо перехода к многослойной наплавке. В обоих случаях время наплавки изделия увеличивается. Плавящийся электрод расплавляется преимущественно за счет тепла, выделяющегося в активном пятне дуги. В сварочную ванну электродный металл поступает в виде капель, перегретых значительно выше температуры плавления. Например, для электродной проволоки или стержня из низкоуглеродистой стали температура капель составляет $2300^\circ C$, она повышается до температуры кипения железа с увеличением сварочного тока.

При плазменной наплавке частицы присадочного порошка в виде зерен попадают в столб дуги холодными и нагреваются там за счет теплообмена с плазмой. Температура частиц в момент соприкосновения с поверхностью сварочной ванны или изделия зависит от их размера и формы, теплофизических свойств металла, длительности пребывания их в плазме, а также параметров последней (температуры, скорости и теплопроводности). В зависимости от перечисленных факторов зерна порошка могут попадать в сварочную ванну как в твердом, так и расплавленном виде. Если среднemasсовая температура порошка будет ниже средней температуры металла сварочной ванны, то с увеличением его подачи проплавление основного металла уменьшается.

Основываясь на представлениях теории тепловых процессов сварки Н. Н. Рыкалина, можно показать, что доля основного металла в наплавленном слое будет малой ($\leq 5\%$), если соотношение между эффективной тепловой мощностью дуги q , количеством присадочного порошка $G_{пр}$, поступающего в сварочную ванну, и его теплосодержанием $S_{пр}$ удовлетворяет условию

$$G_{пр} = k \frac{q \eta_t}{S_{пл.пр} - S_{пр}(1 + \eta_t)}$$

где η_t — термический КПД процесса проплавления дугой без порошка; $S_{пл.пр}$ — теплосодержание присадочного металла при температуре плавления, включая скрытую теплоту плавления; k — поправочный коэффициент, учитывающий от-

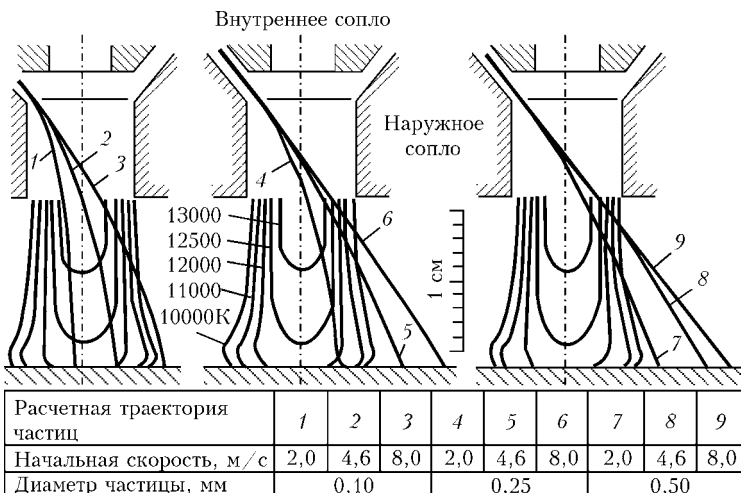


Рис. 3. Траектории полета частиц порошка в плазменной дуге

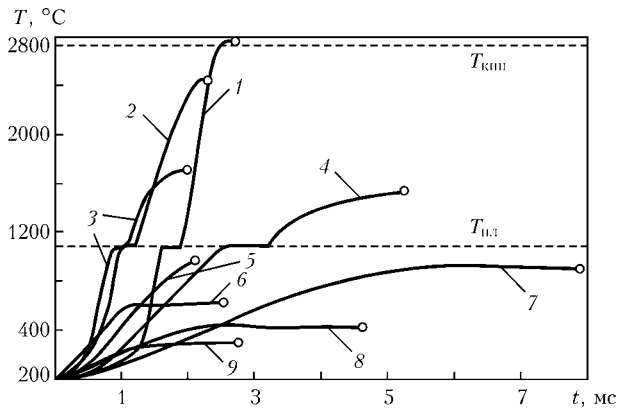


Рис. 4. Нагрев порошка сплава Ni-Cr-Si-B в плазменной дуге: 1-9 — см. рис. 3; кружками обозначен момент соприкосновения частицы с наплавляемой поверхностью

клонение расчетной схемы от реальных условий ($k = 1, 2, \dots, 1, 5$).

Из уравнения следует, что при сохранении малого проплавления основного металла производительность плазменной наплавки можно повышать либо путем увеличения мощности дуги q , либо увеличения эффективности нагрева порошка в дуге. Порошок нагревается в дуге преимущественно в результате конвективного теплообмена, интенсивность которого зависит от многих факторов: параметров плазмы, формы и размера частиц и пр. Продолжительность нагрева обусловлена траекторией и скоростью полета частиц, а также размерами столба дуги.

На рис. 3 показаны поле температур плазмы и расчетные траектории полета частиц порошка различного диаметра: 0,10, 0,25 и 0,50 мм при плотности материала частиц $8,1 \text{ г/см}^3$. Режим работы плазматрона следующий: ток косвенной дуги 80 А; ток дуги прямого действия 150 А; расход плазмообразующего газа (аргона) 2 л/мин; расход транспортирующего газа (аргона) 9 л/мин; осевая скорость потоков плазмы на выходе из сопла 160 м/с. Частицы малого диаметра в дуге легко ускоряются, траектории их полета искривляются и проходят через высокотемпературную зону дуги. Крупные частицы под действием потока плазмы мало изменяют скорость и траекторию полета. Время нахождения их в дуге прежде всего зависит от угла ввода порошка в дугу и начальной скорости.

При указанном выше режиме работы плазматрона температура частиц в зависимости от значения и начальной скорости в момент соприкосновения с наплавляемой поверхностью согласно расчетам

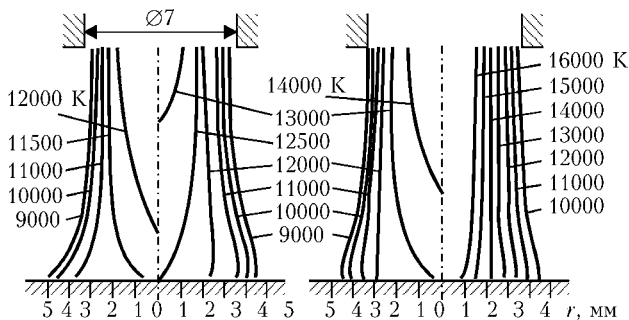


Рис. 5. Поле температур в столбе аргоновой плазменной дуги при различном значении тока

составляет от 300... 500 °С до температуры кипения сплава (рис. 4). Повышение температуры плазмы интенсифицирует нагрев порошка. Согласно спектроскопическим измерениям в той области, где происходит нагрев порошка, температура плазмы в основном определяется током дуги прямого действия (рис. 5). Следовательно, с увеличением тока этой дуги возрастает не только нагрев изделия, но и эффективность нагрева порошка. Благодаря этому производительность плазменно-порошковой наплавки с увеличением тока быстро растет.

Связь между током, долей основного металла в наплавленном слое и производительностью применительно к наплавке сплавов системы Ni-Cr-Si-B на низколегированную сталь приведена на рис. 6, а. Аналогичные данные получены и при наплавке сплавов системы Co-Cr-W на аустенитную хромоникелевую сталь (рис. 6, б) [11]. С повышением производительности диапазон токов, обеспечивающих допустимое проплавление основного металла, расширяется (рис. 7). Подогрев основного металла, необходимый для предупреждения горячих трещин в наплавленном металле при плазменной наплавке, не является препятствием для получения малого проплавления (рис. 8). Это обстоятельство особенно важно при наплавке сплавов системы Co-Cr-W, поскольку допустимое содержание железа в наплавленном слое жестко ограничено во избежание резкого ухудшения его свойств.

При плазменной наплавке большое значение имеет качество присадочного порошка, который должен иметь хорошую текучесть, требуемый гра-

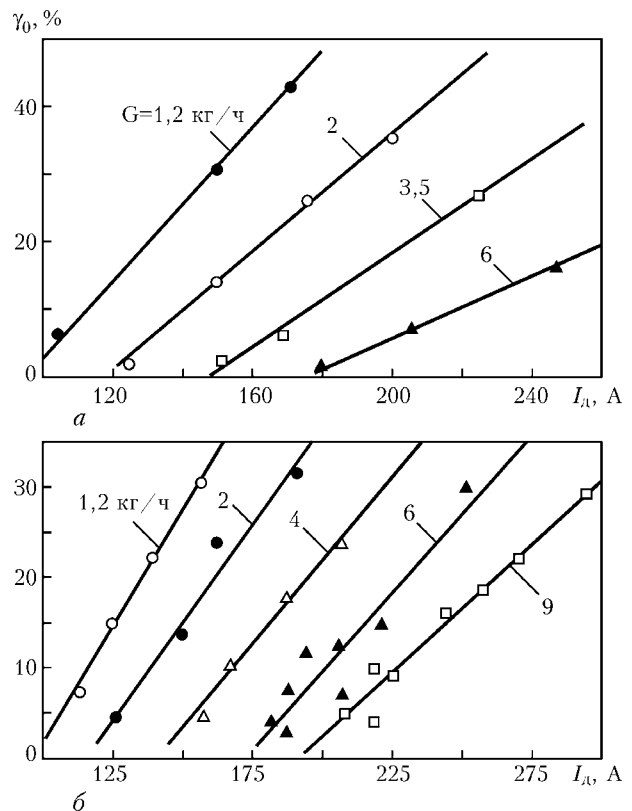


Рис. 6. Зависимость доли основного металла γ_0 в наплавленном слое от тока дуги I_d при различной производительности наплавки порошками сплавов Ni-Cr-Si-B (а) и Co-Cr-W (б)

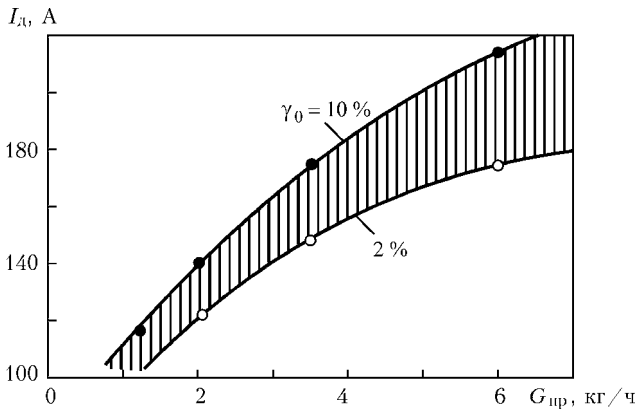


Рис. 7. Диапазон токов, в котором доля основного металла в наплавленном металле составляет 2... 10 мас. % (наплавка сплавов системы Ni-Cr-Si-B на низкоуглеродистую сталь)

нулометрический состав и малую насыщенность газами. Оптимальной для порошков при плазменной наплавке является сферическая или близкая к ней форма частиц, обеспечивающая максимальную текучесть порошка. Для плазменной наплавки применяются порошки преимущественно с диаметром частиц $d = 80... 200$ мкм. Использование более крупного порошка ведет к увеличению потерь и ухудшению качества наплавленного слоя. Слишком мелкий порошок плавится внутри плазмотрона, что приводит к перекрытию его сопел и нарушению процесса наплавки.

Присадочные порошки содержат газы, растворенные в металле, связанные в химические соединения (оксиды), абсорбированные на поверхности или заключенные внутри полых частиц. Повышенное содержание газа, особенно кислорода, в порошке вызывает разбрызгивание металла при наплавке, появление в наплавленном слое пор и неметаллических включений, образование шлака на поверхности валика. Исследованиями установлено, что в предназначенных для плазменной наплавки порошках сплавов системы Ni-Cr-Si-B содержание кислорода не должно превышать 0,10... 0,12 мас. %, а в порошках сплавов системы Co-Cr-W — 0,006... 0,080 мас. %. Этим требованиям лучше всего

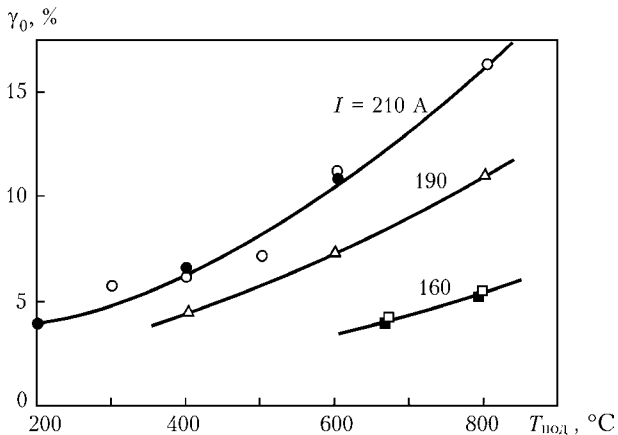


Рис. 8. Зависимость доли основного металла γ_0 от температуры предварительного подогрева $T_{под}$ при различном токе (наплавка сплава системы Co-Cr-W на сталь X18H10T, производительность 6 кг/ч)

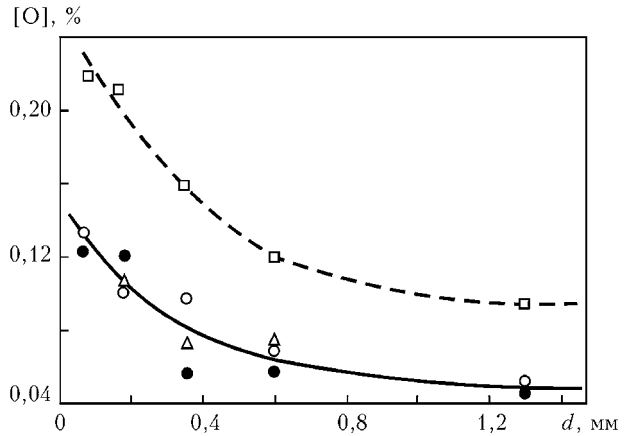


Рис. 9. Содержание кислорода в частицах порошка сплава Ni-Cr-Si-B, полученного распылением азотом (○), аргоном (△), водой (●) (сплошная кривая) и воздухом (штрихпунктирная)

отвечают порошки, получаемые распылением жидкого металла инертными газами (рис. 9).

Плазменная наплавка выполняется плазмотроном комбинированного типа (рис. 10). Нагрев порошка и изделия осуществляется плазменной дугой прямого действия. Косвенная дуга выполняет вспомогательные функции. Присадочный порошок подается газом по гибкой трубке из питателя в плазмотрон и через кольцевую щель между стабилизирующим и фокусирующим соплами вдувается в дугу. В плазмотрон поступает три потока рабочего газа: центральный поток плазмообразующего газа, который защищает вольфрамовый электрод от окисления, стабилизирует и сжимает дугу (расход газа 1,5... 2,0 л/мин); транспортирующий поток, подающий присадочный порошок (расход 4... 6 л/мин); защитный поток (расход 8... 12 л/мин). Рабочий газ — аргон.

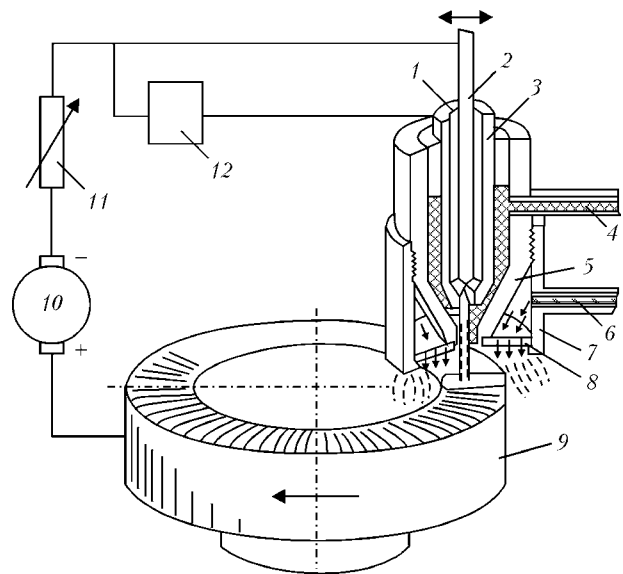


Рис. 10. Схема плазмотрона комбинированного типа: 1 — ввод плазмообразующего газа; 2 — вольфрамовый электрод; 3 — стабилизирующее сопло; 4 — ввод транспортирующего газа с присадочным порошком; 5 — фокусирующее сопло; 6 — ввод защитного газа; 7 — защитное сопло; 8 — газовая линза; 9 — наплавляемая деталь; 10 — источник питания дуги; 11 — сопротивление; 12 — устройство поджига дуги

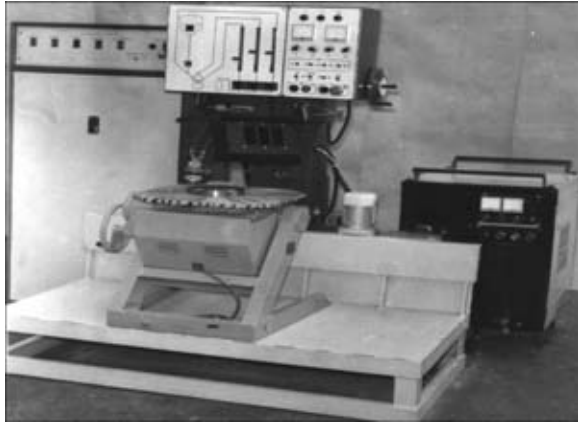


Рис. 11. Универсальная установка ОБ2184 для плазменно-порошковой наплавки

Технологические возможности плазменной наплавки с присадкой порошков очень широки. Минимальная толщина слоя при плазменной наплавке составляет 1 мм, максимальная — 5...6 мм (однослойный валик). Для получения широких валиков плазматрону сообщают поперечные колебания (ширина валика до 60 мм).

Для механизированной плазменной наплавки деталей арматуры в ИЭС им. Е. О. Патона разработано несколько типов установок. Универсальная установка ОБ2184 (рис. 11) предназначена для наплавки цилиндрических поверхностей диаметром до 400 мм и длиной до 800 мм, деталей плоской формы с размерами 800×500×400 мм. Возможна наплавка конических и фасонных деталей. В комплект установки входит аппарат А1756, который можно использовать автономно. Он легко монтируется на консоль, что позволяет



Рис. 12. Автоматическая установка УП142 для наплавки деталей арматуры

создать установку для наплавки деталей арматуры Ду 1000 мм и более.

Примером специализированной установки может служить автоматическая установка УП142 (рис. 12), предназначенная для серийной или массовой наплавки деталей типа дисков диаметром до 200 мм и высотой до 150 мм. Установка имеет микропроцессорное управление, необходимое для обеспечения автоматического цикла наплавки, и рабочую камеру, надежно защищающую оператора от светового и теплового излучения дуги, газа и пыли. Установка снабжена механизмом для автоматической выгрузки заготовок после наплавки в накопительный бункер. Она легко встраивается в линию с автоматической загрузкой и выгрузкой деталей при массовом производстве. Электрическая схема управления установкой предусматривает возможность наплавки в один и два слоя.

Таблица 1. Результаты измерений твердости наплавленного металла деталей задвиги Ду 150... 175 мм

Способ наплавки, присадочный материал	Количество измерений	Математическое ожидание твердости, HRC	Среднеквадратическое отклонение твердости, HRC	Коэффициент вариации, %
Ручная наплавка электродами ЦН-6М, три слоя	431	30,8	3,82	12,3
Ручная наплавка электродами ЦН-12М, три слоя	496	39,3	4,34	11,0
Наплавка проволокой под легирующим флюсом	351	29,8	2,30	7,80
Плазменная наплавка порошком ПР-Н73Х16С3Р3	417	48,6	1,28	2,62

Таблица 2. Характеристики надежности наплавленных деталей

Тип наплавленного металла	Интенсивность отказов, 1/тыс. ч	Средняя наработка до отказа, тыс. ч
180К62Х30В5С2 (электрод ЦН-2)	0,245	4,8
	0,099	10,1
Х16Н7Г4С4М5Б (электрод ЦН-12)	0,094	10,6
	0,049	20,8
Н73Х16С3Р3 (порошок)	0,0214	46,7
	0,00475	210,0

Примечание. В числителе указаны данные для тарелки, в знаменателе — седла.

Многолетний опыт свидетельствует, что плазменная наплавка обеспечивает высокое качество и однородность наплавленного металла уплотнительной поверхности арматуры (табл. 1).

Твердость измеряли в пяти точках, равномерно расположенных по ширине наплавки, через каждые 4...5°. Статистическую обработку полученных данных выполняли в предположении, что распределение твердости подчиняется нормальному закону. Неоднородность распределения твердости тем выше, чем больше коэффициент вариации, представляющий собой отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению твердости. Ручная наплавка дает наименее однородный наплавленный металл. При однослойной наплавке под легирующим флюсом твер-

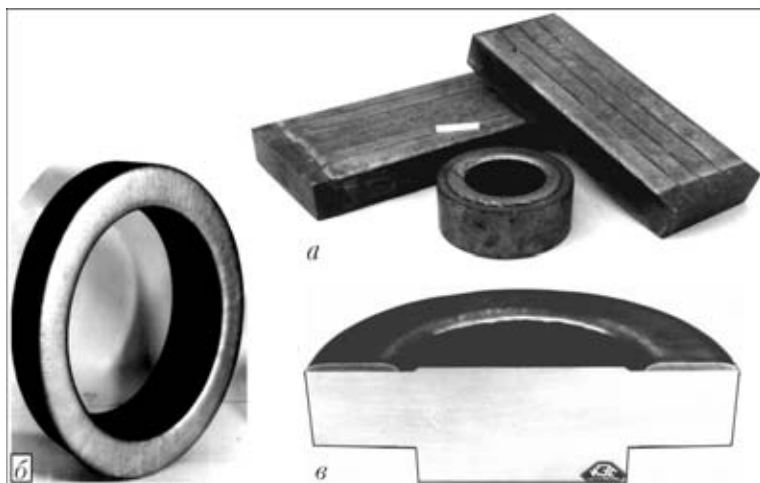


Рис. 13. Наплавленные детали фонтанной арматуры (а), наплавленное седло (б), макрошлиф наплавленной тарелки (в) задвижки Ду 150 мм энергетической арматуры

дость одинакова по ширине валика, но по периметру детали распределение очень неравномерное. Объясняется это разогревом детали в процессе наплавки и увеличением глубины проплавления основного металла, а также наличием участков замыкания, где наплавка выполняется, по существу, в два слоя. Кроме того, легирование наплавленного металла через флюс чувствительно к колебаниям режима наплавки, неизбежным в производственных условиях.

Эффективность применения различных сплавов для наплавки уплотнительных поверхностей энергетической арматуры может быть оценена наиболее объективно с помощью количественных критериев надежности. В связи с отсутствием ускоренных методов комплексных испытаний арматуры на надежность использован единственный источник информации о ее надежности — опыт эксплуатации. Данные табл. 2 характеризуют надежность наплавленных деталей арматуры. Они получены при обобщении опыта эксплуатации главных паровых задвижек блоков 300 МВт тепловых электростанций. Установлено, что детали задвижек Ду 150 мм, наплавленные электродом ЦН-2 и ЦН-12, имеют среднюю наработку до отказа (до появления трещин на уплотнительных поверхностях) 4,08...20,40 тыс. ч, что намного ниже расчетного ресурса работы основного энергетического оборудования. Наилучшую работоспособность уплотнительных поверхностей обеспечивает плазменная наплавка сплавами системы Ni-Cr-Si-B: средняя наработка до отказа составляет для тарелок 46,7, для седел — 210,0 тыс. ч.

Внешний вид и макрошлиф наплавленных деталей показаны на рис. 13.

Хорошее формирование валиков сокращает трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков. Толщина наплавленного слоя обычно составляет 3,3...3,6 мм, после механической обработки $2^{+0,5}$ мм. При ручной и автоматической наплавке под флюсом толщина слоя 10...12 мм.

Results of investigations of alloys used in valve manufacturing for surfacing of stop valve components are given. Peculiarities of plasma-powder cladding are considered. It is shown that plasma-powder cladding provides the best performance of sealing surfaces.

Применение плазменно-порошковой наплавки в серийном производстве деталей энергетической, фонтанной и судовой арматуры [1, 8, 12] позволило повысить производительность в 2...3 раза, коренным образом улучшить качество наплавленного металла и значительно повысить работоспособность наплавленных деталей.

1. Гладкий П. В., Переpletчиков Е. Ф., Рабинович В. И. Плазменная наплавка в энергетическом арматуростроении. — М.: НИИИИформтяжмаш, 1970. — 36 с.
2. *Metals Handbook* ASM, 8-th Ed. // ASM Metals Park. — Vol 1. — 1961.
3. Hinzpeter H. Auftragen von Hartlegierungen im Armaturenbau // ZIS-Mitteilungen, 1968. — S. 6.
4. Переpletчиков Е. Ф., Гладкий П. В. Влияние состава кобальтхромвольфрамовых наплавочных сплавов на их свойства // Наплавленный металл. Состав, структура, свойства. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 19–23.
5. Переpletчиков Е. Ф. Плазменно-порошковая наплавка в судовом машиностроении // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 31–35.
6. Knotek O., Lugscheider E., Eschmayer H. Hartlegierungen zum Verschleiss-Schutz. — Dusseldorf, 1975. — 285 s.
7. Калбертсон Р., Норден Вю, Рацек А. Вопросы металлургии и технологии твердой наплавки сплавами кобальта и никеля: Сб. тр. XII конгресса Междунар. ин-та сварки. — М.: Машгиз, 1961. — С. 202–215.
8. Omori Sh., Hashimoto V. Thermodynamic properties of Ni_3B and Ni_2B by E.M.F. measurements // J. of the Jap. Soc. of Powder and Powder Metallurgy. — 1973. — 20, № 3. — P. 80–83.
9. Переpletчиков Е. Ф., Гладкий П. В., Касаткин О. Г. Разработка жаростойкого сплава для наплавки уплотнительных поверхностей энергетической арматуры // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочный металл. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 136–143.
10. Плазменная наплавка деталей энергетической арматуры / П. В. Гладкий, Е. Ф., Переpletчиков, В. И. Рабинович и др. // Свароч. пр-во. — 1970. — № 2. — С. 13–14.
11. Плазменная наплавка стеллита / И. И. Фрумин, Е. Ф. Переpletчиков, П. В. Гладкий и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 2. — С. 54–56.
12. Производство фонтанной арматуры для глубоких нефтяных и газовых скважин методами электрошлакового литья и плазменно-порошковой наплавки / В. Л. Шевцов, В. Я. Майданик, В. М. Ханенко и др. // Сварщик. — 2001. — № 4. — С. 8–9.

Поступила в редакцию 11.01.2004



ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА ДЛЯ НАПЛАВКИ

Дж. Б. С. ВУ (ООО «Делоро Стеллит Групп», г. Сент-Луис, США),
А. В. ПАВЛЕНКО (ООО «Делоро Стеллит Групп», г. Кобленц, Германия)

Описаны особенности структуры свойств износостойких и коррозионностойких наплавочных сплавов на основе кобальта с различным типом упрочнения. Кратко отмечены способы их нанесения на изделия. Даны примеры промышленного применения сплавов.

Ключевые слова: кобальтовые сплавы, стеллит, износ, коррозия, плазменная дуга прямого действия, высокоскоростное газопламенное термическое напыление, клапаны, бурение при добыче нефти, гальванизация, нефтеперерабатывающий завод, резка древесины

Кобальтовые сплавы разработаны около 100 лет назад для использования в производстве пищевых продуктов, а также изготовления стоматологических инструментов, металлообрабатывающих изделий, станков и деталей двигателей. В этих сплавах кобальт, являющийся основой, хорошо растворяет в себе хром, молибден и вольфрам. Кроме того, карбиды легко осаждаются в матрице. Оказалось, что сплавы Co-Cr-W отличаются не только высокой твердостью и вязкостью, но также яркостью и блеском. Поэтому была придумана торговая марка «Stellite» (похожий на звезды). Позже из этих сплавов начали изготавливать присадочные материалы. Они оказались пригодными для наплавки поверхности. Отсюда возник термин «твердая наплавка». В работах [1, 2] подробно описаны сплавы для твердой наплавки и способы их применения. За последнее время разработаны новые сплавы, отвечающие требованиям многих ответственных промышленных применений. С появлением современных технологий наплавки кобальтовые сплавы все чаще используют для изготовления ответственных изделий в различных отраслях промышленности.

Свойства кобальтовых сплавов зависят от их микроструктуры, в связи с чем их можно разделить на три типа (карбиды, интерметаллиды и твердые растворы). Производившиеся первоначально кобальтовые сплавы относятся к I типу. В сплавах II типа используется осаждение интерметаллидных соединений для упрочнения. Сплавы III типа сходны со сплавами I типа, но отличаются минимальным осаждением карбидов. Упрочнение твердого раствора усиливает прочность сплавов. Кроме того, они обладают хорошими свойствами деформационного упрочнения и коррозионной стойкостью.

Карбидные сплавы (I тип). Как показано в табл. 1, хром и углерод неизбежно присутствуют в сплавах этого типа, поскольку они образуют необходимые для износостойкости карбиды хрома M_7C_3 и $M_{23}C_6$ [3]. Карбид M_7C_3 , присутствующий главным образом в заэвтектических сплавах, имеет

более высокую температуру плавления и осаждается еще в процессе затвердевания. Карбид $M_{23}C_6$ имеет тенденцию осаждаться в эвтектической зоне доэвтектических сплавов после образования дендритов кобальт-хромового твердого раствора. Эти микроструктуры показаны на рис. 1. Такие элементы, как, например, вольфрам и молибден, добавляются к этим сплавам для улучшения их физико-механических свойств. Известно, что вольфрам распределяется в карбидах в небольшой степени из-за его низкой скорости диффузии. Молибден, с другой стороны, имеет атомы меньшего размера и обладает сильным сродством с углеродом. Карбиды, сформированные вольфрамом и молибденом, обычно имеют вид M_6C [3]. Использование растворного электронного микроскопа позволяет увидеть, что карбиды, насыщенные хромом, и карбиды, насыщенные молибденом, располагаются отдельно (рис. 2).

Помимо улучшения физико-механических свойств сплавов I типа и вольфрам, и молибден также повышают коррозионную стойкость (особенно в восстановительных или неокислительных средах), однако у последнего она ослабляется в чистых окислительных средах. В комплексной среде, способной вызывать питтинговую коррозию, молибден оказывает сильный положительный эффект, как это видно из общепринятой формулы PREN (эквивалентное число стойкости к питтинговой коррозии) для сплавов никеля и железа.

Таблица 1. Характеристика кобальтовых сплавов I типа

Сплав	Тип легирования	Твердость, HRC
Stellite® 6	29Cr-4,5W-1,2C	42
Stellite 12	29Cr-8,5W-1,5C	45
Stellite 1	29Cr-12W-2,4C	48
Stellite F	27Cr-22Ni-27Cr-1,8C	42
Stellite 190	27Cr-14W-3,2C	55
Stellite 694	28Cr-20W-5Ni-1V-0,9C	51
Stellite 706	29Cr-4,5Mo-1,2C	42
Stellite 712	29Cr-8,5Mo-1,5C	46
Stellite 703	32Cr-12Mo-2,4C	54
Stellite 720	33Cr-18Mo-2,5C-0,3B	60

Примечание: Stellite® – зарегистрированная торговая марка компании «Deloro Stellite Holdings Inc.».

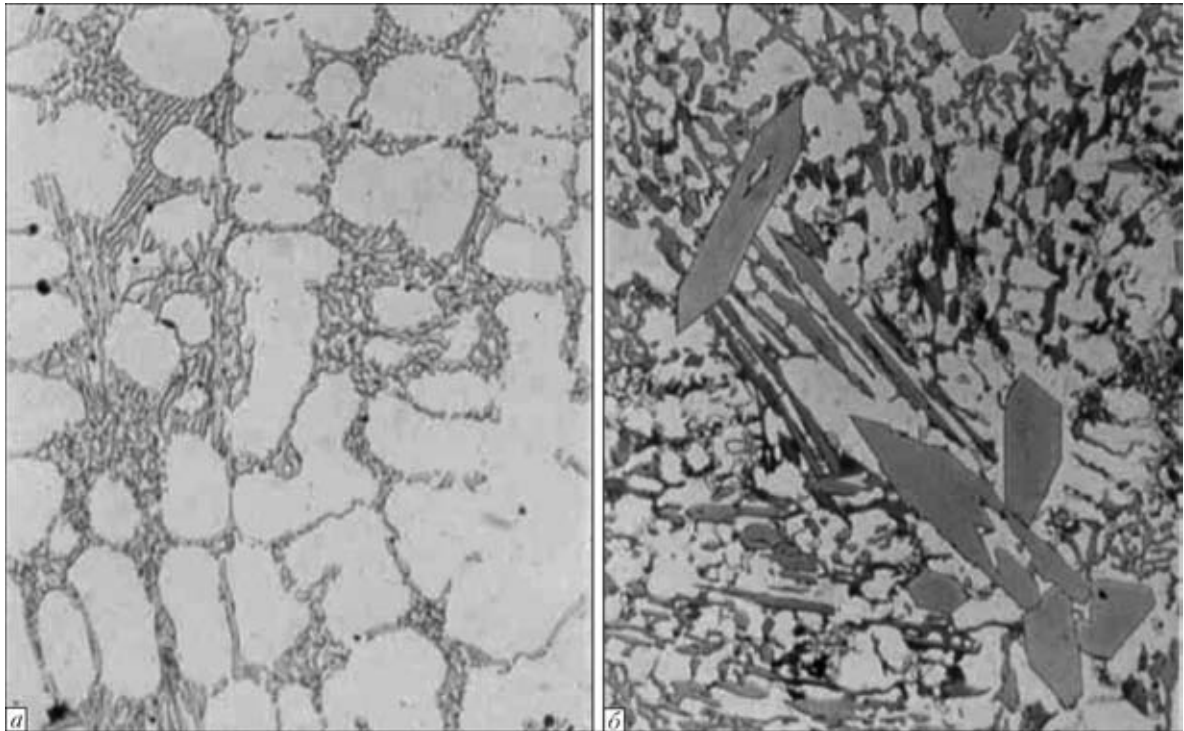


Рис. 1. Микроструктура кобальтовых сплавов: *а* — доэвтектического (с дендритами твердого раствора Co–Cr белого цвета); *б* — заэвтектического (с удлиненными крупными карбидными частицами M_7C_3)

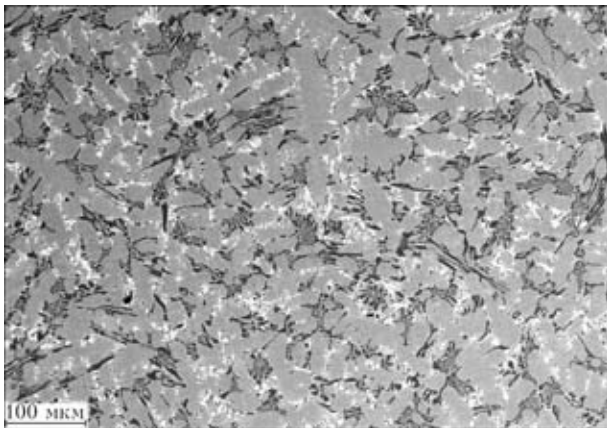


Рис. 2. Микроструктура сплава Stellite 712 (темные участки — карбидные частицы, насыщенные хромом, белые — молибденом)

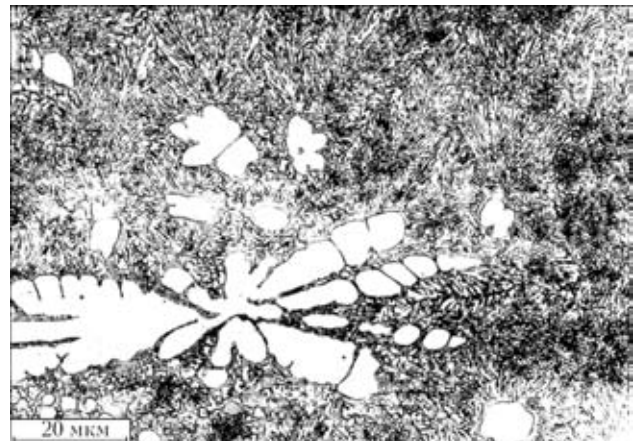


Рис. 3. Микроструктура кобальтового сплава II типа (Triballoy T-900)

В табл. 2 показана коррозионная стойкость сплавов, содержащих вольфрам или молибден, в различных кислотах. Видно, что молибденсодержащие сплавы обладают лучшей стойкостью к коррозии, чем вольфрамсодержащие сплавы в восстановительных кислотах.

Таблица 2. Коррозионная стойкость сплавов I типа в кислотах

Тип легированного сплава	Раствор кислоты		
	5%-й HCl, 20 °C	10%-й HCl, 20 °C	10%-й H ₂ SO ₄ , 66 °C
29Cr–4,5W–1,2C	2,40	3,00	43,0
29Cr–4,5Mo–1,2C	1,00	0,33	9,7
32Cr–12W–2,4C	0,78	1,20	25,0
32Cr–12Mo–2,4C	0	0,23	0

Интерметаллидные сплавы (II тип). В 1970-х годах были разработаны сплавы, отличающиеся не только сопротивлением износу, но и стойкостью к химической коррозии. Эти сплавы содержат большое количество молибдена и кремния. Последние способствуют образованию интерметаллидной фазы, называемой фазой Лавеса, которая находится в пределах стехиометрических границ Co_3Mo_2Si и $CoMoSi$ [4], имеющих кристаллическую структуру A_2B . На рис. 3 показана типичная микроструктура сплава II типа. Фаза Лавеса проявляется здесь в виде цветка. Ее наличие обеспечивает сплавам II типа высокие значения твердости и стойкость к высоким температурам. Как показано на рис. 4, при повышении температуры твердость сплавов II типа остается на более высоком уровне, чем сплавов I типа. В условиях высоких температур в промышленности это свойство используется для решения

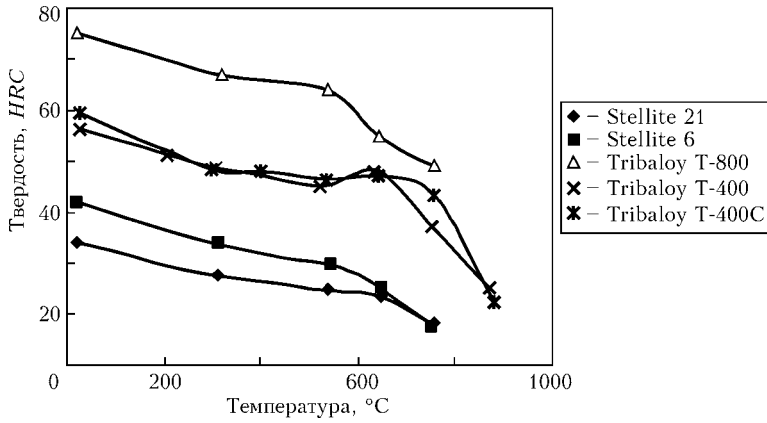


Рис. 4. Зависимость твердости кобальтовых сплавов I и II типов от температуры

Таблица 3. Кобальтовые сплавы II типа

Сплав	Тип легирования	Твердость, HRC
Tribaloy® T-400	28Mo-9Cr-2,6Si-0,04C	55
Tribaloy T-400C	27Mo-14Cr-2,6Si-0,08C	55
Tribaloy T-800	28Mo-17Cr-3,4Si-0,04C	58
Tribaloy T-900	23Mo-17Cr-16Ni-2,7Si-0,04C	54

Примечание: Tribaloy® – зарегистрированная торговая марка компании «Deloro Stellite Holdings Inc.».

Таблица 4. Кобальтовые сплавы III типа

Сплав	Тип легирования	Твердость, HRC
Stellite 21	28Cr-5Mo-0,25C	28
Ultimet®	25Cr-9Ni-5Mo-2W-0,05C	27

Примечание. Зарегистрированная торговая марка международной компании «Научес».

проблем, связанных с износом. В табл. 3 представлены предлагаемые для использования в промышленности сплавы II типа. Известно, что фаза Лавеса отличается хрупкостью, поэтому при использовании сплавов II типа следует проявлять осторожность. Например, необходим существенный нагрев перед наплавкой швов. Недавно разработан и запатентован сплав Tribaloy T-401 с доэвтектической микроструктурой фаз Лавеса, рекомендуемый для сварки на больших поверхностях без образования трещин.

Сплавы со структурой твердого раствора (III тип). Эти сплавы в основном являются вариантом сплавов I типа с низким содержанием углерода. Поскольку осаждение частиц карбида минимально, их свойства в большей степени зависят от матрицы, чем свойства сплавов I типа. В процессе затвер-

девания в кобальте, как известно, происходит фазовое превращение γ -фазы с гранецентрированной кубической структурой в ϵ -фазу с гексагональной плотноупакованной структурой. Однако кинетические процессы этого преобразования протекают медленно. При комнатной температуре это приводит к образованию в кобальтовых сплавах преимущественно фаз с гранецентрированной кубической структурой, особенно в наплавленных слоях. При наличии напряжения фазы с гранецентрированной кубической структурой имеют тенденцию преобразовываться в фазы с гексагональной плотноупакованной структурой [5]. Такое

преобразование поглощает энергию напряжений и повышает износостойкость. Известно, что в сплавах III типа происходит значительное деформационное упрочнение. Например, твердость Stellite 21 при деформации можно повысить от HRC 28 до HRC 45. Это свойство приобретает особое значение в случаях, когда возможно возникновение кавитационной эрозии.

Благодаря низкому содержанию карбидных выделений коррозионная стойкость сплава III типа в целом хорошая (образование карбидов приводит к уменьшению в матрице количества хрома и молибдена).

Известны два промышленных сплава III типа (табл. 4). На стадии разработки находятся сплавы специального применения.

Наплавочные материалы и способы наплавки.

Существует много способов нанесения кобальтовых сплавов на металлическую поверхность для защиты от износа и коррозии. В табл. 5 перечислены наплавочные материалы и способы наплавки. Для нанесения кобальтовых сплавов могут использоваться многие традиционные, а также более современные способы сварки. В настоящее время при производстве промышленных клапанов и ножей, клапанов двигателей, шнеков для пластичной формовки и защитных плит широко применяют твердую наплавку плазменной дугой прямого действия стеллитным порошком. Последними тенденциями применения этого способа наплавки являются ручная и роботизированная твердая наплавка стеклянных изложниц и лопастей газовых турбин порошками стеллита I типа малого размера.

Необходимо отметить, что микроструктура и, следовательно, свойства металла наплавленных слоев часто зависят от способов их нанесения [6]. При этом растворение в подложке наплавленных

Таблица 5. Наплавочные материалы и способы их применения

Наплавочные материалы	Способы применения
Проволока (сплошная или порошковая)	МИГ, ТИГ, под флюсом, открытой дугой
Порошок	Плазменная дуга прямого действия, лазерное плакирование, сварка с применением порошкового присадочного материала, плакирование горячим изостатическим прессованием, высокоскоростное газопламенное термическое напыление, плазменное напыление, газопламенное напыление
Литой пруток	ТИГ, газовая сварка, контактная сварка
Покрытый электрод	Ручная сварка МИГ

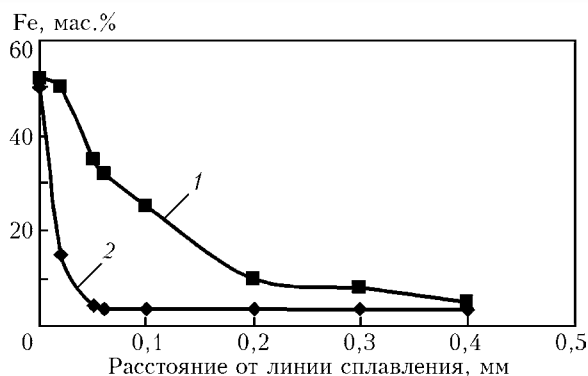


Рис. 5. Распределение железа в металле наплавленных слоев в зависимости от расстояния от линии сплавления при сварке ТИГ (1) и плазменной сварке (2)

слоев также оказывает значительное влияние на их свойства. В результате применения различных способов сварки наблюдается существенная разница в доле растворения металла наплавленных слоев в металле подложки. Например, на рис. 5 показано, что в слоях Stellite 12, наплавленных плазменной дугой прямого действия, растворение железа ограничивается до 0,06 мм от линии сплавления, тогда как в слоях, наплавленных сваркой ТИГ прутком диаметром 3,2 мм, происходило растворение железа даже на расстоянии 0,4 мм от линии сплавления.

Увеличение углерода в наплавленном металле при наплавке науглероживающим пламенем ацетилено-кислородной горелки может вызвать изменение его первоначального химического состава. В результате высоких скоростей охлаждения при лазерном плакировании кобальтовые сплавы могут приобретать различные дополнительные свойства [7].

Микроструктура кобальтовых сплавов, нанесенных высокоскоростным газопламенным термическим напылением, отличается от микроструктуры наплавленных слоев (рис. 6). Покрытия состоят из резкоохлажденных брызг и оксидных включений, которые могут влиять на свойства покрытий.

Промышленное применение кобальтовых сплавов. Традиционные сплавы I типа широко используются в случаях, когда не применяют смазку. Например, широко распространена твердая наплавка

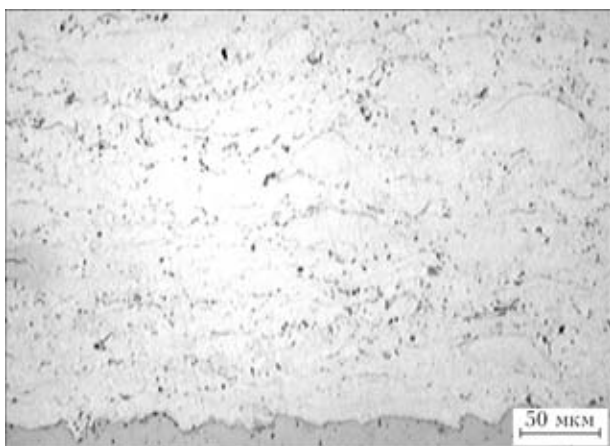


Рис. 6. Микроструктура покрытия из сплава Stellite 6, напыленного высокоскоростным газопламенным термическим напылением (система Jet Kote® — зарегистрированная торговая марка компании «Deloro Stellite Holdings Inc.»)



Рис. 7. Клапан дизельного двигателя с твердым слоем сплава I типа, наплавленного плазменной дугой прямого действия

на кромку клапанов дизельных двигателей из Stellite 6, F или 12 (рис. 7).

При химической обработке широко используют наплавку сплава I типа на кромки или седло клапана с целью продления срока службы (рис. 8). На опорную поверхность трехшарошечного бурового долота, используемого для бурения нефтяных скважин, обычно наплавляют слой сплава Stellite 190 (заэвтектический сплав I типа). Другие детали для бурения часто изготавливают с наплавленным твердым слоем сплава I типа, например поршень (рис. 9). Сплавы стеллит уже давно нашли широкое применение на нефтеперерабатывающих заводах [8].

При резке древесины различные сплавы I типа могут использоваться для нанесения на край полотна пилы, чтобы сохранить сопротивление зубьев износу, а также их стойкость к коррозии, вызываемой древесными соками. На рис. 10 показана наплавленная на полотно пилы режущая кромка из сплава Stellite 12. В последние годы разработаны новые сплавы стеллит с целью дальнейшего улучшения эксплуатационных характеристик наплавленных изделий [9].

В газовых турбинах для авиакосмической промышленности или энергетики обычно используют проволоку из сплава Stellite 694 для наплавки твердого слоя на Z-образные прорези в верхней части лопатки турбины с целью ее защиты от коррозии при трении. Поскольку расчетная тем-

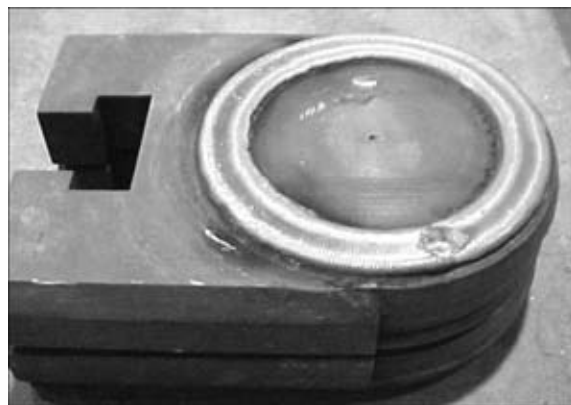


Рис. 8. Седло клапана, наплавленного плазменной дугой прямого действия сплавом стеллит



Рис. 9. Поршень для бурения нефтяных скважин, наплавленный плазменной дугой прямого действия сплавом Stellite 712

пература для наземных турбин увеличивается, при выборе сплава предпочтение отдается сплавам II типа. Последние часто используются в случае, если рабочая температура слишком высока для сплавов I типа (например, клапаны дизельных двигателей и выхлопные клапаны в автомобилях). Некоторые нефтехимические процессы также требуют использования изделий с наплавленным металлом, соответствующим сплавам II типа. Обнаружено, что такие сплавы отличаются стойкостью к условиям работы ванн горячего цинкования (непрерывное погружение стальных листов в горячий расплав цинка с небольшим количеством алюминия). Это свойство оказывается полезным для наплавки твердого слоя на подшипники направляющих и стабилизирующих валков при непрерывном цинковании. Еще одной областью, где возможно использование сплава II типа, является горячая обработка металлов.

Сплавы III типа применяются для наплавки твердого сплава на лопатки гидротурбин, чтобы свести к минимуму кавитационную эрозию. Они могут также использоваться для наплавки на клапаны, где относительное движение пары трения представляет собой преимущественно сжатие, а не скольжение. Превосходная стойкость к коррозии в соленой воде делает эти сплавы наиболее подходящими для условий работы в морской среде. Один из сплавов III типа (Stellite 21) уже много лет используется для наплавки твердого слоя на штампы для горячейковки благодаря его хорошим эксплуатационным свойствам.

В заключение отметим, что кобальтовые сплавы для наплавки могут быть разделены на три типа в зависимости от их микроструктуры: сплавы I типа имеют микроструктуру осажденных карбидных частиц, насыщенных хромом, которые способствуют сопротивлению износу. Вольфрам и молибден

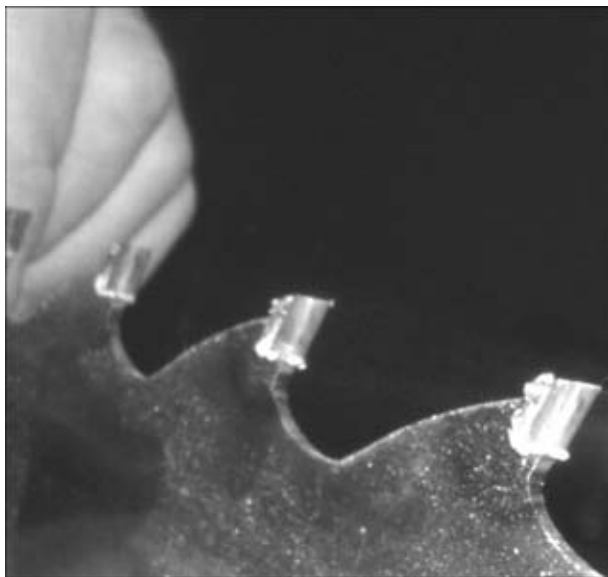


Рис. 10. Зубцы полотна пилы, наплавленные сплавом стеллит I типа

обычно образуют карбиды иного типа. Сплавы II типа содержат интерметаллидные фазы, которые отличаются стойкостью к высоким температурам. Сплавы III типа отличаются высоким деформационным упрочнением и превосходной коррозионной стойкостью.

1. *Riddiough M.* The role of cobalt in industrial hardfacing // J. Internationales des Applications du Cobalt. — Bruxelles, 1964.
2. *Wu J. B. C., Redman J. E.* Hardfacing with Cobalt and Nickel Alloys // Welding J. — 1994. — № 9. — P. 63–68.
3. *Klarstrom D., Crook P., Wu J.* Metallography and microstructures of cobalt and cobalt alloys // ASM Metals Handbook. — 2004. — Vol. 9.
4. *Halstead A., Rawlings R. D.* Structure and hardness of Co–Mo–Cr–Si wear resistant alloys (Triballoys) // Metal Science. — 1984. — **18**, № 10. — P. 491–500.
5. *Antony K. C., Silence W. L.* The effect of composition and microstructure on cavitation and erosion resistance / 5th Intern. conf. on erosion and solid and liquid impact // Cambridge, England, Sept. 1979. — P. 67.
6. *Cassina J. C., Machado I. G.* Low-stress sliding abrasion resistance of cobalt-based surfacing deposits welded with different processes // Welding J. — 1992. — № 4. — P. 133s–137s.
7. *De Mol Van Otterloo J. L., De Hosson J. Th. M.* Microstructural features and mechanical properties of a cobalt-based laser coating // Acta Mater. — **45**, № 3. — P. 1225–1236.
8. *Locke J. J.* Cobalt alloy overlays in a petro-chemical refinery // Cobalt. — 1974. — P. 25–31.
9. *Pat. 6479014 US.* Saw blade tips and alloys therefor / J. B. C. Wu, D. Raghu, B. McKee. — Оpubл. 01.12.2002.

Peculiarities of structure and properties of wear- and corrosion-resistant hard-facing cobalt-base alloys with a different type of strengthening are considered. Methods for application of these alloys to parts are briefly described. Examples of commercial application of the alloys are given.

Поступила в редакцию 01.09.2004

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЛАВОВ НА БАЗЕ ЛИТЫХ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА

А. И. СОМ, канд. техн. наук (Фирма «Плазма-мастер, Лтд.», г. Киев)

Исследована зависимость износостойкости наплавленного металла от количества и формы армирующих частиц релита, способа их ввода в сварочную ванну, а также от типа матрицы. Показано, что наилучшее сочетание служебных и технологических свойств в наплавленном металле достигается при содержании в нем релита около 50 об. %.

Ключевые слова: плазменная наплавка, присадочный порошок, сферический релит, матрица, износостойкость, распределение карбидов, твердость, наплавочное оборудование

Для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, наиболее эффективными являются композиционные сплавы на основе литых карбидов вольфрама (далее релит) [1, 2]. Несмотря на высокую стоимость они нередко незаменимы, особенно в горноруднодобывающей отрасли. Композиционные сплавы успешно применяются для наплавки таких деталей, как замки буровых труб, шарошки буровых долот, зубья ковшевых экскаваторов и др. [3–5]. Срок службы деталей, наплавленных этими сплавами, в несколько раз выше, чем у наплавленных заэвтектическими сплавами типа высокохромистые чугуны.

В этой связи поиск эффективных способов наплавки композиционных сплавов, обеспечивающих наилучшее сочетание служебных свойств наплавленного металла, является весьма актуальным. Среди известных технологических процессов, применяемых для наплавки композиционных сплавов, следует выделить плазменно-порошковую наплавку (PTA-surfacing) [6].

Настоящая работа посвящена исследованию износостойкости наплавленного металла в зависимости от количества и формы армирующих частиц релита, способа их ввода в сварочную ванну, а также от типа сплава-связки (матрицы).

В экспериментах в качестве сплава-связки использовали порошки из сплавов на основе никеля и железа (табл. 1). Фракция порошков составляла 56...200 мкм. Выбор этих сплавов неслучайный. Самофлюсующиеся сплавы на основе никеля широко применяют для наплавки композиционных

материалов. Они характеризуются сравнительно низкой температурой плавления (1000...1100 °С), хорошей смачиваемостью зерен релита и достаточной износостойкостью. Для наших экспериментов выбраны сплавы, которые существенно отличаются друг от друга твердостью и пластичностью.

Сплав на основе железа указанного химического состава для этих целей предложен впервые. Он относится к классу высокованадиевых чугунов и сочетает в себе высокую износостойкость с пластичностью, необходимой для обеспечения сопротивления рабочего слоя ударным нагрузкам. Кроме того, он значительно дешевле сплавов на основе никеля.

В качестве армирующих материалов использовали порошки дробленого и сферического релита производства соответственно завода «Торезтвердосплав» и ИЭС им. Е. О. Патона. Размеры частиц этих порошков — 100...300 мкм.

Наплавку выполняли на образцах размером 60×100×20 мм из стали 20 плазматроном РР-6-02 на оборудовании фирмы «Плазма-мастер, Лтд.» (г. Киев). Сечение наплавленных валиков составляло 28×5 мм, производительность наплавки — 5 кг/ч.

Подачу матричного и армирующего порошков осуществляли двумя способами — в виде смеси и отдельно. В первом случае, чтобы исключить сепарацию, порошки смешивали путем слияния двух потоков, подаваемых из отдельных питателей непосредственно перед вводом в плазматрон; во втором — порошок матричного сплава подавали в дугу через фокусирующее сопло плазматрона в виде распределенного потока, а релит — непосредственно в сварочную ванну по специальному каналу (рис. 1). Такой способ подачи частиц релита

Таблица 1. Химический состав сплавов, использованных в качестве металла-связки

Тип сплава (матрица)	Содержание элементов, мас. %									Твердость
	C	Si	B	Ni	Fe	V	Mo	Cr	Cu	
Ni-Cr-Si-B	0,50	2,6	2,2	Основа	2,1	—	—	13,5	—	HRC 40
Ni-Cu-Si-B	0,15	1,1	1,0	То же	1,8	—	—	—	42,5	HB 200
Fe-Cr-V-Mo-C	2,20	0,6	—	2,7	Основа	7,8	2,5	18,2	—	HRC 44

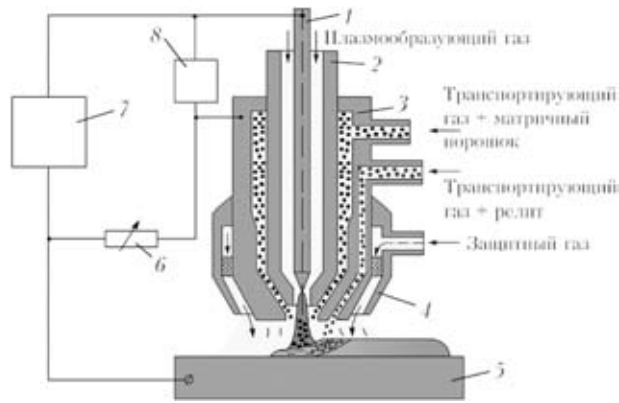


Рис. 1. Схема плазменно-порошковой наплавки композиционных сплавов с раздельной подачей матричного и армирующего материалов: 1 – электрод; 2, 3 – соответственно плазменное и фокусирующее сопло; 4 – защитное сопло; 5 – деталь; 6 – балластный реостат; 7 – источник питания; 8 – осциллятор

та в сварочную ванну максимально уменьшает тепловое воздействие на них дуги, предохраняя их тем самым от растворения. Особенно это важно при использовании в качестве матрицы сплавов на основе железа [2, 3].

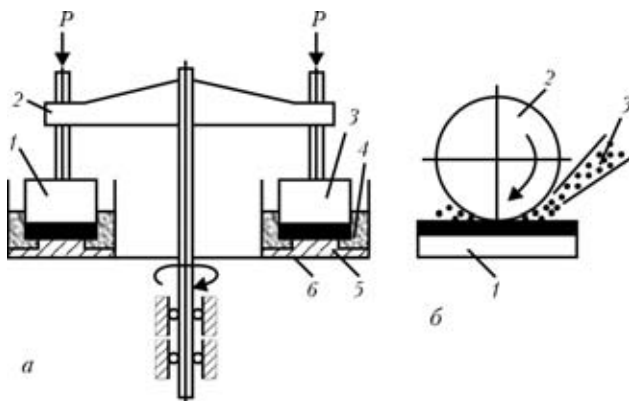


Рис. 2. Схема испытаний образцов на износостойкость по разным методикам: а – НК (1 – испытуемый образец; 2 – вращающаяся траверса; 3 – эталон; 4 – вода с абразивом; 5 – медное кольцо; 6 – сосуд); б – G-65 (1 – испытуемый образец; 2 – вращающийся резиновый диск; 3 – сухой кварцевый песок)

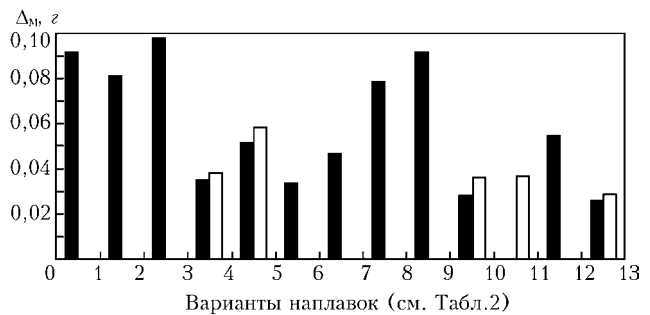


Рис. 3. Диаграмма износостойкости различных вариантов наплавки при испытаниях по методикам НК (■) и G-65 (□): Δ_m – потеря массы образцов

В табл. 2 представлены все опробованные варианты наплавки. Раздельный способ подачи использовали преимущественно для сферического релита как наиболее перспективного материала для этого способа.

Из наплавленных пластин вырезали образцы размером 16×6×16 мм для испытаний на износостойкость по методике НК («неподвижное кольцо») [7] и размером 76×25×12 мм для испытаний на износостойкость по стандартной методике ASTM G-65 (сухой песок–резиновый диск). Эти же образцы использовали также для металлографических исследований. Верхнюю часть слоя наплавленного металла шлифовывали до уровня, при котором зерна релита располагались относительно равномерно по сечению валика.

Первый тип образцов испытывали в ИЭС им. Е. О. Патона, второй – в исследовательской лаборатории Alberta Research Council Inc. (г. Эдмонтон, Канада). Во втором случае испытанию подвергали те варианты наплавки, в которых наблюдали наилучшее распределение карбидов. Данная методика предусматривает два этапа испытаний: первый – приработка (6000 оборотов резинового диска); второй – зачетный (6000 оборотов по приработанной поверхности). Схемы испытаний образцов представлены на рис. 2, результаты испытаний – на рис. 3.

Таблица 2. Варианты выполненных наплавки и оценка износостойкости

№ варианта наплавки	Тип сплава (матрицы)	Объемная доля релита, %	Способ подачи порошков		Форма частиц релита		Наличие трещин	Потеря массы образцов при испытаниях, г	
			Смесь	Раздельный	Сферическая	Осколочная		НК	G-65
1	Ni-Cu-Si-B	40	X		X		+	0,092	–
2	Тот же	40	X			X	+	0,081	–
3	»»	40		X	X		+	0,098	–
4	»»	50	X		X		–	0,035	0,038
5	»»	50	X			X	–	0,052	0,059
6	»»	50		X	X		+	0,034	–
7	»»	50		X		X	+	0,046	–
8	»»	60	X		X		+	0,079	–
9	»»	60	X			X	+	0,092	–
10	»»	55		X	X		–	0,028	0,036
11	Ni-Cu-Si-B	55		X	X		–	–	0,037
12	Fe-Cr-V-Mo-C	50	X		X		+	0,055	–
13	Тот же	55		X	X		–	0,026	0,029

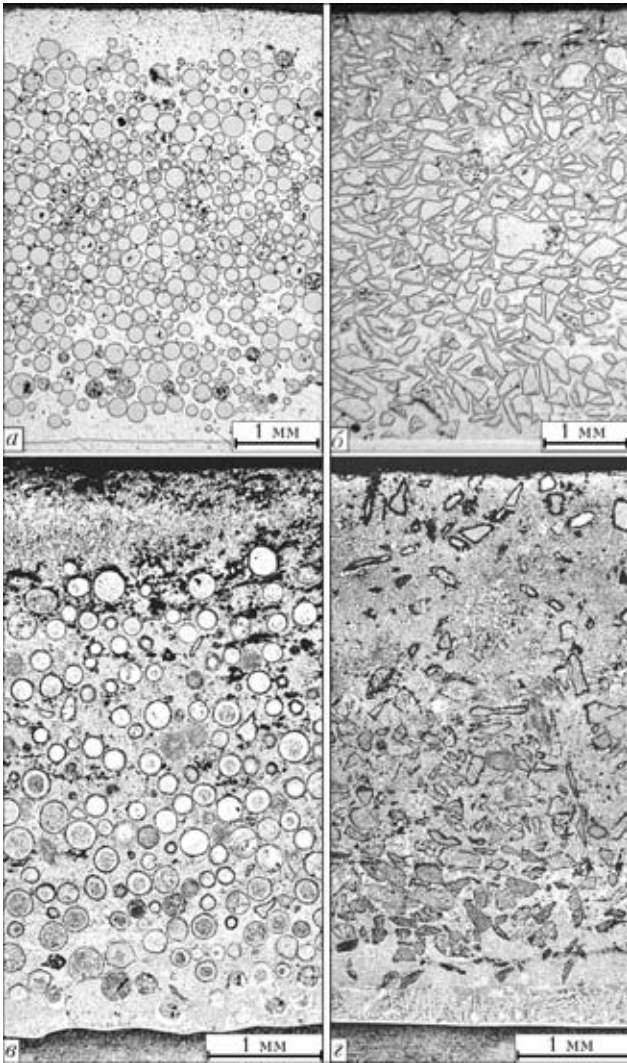


Рис. 4. Распределение сферического (а, в) и дробленого (б, з) релита в наплавленном металле при содержании его в смесях 50 об. % (а, б) и 60 об. % (в, з) (матрица — сплав Ni-Cr-Si-B)

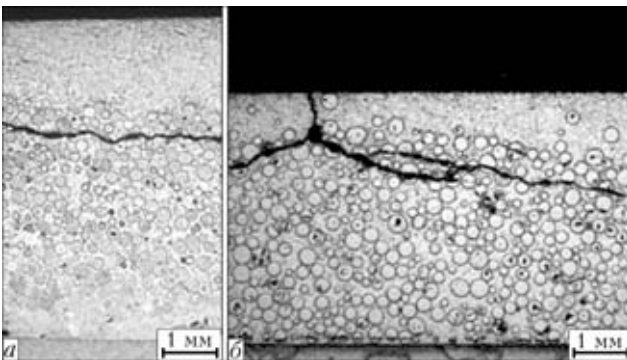


Рис. 5. Расположение трещин в слое металла с неполным заполнением релитом, наплавленном смесью (а) и с раздельной подачей порошков (б)

Обсуждение результатов. *Наплавка смесью порошков.* Наилучшие результаты достигнуты при содержании релита в смеси около 50 об. % (варианты наплавки 4, 5). Это относится как к сферическому, так и дробленому релиту независимо от типа матрицы. При этом имеет место хорошее формирование валиков и равномерное распределение частиц релита по его сечению (рис. 4, а, б), что в свою очередь обеспечивает максимальную

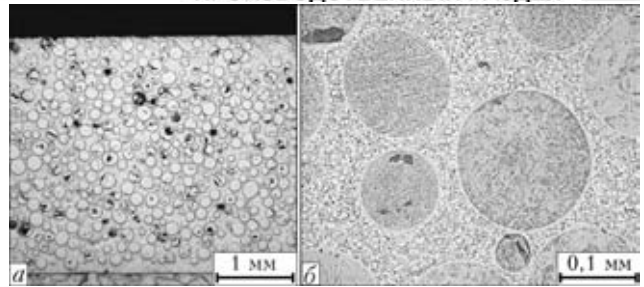


Рис. 6. Расположение зерен релита в матрице на основе железа при раздельной подаче порошков: а, $\times 20$; б, $\times 100$

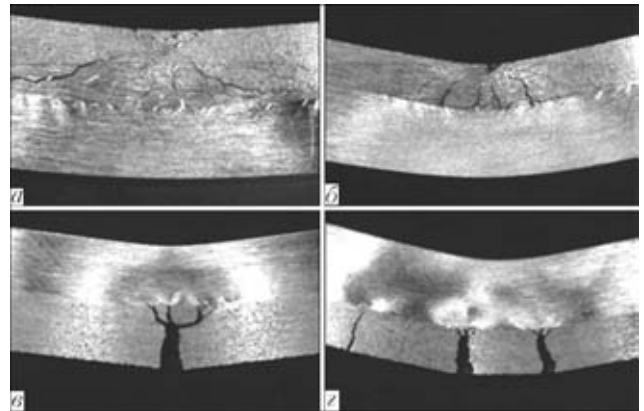


Рис. 7. Испытания образцов на изгиб, наплавленных с раздельной подачей сферического релита: а, в — матрица Ni-Cr-Si-B; б, г — матрица Fe-Cr-V-Mo-C



Рис. 8. Установка для плазменно-порошковой наплавки с раздельной подачей порошков ПМ-300С

износостойкость наплавленного металла (см. рис. 3). Если объемная доля релита в смеси больше, чем 50 об. % (варианты 8, 9), то для хорошего формирования валика необходимо существенно (на 40...50 %) увеличивать ток наплавки, а значит, и тепловложение в деталь. Это вызвано недостаточным количеством легкоплавкой составляющей в смеси порошков (сплава-связки), что приводит к заметному растворению частиц, охрупчиванию матрицы и, как следствие, к снижению износостойкости наплавленного металла (см. рис. 3). В наплавленном металле остается не более 30 об. %

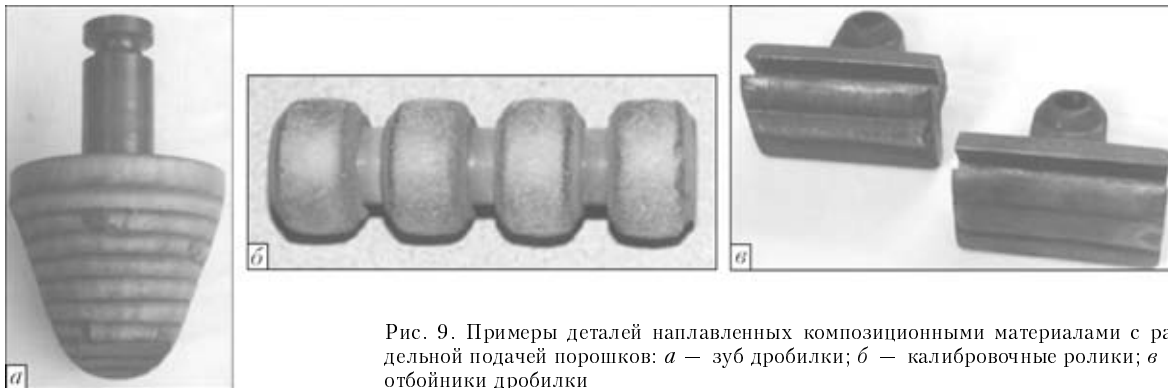


Рис. 9. Примеры деталей наплавленных композиционными материалами с раздельной подачей порошков: а — зуб дробилки; б — калибровочные ролики; в — отбойники дробилки

сферического (рис. 4, в) и не более 25 об. % дробленого релита (рис. 4, г).

В случае содержания релита в смеси менее 50 об. % (варианты 1, 2) он весь располагается в нижней части слоя наплавленного металла, оставив незаполненной его верхнюю часть. Естественно, износостойкость последней несмотря на дополнительное легирование углеродом и вольфрамом остается низкой (см. рис. 3). Результаты исследований распределения микротвердости матрицы по высоте слоя наплавленного металла и микрорентгеноспектрального анализа показали, что во всех случаях, хотя и в разной степени, имеет место растворение карбидов, причем оно более заметно в верхней части слоя наплавленного металла, а именно, в зоне действия плазменной дуги. Даже в вариантах наплавки 4 и 5 с 50 об. % релита микротвердость твердого раствора матрицы за счет легирования ее углеродом и вольфрамом возрастает от HV_{01} 366 Па (у линии сплавления) до HV_{01} 727 Па (в верхней ее части).

Микротвердость хорошо сохранившихся частиц сферического и дробленого релита в сплаве примерно одинакова и составляет, по данным, полученным в Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Германия), HV_{01} 3900...3991 Па, а микротвердость полурастворившихся частиц находится в пределах HV_{01} 2500...2650 Па.

Во всех исследованных вариантах наплавки присутствовали микротрещины в наплавленном металле. Наименьшее их количество наблюдали в вариантах 4 и 5, а наибольшее в вариантах 8, 9 и 12. В вариантах 1 и 2, где верхняя часть валиков не заполнена релитом, трещины располагались вдоль границы раздела слоев (рис. 5, а). При использовании сферического релита из-за высоких внутренних напряжений имели место также отколы наплавленного металла.

Наплавка с раздельной подачей порошков. Растворение релита при раздельной подаче матричного и армирующего материалов минимальное, даже в случае матрицы на основе железа (вариант 13, рис. 6, а). Это подтверждается данными микрорентгеноспектрального анализа и замерами микротвердости матриц. Микротвердость твердого раствора матрицы системы Ni-Cr-Si-B составляла HV_{01} 360...420, а системы Fe-Cr-V-Mo-C — HV_{01} 540...640. Валики имели хорошее формирование, трещины в слое наплавленного металла в большинстве случаев отсутствовали. Они появ-

лялись, как и при наплавке смесью, в тех случаях, когда имело место частичное заполнение объема валика карбидами (вариант 3, рис. 6, б).

Значение износостойкости наплавленного металла с матрицей системы Ni-Cr-Si-B при равномерном заполнении его релитом (вариант 10) немного выше того, которое получили при наплавке смесью (см. рис. 3). Износостойкость также выше и в случае использования более мягкой никелевой матрицы системы Ni-Cu-Si-B (вариант 11). Очевидно, твердость матрицы незначительно влияет на общую износостойкость слоя наплавленного металла, а это значит, что превалирующую роль при этих условиях изнашивания играют карбиды вольфрама. Нужно также отметить отсутствие трещин в слое наплавленного металла при использовании порошка системы Ni-Cu-Si-B, что делает его весьма перспективным материалом для этих целей.

При использовании в качестве матрицы сплава на основе железа, наплавленный металл имеет еще более высокую износостойкость (вариант 13, рис. 3). Однако следует отметить, что при наплавке с раздельной подачей порошков увеличиваются потери релита вследствие того, что часть его не попадает в сварочную ванну. Чтобы добиться равномерного заполнения слоя наплавленного металла релитом, нужно компенсировать потери релита увеличением его подачи по отношению к матричному порошку на 5...8 %.

В основном износостойкость композиционных слоев металла со сферическим релитом при прочих равных условиях значительно выше, чем с дробленым, вопреки выводам работы [8]. Сферический релит меньше растворяется в сварочной ванне и очень удобен для плазменно-порошковой наплавки, поскольку имеет более высокую текучесть и не влияет изнашивание оборудования.

Испытания наплавленных образцов на изгиб с приложением нагрузки как со стороны наплавленного (рис. 7, а, б), так и со стороны основного металлов (рис. 7, в, г) показали, что слой наплавленного металла имеет хорошую адгезию к основному металлу и не отслаивается. Это справедливо как для матрицы на основе никеля, так и на основе железа.

На рис. 8 приведено оборудование для плазменно-порошковой наплавки композиционными сплавами, а на рис. 9 показаны детали, наплавленные указанными материалами с раздельной подачей порошков.

Выводы

1. Наилучшее сочетание служебных и технологических свойств металла как при наплавки смесью, так при раздельной подаче порошков достигается при содержании в нем релита около 50 об. %.

2. В случае раздельной подачи порошков растворимость сферического и дробленого релитов ниже, чем при наплавке смесью.

3. При наплавке смесью порошков для избежания трещин и отколов наплавленного металла следует применять более пластичную и более нейтральную к растворению карбидов матрицу, например сплав системы легирования Ni-Cu-Si-W.

4. В случае раздельной подачи матричного и армирующего порошков можно успешно применять в качестве матрицы сплавы на основе железа.

Автор выражает благодарность кандидату технических наук М. Юмштыку за помощь в проведении испытаний образцов в Канаде.

1. *Особенности* газообразного износа композиционных сплавов / Ю. А. Юзвенко, А. П. Жудра, Е. И. Фруммин, В. А. Гавриш // Автомат. сварка. — 1972. — № 8. — С. 35–35.

2. *Жудра А. П., Белый А. И.* Новые композиционные сплавы и результаты исследования их свойств // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 151–157.
3. *Ткаченко М. Е., Подугольников А. И.* Разработка и промышленное внедрение композиционного сплава на основе релита для армирования шарошек буровых долот // Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. — С. 17–20.
4. *Наплавка и армирование зубьев ковшей экскаваторов износостойким композиционным сплавом* / Д. А. Дудко, И. В. Нетеса, П. В. Мазненко, В. И. Зеленин // Свароч. пр-во. — 1977. — № 6. — С. 16–18.
5. *Эффективность наплавки композиционными сплавами деталей, работающих в резиновых смесях* / Д. А. Дудко, Б. И. Максимова, И. В. Нетеса и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 4. — С. 71.
6. *Boaifi V., Reichmann B.* New areas of application through the development of the high-productivity plasma-arc powder surfacing process // Welding and Cutting. — 1998. — 50, № 12. — P. 236e–237e.
7. *Юзвенко Ю. А., Гавриш В. А., Марьенко В. Ю.* Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 23–27.
8. *Plasma transferred arc overlays reduce operating costs in oil sand processing* / D. Harper, M. Gill, K. W. D Hart, M. Anderson // YTSC 2002. Intern. spray conf., Essen, Germany, May 2002. — Essen, 2002. — P. 278–283.

Wear resistance of deposited metal depending upon the quantity and shape of the reinforcing tungsten carbide particles, methods for their addition to the weld pool and type of matrix has been investigated. It is shown that the best combination of service and technological properties of the deposited metal are achieved at its carbide content of about 50 vol. %.

Поступила в редакцию 15.09.2004

Научно-производственный центр «Титан» ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

Сплавы на основе титана благодаря высокой удельной прочности и другим уникальным свойствам нашли широкое применение в аэрокосмической технике, самолетостроении, судостроении, химическом машиностроении, энергетике и других областях промышленности. Основным сырьем для изготовления титановых сплавов является губчатый титан, который производится на Запорожском титано-магниево-комбинате из ильменитовых руд. Украина занимает третье место в мире по запасам этих руд, причем самого высокого качества.

Для разработок сплавов на основе титана, оборудования и технологий их получения из губчатого титана в 1996 г. в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины был создан Научно-производственный центр «Титан». Производство слитков осуществляется методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) на отечественном оборудовании производительностью 3000 т в год. При этом впервые в мире:

- ✓ способ ЭЛПЕ использован для получения высоколегированных сплавов титана;
- ✓ создана и внедрена в производство технология выплавки слитков из недробленных блоков губчатого титана;
- ✓ освоена выплавка полых слитков для производства крупногабаритных титановых труб;
- ✓ созданы оборудование и технология оплавления боковой поверхности слитков, успешно применяемые вместо их механической обработки.

В настоящее время Научно-производственным центром «Титан» ИЭС им. Е.О. Патона установлены кооперационные связи со специализированными предприятиями Украины, что позволяет производить различный сортамент полуфабрикатов из титана (поковки, прутки, трубы) как для нужд промышленности Украины, так и на экспорт.

НПЦ «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
03028, ул. Ракетная, 26, Киев, Украина
Тел.: (38044) 264-9543
Факс: (38044) 264-1096



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С. В. ГУЛАКОВ, В. В. ЧИГАРЕВ, доктора техн. наук, **В. П. ИВАНОВ, И. С. ПСАРЕВА, О. А. ЛАВРЕНТИК**, инженеры
(Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрены пути улучшения качества наплавляемого слоя посредством формирования рабочей поверхности слоями переменного химического состава и сложной формы. Последние увеличивают технологические возможности процесса, расширяют сферу применения наплавленных изделий, придают им новый комплекс служебных свойств.

Ключевые слова: наплавка, рабочий слой, химический состав, сварочная ванна, оборудование, технология

При различных способах наплавки повышения эксплуатационных характеристик наплавляемого рабочего слоя достигают, как правило, путем соответствующего выбора и оптимизации химического состава электродных или присадочных материалов и использования последующей (в случае необходимости) термической обработки.

В Приазовском государственном техническом университете и других организациях в течение ряда лет ведутся работы по разработке новых путей повышения экономических и эксплуатационных показателей наплавки. Наиболее перспективными из них являются следующие:

наплавка слоев с заданным распределением свойств в зависимости от интенсивности и видов изнашивания детали;

управление размерами и траекторией нанесения наплавляемых валиков на рабочую поверхность детали.

Поскольку большинство деталей изнашивается неравномерно, их наплавка слоем одинакового химического состава не дает таких результатов, как наплавка слоя с распределением химического состава и свойств в зависимости от интенсивности и видов изнашивания [1–6]. В процессе эксплуатации упрочненных таким образом изделий обеспечивается равномерный или регламентированный износ рабочей поверхности, что существенно повышает срок их службы и эксплуатационные характеристики, позволяет улучшить качество обрабатываемой ими продукции [7–9].

Управление легированием наплавленного металла — весьма сложная задача, корректное решение которой возможно только при получении полной информации о текущих параметрах сварочной ванны: ее размерах и форме, химическом составе, доле участия основного металла в наплавленном и пр. Поскольку осуществить прямые измерения этих параметров практически невозможно, решением проблемы реализации технологии наплавки рабочего слоя переменного химического состава является разработка различного рода моделей [3, 10–13], описывающих процессы легирования сварочной ванны и ее формирования, а

также создание автоматизированного оборудования для управления этими процессами на основе указанного моделирования.

Наиболее совершенные методики расчета и алгоритмы управления процессом формирования шва переменного химического состава описаны в работах [14–16], где учтены такие факторы, как влияние объема сварочной ванны на характер изменения химического состава шва, доля участия основного металла и предыдущего наплавленного слоя в легировании, ограничение возможностей легирования наплавленного металла при высоких градиентах изменения свойств и др. Они положены в основу систем автоматического регулирования процессом наплавки рабочего слоя переменного химического состава [17, 18].

С другой стороны, неуправляемая макро- и микрохимическая неоднородность наплавленного металла также может приводить к неравномерному износу деталей. Примером служит образование кольцевых трещин разгара в наплавленных прокатных валках, роликах МНЛЗ и других деталях, работающих в условиях переменных температур и давлений. Многие исследователи [19–21] связывают появление этих трещин с особенностями технологии и техники дуговой наплавки деталей по винтовой линии с перекрытием соседних валиков.

Кольцевые трещины разгара на наплавленных валках ухудшают качество проката. Кроме того, наплавленные детали могут разрушаться по этим дефектам.

Для устранения упомянутых недостатков и улучшения служебных характеристик наплавленного слоя предлагается применять технологические процессы дуговой наплавки со сложной траекторией перемещения электрода относительно наплавляемой поверхности. При этом во время наплавки электрод перемещается по сложной, заранее заданной траектории, формируя зигзагообразные, волнистые или взаимно пересекающиеся по определенному закону валики [22–25]. Взаимное пересечение наплавленных валиков, ориентация их под оптимальным углом к действию максимальных рабочих нагрузок позволяет обеспечить получение рабочей поверхности с высокими показателями из-

носо- и разгаростойкости, тем самым существенно снизить вредное влияние макро- и микронеоднородности наплавленного слоя [22, 26].

Иногда, например, при изготовлении валков заготовочных станов для улучшения захвата и повышения эффективности удаления с проката окалины необходимо наносить на их рабочую поверхность лунки определенной формы и расположения [27]. Эта операция отличается высокой трудоемкостью, поскольку лунки необходимо делать на поверхности, имеющей высокую твердость. Если для облегчения механической обработки применять материалы с низкой твердостью, то это отрицательно скажется на эксплуатационных характеристиках изделия.

Технологический процесс дуговой наплавки рабочего слоя валиками зигзагообразной формы (рис. 1) позволяет непосредственно в ходе наплавки сформировать на рабочей поверхности детали рельеф требуемого профиля без дополнительной механической обработки.

Если при наплавке тел вращения по винтовой линии зигзагообразными валиками с перекрытием соседних (смежных) валиков в момент выполнения очередного прямолинейного участка увеличить его длину на величину L (участки с измененной длиной на рис. 1, *a* условно выделены серым цветом) и далее наплавлять зигзагообразный шов с прежними параметрами колебаний (амплитудой и периодом) торца электрода, т. е. сместить ось колебаний вдоль образующей цилиндрической детали на $0,5L \cos \alpha$, то на наплавляемой поверхности сформируется ряд четырехугольных лунок, расположенных под одинаковым углом к образующей детали.

Уменьшив после нескольких полных оборотов детали длину прямолинейного участка относительно первоначальных размеров также на величину L , обеспечим формирование лунок, наклоненных под углом α относительно образующей детали, только в противоположную сторону относительно первого ряда лунок.

Количество полных оборотов детали, через которое необходимо смещать ось колебаний электрода, определяет площадь наплавленных участков между рядами лунок, т. е. частоту нанесения лунок в продольном направлении относительно образующей детали. Длина L изменения протяженности прямолинейного участка зигзагообразного шва определяет ширину лунки.

Аналогичного эффекта можно достичь, если при наплавке тел вращения по винтовой траектории зигзагообразным швом управлять амплитудой и периодом колебаний, периодически изменяя их при сохранении формы колебаний и их фазы (рис. 1, *б*).

Наплавка рабочего слоя швами сложной формы сопряжена с необходимостью управления перемещением электрода по определенной траектории с необходимой точностью. Для реализации указанной технологии требуется применение специализированного наплавочного оборудования, опти-

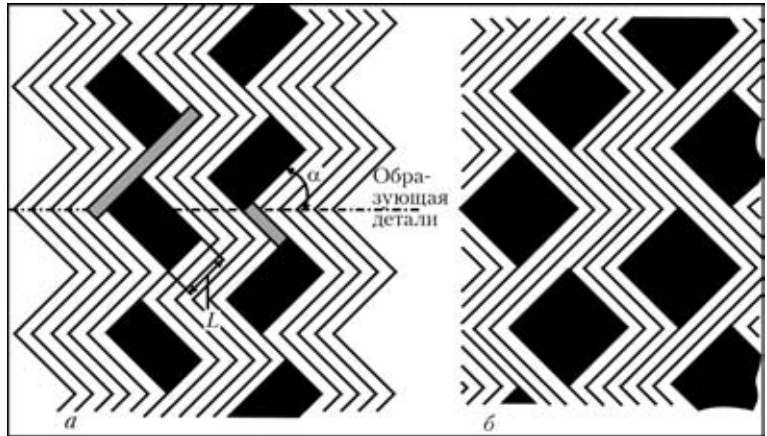


Рис. 1. Схемы (а, б) формирования лунок при наплавке рабочей поверхности швами зигзагообразной формы

мальных методик расчета конфигурации швов и выбора параметров их наплавки, а также системы автоматического регулирования этих параметров в соответствии с заданной программой.

В процессе проектирования технологии нанесения наплавленного слоя со сложной конфигурацией расположения наплавленных валиков необходимо учитывать и оптимизировать большое количество параметров. Например, при наплавке ленточным электродом в случае изменения траектории его перемещения, кроме прочих параметров, необходимо учитывать угол поворота ленты относительно вектора скорости наплавки и управлять им, поскольку от этого зависит удельное тепловложение и глубина проплавления, а также качество формирования валика и, как следствие, — работоспособность наплавленного металла (стойкость против избирательного и общего износа, образования и развития трещин разгара и пр.).

Еще более серьезные проблемы возникают при наплавке цилиндрических деталей со смещением изгибов зигзагообразных швов относительно образующей цилиндра (рис. 2), деталей с переменным радиусом, например бочко- или конусообразных. В этом случае необходимо постоянно изменять параметры колебания электрода и одновременно поддерживать на оптимальном уровне другие параметры режимов наплавки.

Общее описание модернизированного наплавочного оборудования, позволяющего осуществлять перемещение электрода по требуемой траектории

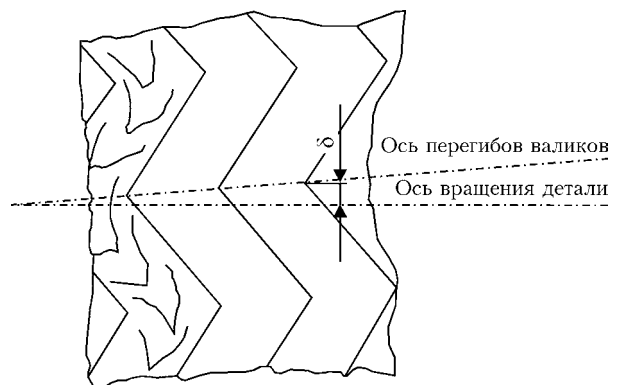


Рис. 2. Схема наплавки со смещением вершины зигзагов

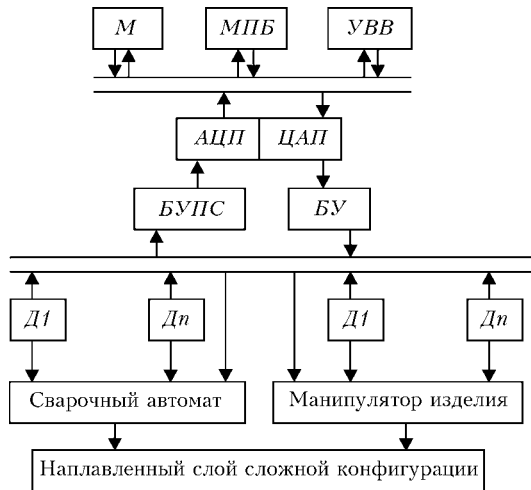


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматизированного управления наплавкой: *М* — монитор; *МПБ* — микропроцессорный блок; *УВВ* — устройства ввода-вывода; *АЦП* — аналого-цифровой преобразователь; *ЦАП* — цифро-аналоговый преобразователь; *БУПС* — блок усиления и преобразования входных сигналов; *БУ* — блок управления; *Д1*, *Дn* — датчики положения и параметров режима

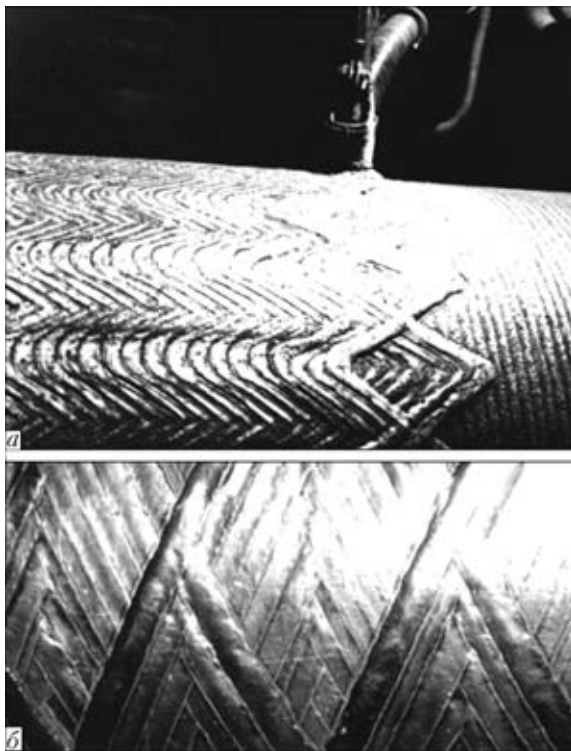


Рис. 4. Внешний вид рабочих поверхностей (а, б), наплавленных валиками сложной конфигурации

и оснащенного датчиками, дающими информацию о его координатах относительно упрочняемой поверхности, приведено в ряде работ [16, 25, 27]. Основным недостатком подобного оборудования является его узкая специализация (невозможность выполнения швов различной конфигурации, поскольку для этого требуется изменение его аппаратной части).

Широкое внедрение в системы управления и регулирования доступной, высоконадежной и универсальной микропроцессорной техники, имеющей

низкую стоимость, позволяют решить указанные задачи с применением программных средств без изменения и усложнения аппаратной части оборудования.

Программное управление траекторией перемещения электрода дает возможность успешно использовать эти системы для наплавки изделий с широким диапазоном размеров и вариантов конфигурации рабочего слоя, особенно в случаях, когда требуется оперативная перестройка технологического процесса.

Схема системы автоматизированного управления траекторией движения электродов для реализации возможных вариантов наплавки швами сложной конфигурации приведена на рис. 3. Система снабжена источником справочной информации и имеет возможность пошагового контроля за процессом наплавки отдельных валиков, что особенно важно для многослойной наплавки. Наличие обратной связи по положению электрода обеспечивает максимальное совпадение расчетной схемы с реальной конфигурацией наплавленной поверхности (рис. 4).

Использование модернизированного оборудования на ряде металлургических и машиностроительных предприятий при реализации технологии упрочнения дуговой наплавкой рабочих поверхностей деталей и инструмента оборудования дало возможность существенно улучшить их эксплуатационные характеристики.

1. *Лещинский Л. К., Носовский Б. И., Гулаков С. В.* Технология наплавки опорных валков с переменной по длине бочки твердостью // *Автомат. сварка.* — 1976. — № 7. — С. 71–72.
2. *Повышение работоспособности прокатных валков наплавкой слоя с изменяющейся по длине бочки износостойкостью* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, Б. И. Носовский и др. // Там же. — 1978. — № 3. — С. 57–62.
3. *Шварцер А. Я.* Основные принципы электрошлаковой наплавки металла переменного химического состава // *Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки.* Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 102–108.
4. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Особенности получения швов с регламентированным распределением химических элементов по длине // *Свароч. пр-во.* — 1982. — № 7. — С. 10–11.
5. *Наплавка прокатных валков слоями с различными физическими свойствами* / В. И. Щетинина, К. К. Степнов, Л. К. Лещинский и др. // Там же. — 1989. — № 7. — С. 28.
6. *Коротков В. А., Чубелов В. А.* Наплавка контактно-нагруженных поверхностей чередующимися твердыми и мягкими участками // Там же. — 2000. — № 4. — С. 9–12.
7. *Валки с наплавленным слоем новой конструкции, повышающие эффективность работы прокатных станов* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, К. К. Степнов, Б. И. Носовский // *Наплавка. Опыт и эффективность применения.* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 17–20.
8. *Повышение срока службы опорных валков стана 2000 горячей прокатки* / В. В. Ветер, А. Д. Белянский, М. И. Самойлов и др. // *Сталь.* — 1985. — № 8. — С. 53–55.
9. *Koho R., Miyakawa J.* On compositional change amonds passes in multi-pass submerged arc welding. — S. 1., [1983]. — 8 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1283–83).
10. *Рыкалин Н. Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машиностроение, 1951. — 196 с.
11. *Bennett A. P., Eaton N. F.* Electro-slag melted transition-piece units as an alternative to direct welding // *Metal Construction and British Welding J.* — 1969. — 1, № 12. — P. 59–65.
12. *Bennett A. P.* Prediction and control composition profiles in graded transition joints // *Metals and Materials.* — 1972. — № 3/4. — P. 146–149.

13. *Лецинский Л. К., Литвин Н. Н.* Расчетный метод решения задачи управления составом металла в процессе сварки (наплавки) // Математические методы в сварке: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1981. — С. 42–46.
14. *Шварцер А. Я., Шварц В. Я., Никитенко З. А.* Расчет содержания компонентов в сплаве переменного состава при электрошлаковой наплавке // Автомат. сварка. — 1980. — № 2. — С. 25–26.
15. *Методика* расчета процесса легирования швов переменного химического состава / Л. К. Лецинский, Н. Н. Литвин, С. Г. Иванов, А. И. Василенко // Там же. — 1983. — № 11. — С. 27–29.
16. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Особенности получения швов с регламентированным распределением химических элементов по длине // Свароч. пр-во. — 1982. — № 7. — С. 10–12.
17. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Программное устройство для наплавки слоя металла с переменным химическим составом // Автомат. сварка. — 1985. — № 2. — С. 55–57.
18. *Сас А. В., Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Управление сложными технологическими процессами дуговой сварки и наплавки // Свароч. пр-во. — 1985. — № 8. — С. 30–32.
19. *Влияние* химической однородности наплавленного металла на сопротивление термической усталости / В. Л. Маликин, И. И. Фрумин, В. Д. Садукевич, М. Л. Петух // Автомат. сварка. — 1982. — № 11. — С. 12–14.
20. *Юзвенко Ю. А., Горпелюк Б. Н., Корбут В. Л.* Химическая макронеоднородность наплавленного слоя // Там же. — 1978. — № 3. — С. 22–26.
21. *Избирательный* износ наплавленного заэвтектического хромистого сплава / В. В. Тарасов, П. Ф. Лаврик, В. Х. Мацука, И. И. Пирч // Свароч. пр-во. — 1976. — № 9. — С. 28–29.
22. *Гулаков С. В., Иванов В. П., Псарева И. С.* Управление траекторией перемещения электрода при дуговой наплавке прокатных валков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. праць. — Краматорськ: ДДМА, 2000. — С. 322–324.
23. *Наплавка* роликов слябовых машин непрерывного литья заготовок / Л. И. Опарин, В. Л. Маликин, П. В. Гладкий и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 63–66, 76.
24. *Домбровский Ф. С., Лецинский Л. К.* Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1995. — 198 с.
25. *Заявка 58-173066* Японии, МКИ В 21 В 27/02, В 23 К 9/04. Roll / К. Takatori, К. Higori, Н. Tsuguo.
26. *Псарева И. С., Иванов В. П.* Совершенствование технологии наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. науч. тр. — Мариуполь, 2000. — Вып. 10. — С. 213–216.
27. *Бровман М. Я., Зеличенко Б. Ю., Герцев А. И.* Усовершенствование прокатки толстых листов. — М.: Металлургия, 1969. — 256 с.
28. *Гулаков С. В., Головачев М. В., Аленос Н. Н.* Автоматизированное оборудование для дуговой наплавки // Оборудование и материалы для наплавки: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. — С. 63–65.

Considered are ways of improving the quality of deposited metal through forming the working surface from layers of a varied chemical composition and complex shape. These layers enhance operational capabilities of the process, widen the field of application of deposited parts and impart them a new combination of service properties.

Поступила в редакцию 11.01.2004,
в окончательном варианте 09.02.2004

<p>3-6 НОЯБРЯ</p> <p>Москва, Экспоцентр на Красной Пресне павильон "Форум"</p> <p>2004</p>		<p>при поддержке Министерства экономического развития и торговли РФ Russian Federation ministry of economic development and trade Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО) / Russian Welding society (RWS)</p> <p>ЭКСПО</p> <p>СВАРКА</p> <p>экспосварка</p> <p>ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА THE 5th INTERNATIONAL SPECIALIZED EXHIBITION</p>	
<p>ОРГАНИЗАТОРЫ:</p> <p>M.S.I., ООО "Мессе Сервис" Российское Научное Техническое сварочное общество</p>	<p>ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ ◆ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ◆ СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ◆ СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ ◆ АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ ◆ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ◆ СПЕЦОДЕЖДА И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СВАРЩИКОВ ◆ СЕРТИФИКАЦИЯ 	<p>ORGANIZERS:</p> <p>M.S.I., "Messe Servis" The Russian Scientific Technical welding society</p> <p>Тел.: +7(095) 105-6561/62 Факс: +7(095) 248-0734</p>
<p>welding@msiexpo.ru</p>		<p>www.msiexpo.ru</p>	



ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛООТХОДОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В НАПЛАВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ю. М. КУСКОВ, О. Г. КУЗЬМЕНКО, кандидаты техн. наук, И. П. ЛЕНТЮГОВ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона технологии переработки металлоотходов различных производств с помощью электрошлакового процесса. На примерах электрошлаковых переплава и наплавки с использованием стружки инструментальных сталей, шламовых и зольных отходов, медной сечки и на основании полученных положительных результатов применения переплавленного металла в виде конечного продукта либо полуфабриката показана перспективность такого подхода для вовлечения вторичных ресурсов в производство.

Ключевые слова: электрошлаковые технологии, мелкофракционные отходы, сварка, переплав, наплавка, напыление

В общем объеме отходов промышленного производства значительную часть составляют отходы, содержащие различные металлы, сплавы и оксиды металлов: стружка высоколегированных сталей и сплавов, шламы, остающиеся после шлифования изделий из быстрорежущих сталей и специальных сплавов, зольные остатки ТЭЦ и др.

Благодаря переработке стружки инструментальных сталей, в частности высоколегированных штамповых и быстрорежущих, решается важная задача — обеспечивается возврат в производство значительного количества дефицитных и дорогих легирующих элементов — вольфрама, молибдена, кобальта и др. По данным работы [1], стружка, образующаяся при обработке деталей из инструментальных сталей, составляет 20...30 % массы исходной заготовки.

Наиболее сложной является проблема переработки шламовых отходов. К последним относятся шламы, образующиеся при механической обработке специальных сплавов на основе никеля, кобальта, ниобия и других элементов [2, 3]. Эти сплавы обрабатываются только путем шлифования, при этом в отходы попадает 10...20 % обрабатываемого металла. Примерно такие же потери существуют при абразивной зачистке полуфабрикатов и сортового проката из быстрорежущих сталей [3, 4].

Среди отходов производства имеются шламы, полностью состоящие из оксидов легирующих элементов. Примером таких отходов служит содержащая относительно большую (13...14 %) массовую долю оксида ванадия зола ТЭЦ, образующаяся после сжигания высокосернистого мазута [5]. Шламы практически невозможно использовать в исходном состоянии, из них достаточно трудно извлекать металлическую составляющую.

Для утилизации указанных отходов были предложены различные способы. Так, например, стружку легированных сталей и сплавов можно переп-

лавлять в электродуговых печах с получением паспортных шихтовых слитков, которые являются сырьем для качественной металлургии [6, 7]. Однако при использовании такой технологии имеет место значительный угар легирующих элементов [8], во многом зависящий от основности и степени раскисления шлака [9].

Для переработки шламов предлагали применять электротермические способы передела [2, 10, 11], электродуговой [12–14] и плазменный переплавы [15] и др. Известны случаи использования отходов быстрорежущей и других сталей и сплавов в обмазке сварочных электродов [16–19], а также в качестве добавок в порошки для плазменного напыления [20] и шихту порошковых проволок для наплавки [21]. Однако широкого промышленного применения эти способы переработки промышленных отходов не нашли.

Зольные остатки ТЭЦ также практически не перерабатываются. В литературе описана только одна технология, разработанная в ДонНИИЧермет, которая предусматривает прямое использование этих остатков для легирования стали ванадием в ковше или печи. Степень извлечения ванадия при этом составляет 70...90 % [22, 23].

В ИЭС им. Е. О. Патона на основе положительного опыта в области электрошлаковой наплавки (ЭШН) штампов, прокатных валков и других деталей некомпактными присадочными материалами [24, 25] разработаны и опробованы в опытно-промышленных условиях электрошлаковые технологии переработки упомянутых выше отходов, благодаря которым решаются не только технико-экономические, но и экологические проблемы. В основе предлагаемых электрошлаковых технологий утилизации металлосодержащих отходов промышленного производства лежат два типа конструкций неплавящихся электродов и формирующей оснастки (кристаллизаторов).

Первый тип неплавящихся электродов — составные электроды, которые имеют водоохлаждаемый металлический корпус и графитовую рабочую часть. Используемый при этом неподвижный медный водоохлаждаемый кристаллизатор прямоу-

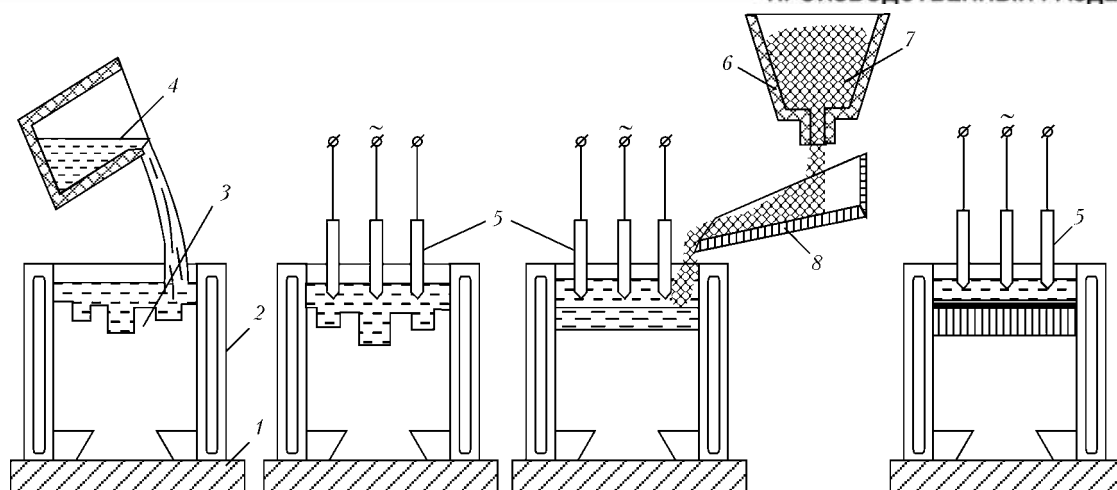


Рис. 1. ЭШН штампов с использованием стружки инструментальной стали: 1 — поддон; 2 — неподвижный кристаллизатор; 3 — изношенный штамп; 4 — ковш с жидким шлаком; 5 — неплавящиеся электроды; 6 — дозатор; 7 — стружка; 8 — желоб

гольной или цилиндрической формы позволяет производить наплавку на горизонтальную плоскость или получать плоские слитки.

Второй тип неплавящихся электродов — секционные конструкции, которые совмещают функции электрода и формирующего устройства, так называемого токоподводящего кристаллизатора (ТПК). С помощью ТПК можно получать слитки или производить наплавку деталей достаточно большой длины [24].

Использование неплавящихся электродов первого типа и неподвижного кристаллизатора рассмотрено в следующих разработанных технологиях: ЭШН кузнечно-штамповой оснастки, при которой в качестве присадки применяется стружка инструментальной стали; легирование наплавленного металла ванадием за счет подачи в шлаковую ванну при ЭШН зольных остатков ТЭЦ, содержащих оксид ванадия; переплав шламовых отходов, образующихся при шлифовании инструмента из быстрорежущих сталей, с получением лигатуры, применяемой в шихте порошковых проволок.

При ЭШН штампов с использованием в качестве присадки стружки инструментальной стали сначала с помощью неплавящихся электродов осуществляют нагрев наплавляемой поверхности твердой заготовки — поковки из углеродистой стали или изношенного штампа. После подплавления наплавляемой поверхности в шлаковую ванну подают стружку штамповой стали, которая при расплавлении образует наплавленный слой (рис. 1). После расплавления необходимого количества стружки мощность электрошлакового нагрева снижают для обеспечения направленной кристаллизации наплавленного металла под слоем расплавленного шлака. Частицы стружки одновременно являются макрохолодильниками, с помощью которых регулируется процесс кристаллизации наплавляемого металла. Направленное управляемое затвердевание металла при ЭШН, а также обработка его шлаком в процессе расплавления стружки обуславливают получение наплавленного металла со свойствами на уровне деформированного, а в некоторых случаях и выше.

Испытания штампов, наплавленных по указанной технологии, проведенные на промышленных

молотах с массой падающих частей 1, 3 и 5 т и прессах усилием 25, 63 и 120 МН, показали, что их стойкость в 1,5...3,0 раза выше кованных из стали той же марки.

Для реализации этой технологии разработано сравнительно простое и надежное оборудование (установка ОБ-2213 с электромагнитным дозатором ДПЭ-02), которое используется на АО «Ростсельмаш» (Россия) и ОАО «Токмакский КШЗ» (Украина) для восстановления и изготовления штампов различной массы. Указанная технология защищена патентами Украины, России и Белоруссии.

При ЭШН штампов стружкой стали 5ХНМ проводили дополнительное легирование наплавленного металла ванадием за счет его восстановления из зольных остатков ТЭЦ, подаваемых в шлак. Эксплуатация штампов, восстановленных ЭШН стружкой стали 5ХНМ, показала, что дополнительное легирование наплавленного металла ванадием (0,10...0,15 мас. %) повышает их стойкость на 30 %.

Это же оборудование используют для переплава шламовых отходов, образующихся при шлифовке инструмента из быстрорежущих сталей. Учитывая, что в настоящее время номенклатура применяемых марок быстрорежущих сталей относительно невелика и зачастую ограничивается сталью Р6М5, получение лигатуры примерно одного и того же химического состава не представляет больших сложностей. Присутствие в переплавляемых отходах неметаллических компонентов абразивных кругов не нарушает стабильности электрошлакового процесса и не вызывает необходимости частичной или полной замены шлака во время плавки.

Выплавленную лигатуру применяют в шихте порошковых проволок для наплавки и дуговой металлизации. Покрывают, полученные дуговой металлизацией с использованием порошковых проволок, шихта которых содержала в качестве одного из компонентов лигатуру, изготовленную по указанной технологии, отличались высокой износостойкостью и адгезионной прочностью при напылении изделий типа вала.

Схема переплава стружки с использованием неплавящихся электродов второго типа представ-

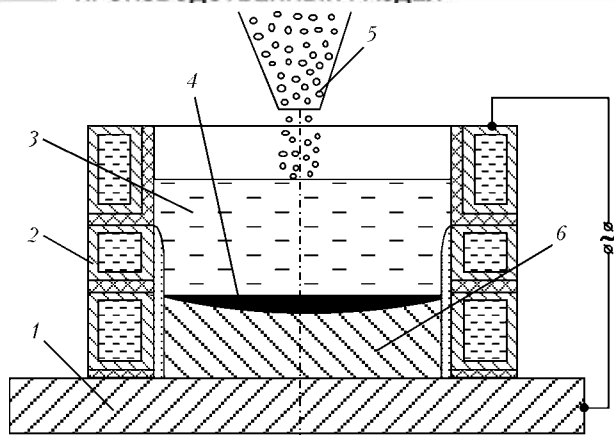


Рис. 2. Схема переплава отходов (стружки быстрорежущей стали) в ТПК (обозначения см. в тексте)

лена на рис. 2. ТПК 2 устанавливают на поддон 1. В кристаллизатор заливают расплавленный в отдельной емкости шлак («жидкий» старт). В некоторых случаях флюс можно расплавлять с помощью дополнительного электрода внутри самого ТПК («твердый» старт). После перекрытия шлаком всех изолированных друг от друга секций ТПК ток, проходящий через шлаковую ванну 3, обеспечивает выделение в ней достаточного количества теплоты, необходимой для поддержания электрошлакового процесса. Металлическая ванна 4 образуется при расплавлении стружки в шлаке. Ее подача в шлаковую ванну производится с помощью дозаторов 5 различного типа. Наиболее простым решением этой задачи является использование вибродозаторов, поскольку в большинстве случаев не требуется очень точного дозирования переплавляемой присадки. Порции жидкого металла постепенно кристаллизуются в виде слитка 6, как и при обычном электрошлаковом переплаве (ЭШП).

Для ЭШП стружки разработана и изготовлена установка ОБ-2379, оснащенная дозатором барабанного типа и набором ТПК диаметром 40... 120 мм. Установка позволяет получать слитки длиной до 0,7 м за счет их вытягивания из неподвижно установленного ТПК. Для наведения шлаковой ванны применяют «твердый» старт как наиболее простой способ расплавления флюса АН-75. Флюс указанной марки обеспечивает получение слитков с гладкой поверхностью практически без гарнисажа. На рис. 3 представлены поверхность слитка стали Р6М5 после пескоструйной обработки и макрошлиф продольного его сечения. При увеличении диаметра кристаллизатора упрощается процесс переплава, возрастает производительность процесса и снижается его энергоемкость. Так, при переплаве стружки стали Р6М5 в ТПК диаметром 210 мм достигнута производительность 200 кг/ч при удельном расходе электроэнергии 1000... 1200 кВт·ч/т.

В большинстве случаев для получения слитков, соответствующих по химическому составу быстрорежущей стали, стружку до переплава следует предварительно очищать от эмульсии горячим раствором кальцинированной соды или прокаливанием в печи при температуре примерно 300 °С.

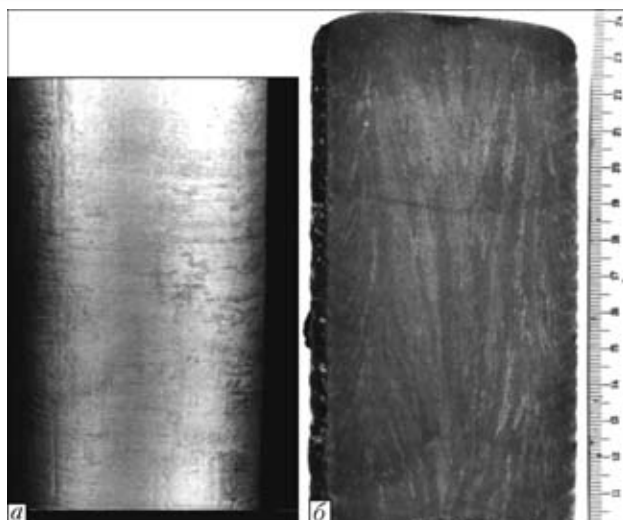


Рис. 3. Внешний вид (а) и макрошлиф (б) продольного сечения слитка стали Р6М5, полученного переплавом стружки быстрорежущей стали

Установлено, что инструмент из переплавленной стружки быстрорежущей стали по стойкости не уступает изготовленному из ковanej быстрорежущей стали.

С помощью ТПК производился также переплав отходов в виде обрезков медных проводов различной длины, которые предварительно превращали в сечку длиной 5... 7 мм. Качество получаемых медных слитков зависит от равномерности подачи сечки и наличия на ней остатков изоляционных покрытий. Полученные слитки можно использовать для изготовления различных изделий из меди.

Выводы

1. Разработанные технологии позволяют использовать стружку штамповых и быстрорежущих сталей в качестве присадки при наплавке инструмента для горячего деформирования металлов. Такую стружку можно переплавлять в слитки, из которых изготавливают различный металлорежущий инструмент.

2. Зольные остатки от сжигания мазута на тепловых электростанциях, содержащие оксиды ванадия и других металлов, можно использовать в электрошлаковых процессах для легирования переплавляемого или наплавляемого металла. Легирование проводят за счет восстановления в шлаковой ванне металлов из их оксидов.

1. Брехов К. В. Свариваемость заготовок из стружки быстрорежущей стали // Свароч. пр-во. — 1980. — № 12. — С. 15–16.
2. Лавров Б. А., Удалов Ю. П., Козлов К. Б. Электротермическая переработка гальваношламов // Электрометаллургия. — 2002. — № 3. — С. 40–42.
3. Гаврилин И. В. Переплав пылевидных отходов высоколегированных сплавов // Литейн. пр-во. — 2000. — № 2. — С. 18.
4. Применение металлоабразивных отходов при выплавке быстрорежущей стали // Л. Р. Тагер, М. М. Ключев, А. Ф. Филиппов и др. // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1973. — № 5. — С. 46–48.
5. Пьяных С. А. Технология производства ванадийсодержащих литейных сплавов с использованием зольных отходов ГРЭС // Сталь. — 1992. — № 6. — С. 36–37.
6. Интенсификация переплава легированной стружки на шихтовые слитки в дуговых печах газо-кислородным фа-

- келом / В. И. Месяц, В. Я. Конох, В. П. Асанин и др. // Сталь. — 1981. — № 11. — С. 16–18.
7. Швед Ф. И. Сокращение расхода легирующих металлов при производстве жаропрочных сплавов на никелевой основе // Там же. — 1989. — № 4. — С. 34–36.
 8. Угар легирующих элементов при выплавке быстрорежущей стали / Н. М. Чуйко, М. И. Гасик, Н. Т. Заозерный, Г. П. Пархоменко // Металлург. — 1970. — № 5. — С. 22–24.
 9. Переплавы стержней быстрорежущих сталей / В. Г. Иванов, А. Т. Перевязко, Н. М. Чуйко и др. // Там же. — 1975. — № 4. — С. 25–26.
 10. Тепловая обработка мелкодисперсных отходов быстрорежущих сталей / М. П. Ревун, С. М. Григорьев, Ю. Н. Каюков, А. С. Яценко // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1991. — № 10. — С. 86–88.
 11. Григорьев С. М. Углетермическое восстановление оксидных отходов производства быстрорежущей стали // Там же. — 1996. — № 6. — С. 24–27.
 12. Гизатулин Р. А., Дмитриенко В. И., Носов Ю. Н. Использование шлифовального шлама при выплавке коррозионноустойчивой стали // Там же. — 1997. — № 4. — С. 21–23.
 13. Электродуговой переплав пылевидных отходов легированных сталей / В. Г. Иванов, А. Т. Перевязко, Н. М. Чуйко и др. // Бюл. Ин-та ЦНИИТЭИ. — 1973. — Вып. 19(711). — С. 36–37.
 14. Колесников М. В., Колганов Г. С. Комплексная переработка вольфрамсодержащих отходов с интенсивным высокотемпературным дутьем // Сталь. — 1989. — № 12. — С. 17–20.
 15. Перспективы комплексной утилизации цинкосодержащих шламов основных переделов черной металлургии в плазменных печах / В. А. Фролов, О. А. Алексаночкин, А. М. Рабинович и др. // Там же. — 1991. — № 7. — С. 80–84.
 16. Бабий В. М., Кондратенко З. Ф., Рыбалка В. И. Использование пылевидных отходов абразивной зачистки металлопроката в производстве электродов для сварки чугуна // Свароч. пр-во. — 1989. — № 10. — С. 32–33.
 17. Галимов М. Д. О возможности использования титановых шламов в электродных покрытиях // Там же. — 1997. — № 7. — С. 43.
 18. Лазобнов П. П., Смирнов В. Д., Школьников Е. В. Коррозионно-электрохимические свойства хромоникелевого металла, наплавленного электродами, содержащими шламы и мрамор // Там же. — 1992. — № 8. — С. 31–33.
 19. Пат. 19272 Україна, МПК В 23 К 35/365. Склад електродного покриття для наплавки / Г. В. Рюмін, В. А. Петренко, М. А. Калін та ін. — Опубл. 25.12.97.
 20. Плазменные покрытия из порошков, полученных из отходов обработки прокатных валков / Ю. А. Харламов, Н. А. Будагьянц, С. А. Юдицкий, А. В. Шевченко // Тез. докл. 20-й конф. сварщиков Урала, г. Нижний Тагил, 27 февр.–2 марта 2001 г. — Нижний Тагил: Нижнетагильский технолог. ин-т, 2001. — С. 143.
 21. Наплавка валков сортопрокатного стана порошковой проволокой с шихтой из металлоотходов слитков легированных сталей и сплавов / Г. А. Поздеев, И. Н. Шеенко, В. И. Титаренко, И. А. Крушник // Тез. докл. всесоюз. семинара «Восстановление и улучшение деталей металлургических агрегатов наплавкой, напылением и термообработкой», г. Москва, сент. 1990 г. — М.: ЦНИИТЭИ ЧМ, 1990. — С. 3.
 22. Разработка и внедрение технологии переработки ванадийсодержащих зольных остатков тепловых электростанций / Т. Ф. Жуковский, Н. П. Словинский-Сидак, Г. Г. Гаврилюк, Ю. А. Леконцев // Сталь. — 1991. — № 1. — С. 85–87.
 23. Легирование стали ванадием с использованием зольных отходов ГРЭС / А. Е. Соичев, Ю. Г. Ярославцев, В. А. Курганов и др. // Там же. — 1992. — № 7. — С. 37–40.
 24. Электрошлаковая наплавка / Ю. М. Кусков, В. Н. Скороходов, И. А. Рябцев, И. С. Сарычев. — М.: Наука и технологии, 2001. — 179 с.
 25. Ксендзык Г. В., Кусков Ю. М. Чугунная дробь — новый вид присадочного материала для электрошлаковой наплавки // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. — С. 80–84.

Technologies developed by the E.O.Paton Electric Welding Institute for recycling of different-production metal scrap by the electroslag process are considered. This approach holds promise in terms of involving secondary resources into production, as shown by examples of remelting and surfacing using tool steel chips, slime and ash wastes and copper chop, and proved by positive results obtained from using the remelted metal in the form of finished or semi-finished products.

Поступила в редакцию 11.03.2004

Международный семинар-выставка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

24–25 ноября 2004 г.

г. Харьков
конференц-зал ПТМ «Укрэнергочермет»

Организаторы

Аттестационный центр по неразрушающему контролю
ОАО «Производственно-техническое предприятие «Укрэнергочермет»
Восточное региональное отделение Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики

В программе семинара

Теория и технология физических методов контроля качества
Средства, системы, методики НК и ТД
Определение остаточного ресурса и эксплуатационных характеристик
Стандартизация методов и средств НК
Метрологическое обеспечение средств НК
Сертификация специалистов и аккредитация лабораторий НК и ТД

Справки по телефонам: (057) 763-03-26, 763-03-27;
мобильный 8-050-400-86-42; факс: (0572) 32-44-40;
e-mail: admin@ndt-vostok.com.ua



СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Г. Н. СОКОЛОВ, канд. техн. наук (Волгоград. гос. техн. ун-т, РФ)

Рассмотрены вопросы рационального легирования наплавленного металла системы Ni-Cr-Mo-Nb-C для упрочнения металлургического инструмента, работающего при температурах до 900 °С. Исследовано влияние содержания молибдена и ниобия на высокотемпературную твердость, склонность к образованию горячих трещин и жаростойкость наплавленного металла.

Ключевые слова: дуговая наплавка, высоколегированный наплавленный металл, высокотемпературная прочность, жаростойкость, горячие трещины, порошковая проволока

Для износостойкой наплавки металлургического инструмента, испытывающего циклическое температурно-силовое воздействие (ЦТСВ) при максимальной температуре до 900 °С в месте контакта с заготовкой предпочтительны сплавы с высокой стойкостью к гомогенизации структуры [1]. В этом отношении перспективен наплавленный металл на основе никеля, коэффициенты диффузии атомов основы, легирующих и примесных элементов в котором при 900 °С малы и составляют около $1 \cdot 10^{-13}$ см²/с [2]. Особенно эффективны сплавы с высокой энергией активации диффузии, что обеспечивается легированием их ограниченно растворимыми в никеле хромом, молибденом и углеродом [3, 4]. Однако стойкость такого наплавленного металла к образованию горячих трещин, как показала экспериментальная проверка, невелика. Причиной образования трещин являются большое содержание выделяющихся по границам зерен эвтектических карбидов $Me_{23}C_6$, Mo_2C и крупных карбидов типа Me_7C_3 . Улучшить технологические свойства углеродистого наплавленного металла можно его легированием более активными по сравнению с хромом и молибденом карбидообразователями, например ниобием [5]. В связи с этим исследовано влияние соотношения легирующих элементов на высокотемпературную твердость, скорость окисления, склонность к образованию горячих трещин металла системы Ni-Cr-Mo-C-Nb, наплавленного порошковыми проволоками аргонодуговым и электрошлаковым способами.

Высокотемпературную твердость наплавленного металла измеряли на приборе ТШ-2 твердосплавным шариком диаметром 5 мм при нагрузке 7,35 кН и выдержке 10 с. Скорость окисления определяли после выдержки образцов в электропечи с температурой 900 °С в течение 2 ч. Склонность к горячим трещинам оценивали по их количеству в металле пятислойного валика при аргонодуговой наплавке.

Оболочку порошковой проволоки из никелевой ленты НП-2 изготавливали двухслойной со смещением стыков относительно друг друга с целью улучшения технологической надежности проволоки при высоком (до 60 %) коэффициенте заполнения ее шихтой [6]. В качестве шихтовых материалов использовали металлические порошки никеля, молибдена, хрома, а также графит и феррониобий ФН-1, содержащий примеси титана, алюминия и тантала, которые, являясь активными раскислителями, повышают качество наплавленного металла. Металлографические исследования наплавленного металла проводили известными методами, рентгеноспектральный анализ выполняли на приборе СAMEСА MS-46 с диаметром микрозонда 1 мкм.

Диапазон легирования экспериментальных наплавов следующий, мас. %: 1,58... 2,84 Cr; 19,6... 24,5 Cr; 2,85... 9,5 Mo; 0,65... 2,86 Nb. Содержание других элементов, мас. %: 0,60... 0,85 Si; 3... 5 Fe; 0,4... 0,6 Mn; 0,012... 0,015 S; 0,004... 0,005 P; Ni — основа.

Выбранный диапазон легирования наплавленного металла обусловлен эксплуатационными и технологическими требованиями к нему. Количество углерода определено исходя из возможности обеспечения атомного соотношения карбидообразующих элементов и углерода не менее стехиометрического, при котором образуются специальные карбиды MoC и NbC , а также по экспериментальным данным [7]. Пределы легирования по хрому определены из расчета получения максимальной жаростойкости металла. Экспериментом установлено, что увеличение содержания хрома до 30 мас. % и более не приводит к существенному повышению жаростойкости сплавов рассматриваемой системы легирования, а сказывается лишь на приросте их твердости при нормальной температуре, что ухудшает обрабатываемость металла после наплавки. Верхние пределы легирования молибденом и ниобием обусловлены наличием большого содержания (до 60 об. %) в наплавленном металле упрочняющих фаз, что существенно влияет на пластичность и его стойкость к трещинообразованию при наплавке. При уменьшении содержания молибдена

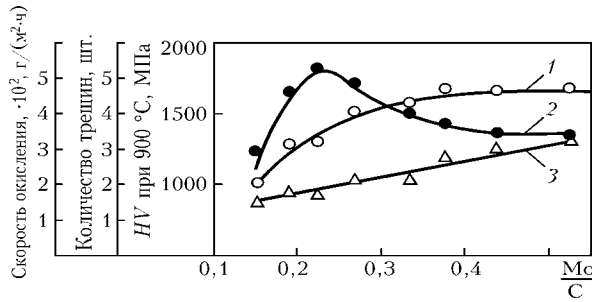


Рис. 1. Влияние отношения молибдена к углероду на свойства наплавленного металла с 22...24 мас. % Cr и 1,4...1,8 мас. % Nb; 1 — склонность к образованию горячих трещин; 2 — высокотемпературная микротвердость; 3 — скорость окисления

и ниобия до нижнего предела резко снижается высокотемпературная твердость сплавов.

Исследованиями установлено (рис. 1), что при соотношении содержащихся в наплавленном металле молибдена и углерода в пределах 0,18...0,25 ат. % достигается достаточно высокий уровень его свойств для работы в условиях ЦТСВ при температуре в зоне контакта с деформируемым металлом до 900 °С. Структура такого сплава состоит из твердого раствора на основе никеля, карбидов NbC и MoC, а также двух видов карбидной эвтектики с микротвердостью HV 350 и HV 400. Показано, что при содержании ниобия 1,8...2,5 мас. % обеспечиваются хорошая стойкость наплавленного металла против образования горячих трещин и максимальная высокотемпературная твердость (рис. 2). Такое влияние ниобия связано с его сильной ликвиацией, вызванной карбидообразованием (рис. 3), что приводит к измельчению зерна, дроблению

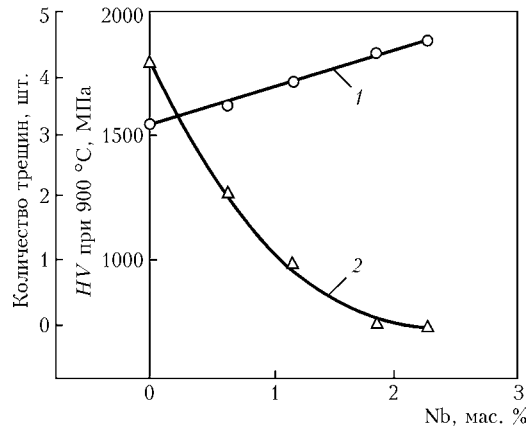


Рис. 2. Влияние ниобия на высокотемпературную твердость (1) и стойкость наплавленного металла против образования горячих трещин (2) при следующем содержании элементов, мас. %: 22...24 Cr; 4,5...4,8 Mo; 2,0...2,5 C

карбидной эвтектики и обуславливает относительно равномерное распределение кремния в эвтектике и зернах металла (рис. 4). Молибден также распределен равномерно, что объясняется сильной химической связью его с никелем и является одной из причин повышенной жаропрочности таких сплавов в сравнении с наплавленным металлом, содержащим вольфрам вместо молибдена.

Повышение соотношения атомов молибдена и углерода свыше 0,25 приводит к образованию в металле карбидов Mo₂C, термодинамически менее устойчивых, чем MoC. Высокотемпературная твердость и жаростойкость наплавленного металла в этом случае уменьшаются, а склонность к образованию горячих трещин возрастает. Уменьшение

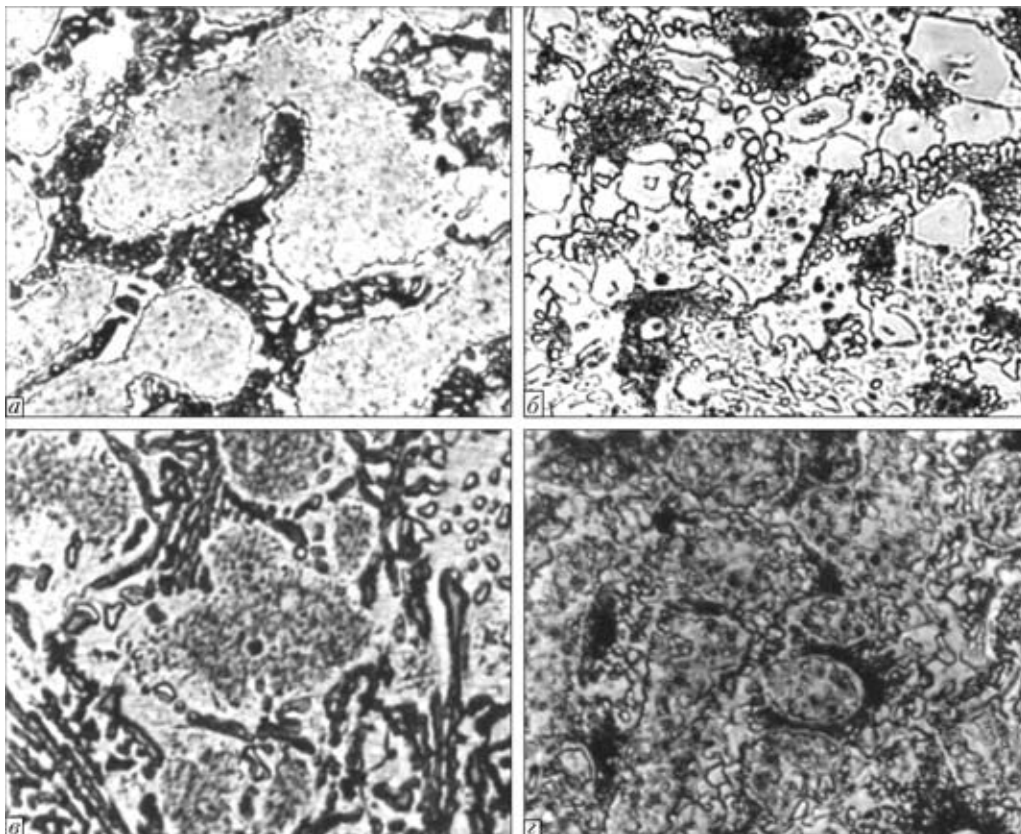


Рис. 3. Микроструктура (X600) наплавленного металла без ниобия (а) и с содержанием ниобия соответственно 1,1; 1,82; 2,35 мас. % (б-г)

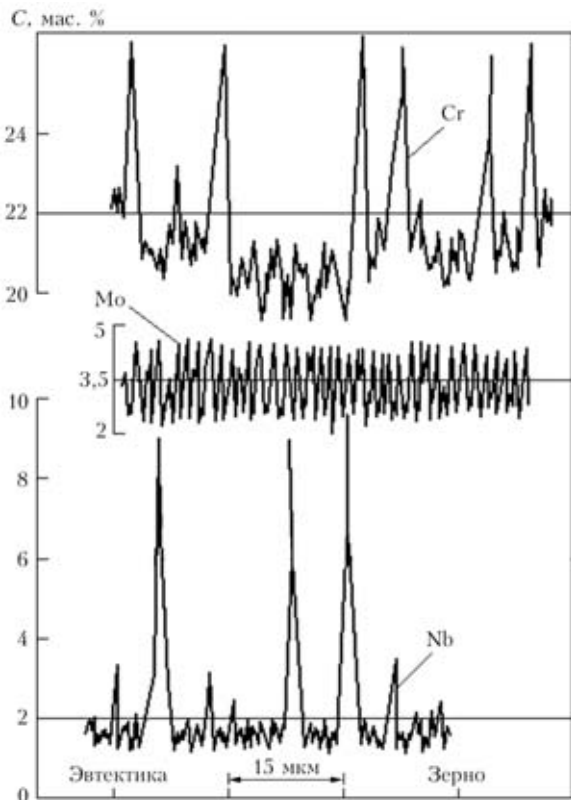


Рис. 4. Распределение C легирующих элементов в наплавленном металле

жаростойкости можно объяснить образованием на поверхности металла легковозгоняемого оксида молибдена. Трещинообразование увеличивается в результате роста объемного содержания эвтектических карбидов.

В модельных условиях ЦТСВ (изменение температуры 150...900 °С; усилие — 300 МПа; время контакта без учета пауз — 2 с; количество циклов испытания — 500) испытывали металл следующего химического состава, мас. % : 2,55 С; 4,5 Мо; 22,5 Сг; 2,1 Nb; Ni — основа. После испытаний заметного изменения структуры и свойств наплавленного металла не обнаружено. Незначительно (на HV 50...60) по сравнению с исходной (HV 400...420) увеличилась твердость за счет распада твердого раствора и образования вторичных карбидов (рис. 5).

Разработанный состав порошковой проволоки [8] (тип наплавленного металла 250X22H66M4B2) прошел промышленные испытания при наплавке режущих кромок ножей для резки горячего металла, носков оправок трубопрокатного агрегата, прессовых штампов горячего деформирования металлов. Получено повышение износостойкости наплавленного инструмента в 2,0...2,5 раза по сравнению с промышленными типами наплавленного металла системы Fe-C-Cr-W-Mo.

Issues associated with rational alloying of deposited metal of the Ni-Cr-Mo-Nb-C system to provide hardening of metallurgical tools operating at temperatures of up to 900 °C are considered. The effect of the molybdenum and niobium content on high-temperature hardness, sensitivity to hot cracking and heat resistance of deposited metal has been studied.

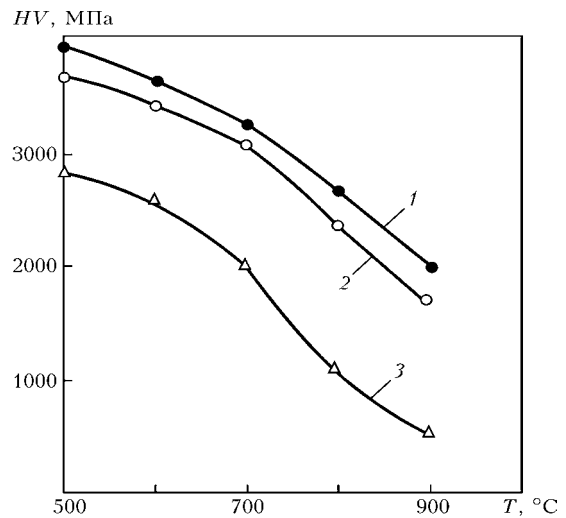


Рис. 5. Влияние температуры испытаний на высокотемпературную микротвердость наплавленного металла: 1 — Хастеллой С; 2 — 250X22H66M4B2; 3 — 30X2B8ФС

Выводы

1. Для упрочнения металлургического инструмента, работающего при температурах до 900 °С, предложен наплавленный металл системы легирования Ni-Cr-Mo-Nb-C. Установлено, что для обеспечения высоких технологических и эксплуатационных свойств наплавленного металла такого типа соотношение содержания молибдена и углерода в нем должно находиться в пределах 0,18...0,25.

2. Увеличение соотношения Мо/С более 0,25, как и повышение содержания молибдена в наплавленном металле свыше 5,0...5,5 мас. % не дает роста его высокотемпературной твердости, обуславливает снижение жаростойкости и стойкости к образованию горячих трещин.

1. Гордань Г. Н., Соколов Г. Н., Кащенко Ф. Д. Характер разупрочнения наплавленного металла при импульсном термосиловом воздействии // Автомат. сварка. — 1988. — № 10. — С. 59-62.
2. Шильев А. Я. Диффузионные процессы в сплавах. — М.: Наука, 1975. — 226 с.
3. Whelan E. Hardness and abrasive wear resistance of Ni-Cr-Mo-C hard-facing alloys // J. Metals. — 1979. — 31, № 1. — P. 15-19.
4. Hiekl A. An alternate to cobalt base hard-facing alloys // Ibid. — 1980. — 32, № 3. — P. 6-12.
5. Подгаецкий В. В., Парфессо Г. И. Трещины сульфидного происхождения при сварке сталей. — Киев: Наук. думка, 1977. — 150 с.
6. А. с. 1722756 СССР, МКИ³ В 23 К 35/40. Способ изготовления порошковой проволоки для сварки и наплавки / Г. Н. Соколов, Б. В. Маркин, Н. Ю. Тарасова. — Бюл. № 12.
7. Соколов Г. Н. Влияние соотношения хрома, молибдена и углерода на структуру и свойства наплавленного металла системы Fe-Cr-Mo-C // Свароч. пр-во. — 2000. — № 11. — С. 3-5.
8. А. с. 1123217 СССР, МКИ³ В 23 К 35/36. Состав порошковой проволоки для наплавки / Г. Н. Соколов, И. И. Фруммин, А. А. Филошин. — Бюл. № 24.

Поступила в редакцию 23.03.2004

НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАПЛАВКИ КОНУСОВ И ЧАШ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

А. П. ЖУДРА, канд. техн. наук, А. П. ВОРОНЧУК, С. И. ВЕЛИКИЙ, А. А. ФОМАКИН, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведено краткое описание конструктивных особенностей и технических возможностей разработанного аппарата для широкоугольной наплавки металлургического оборудования.

Ключевые слова: дуговая широкоугольная наплавка, засыпные аппараты, сварочный аппарат, технологические возможности, техническая характеристика

Для наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей разработаны уникальные установки У-50 и У-75 (рис. 1), состоящие из манипуляторов грузоподъемностью 50 или 75 т и передвижной колонны, на которой смонтирован наплавочный аппарат А-1640. Последний обеспечивает поперечные колебания электрода с амплитудой 50...400 мм, а с помощью манипулятора изделие перемещается на шаг наплавки. Конструкцией установок предусмотрены также ведение наплавки по кольцу и сварка крупногабаритных деталей открытой дугой и под флюсом порошковыми или цельнотянутыми проволоками. Многолетняя эксплуатация указанных установок на металлургических и машиностроительных заводах стран СНГ подтвердила их высокую надежность и хорошие эксплуатационные характеристики. Однако наплавочные аппараты и электрические схемы на сегодня устарели физически и морально и нуждаются в замене.

ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ООО «ПЛАН-Т» разработан новый аппарат А-1812 и электрическая схема СУ-300 для комплектации установок У-50, У-75 и У-125.

Аппарат А-1812 (рис. 2, 3) имеет следующие особенности:

- подающие механизмы оснащены приводом от асинхронных двигателей, что обеспечивает более равномерную подачу электродного материала;
- увеличен ход штанги на 150 мм, а в исполнении А-1812М-01 предусмотрена возможность за счет салазок выдвигать аппарат еще на 750 мм, что важно при наплавке внутренних поверхностей большой протяженности;
- кронштейны подающих механизмов позволяют производить наплавку одновременно двумя дугами — как последовательно, так и параллельно;
- аппарат укомплектован шаговым устройством, с помощью которого можно увеличивать точность перемещения упрочняемой детали на шаг наплавки и регулировать последний непосредственно с пульта управления;

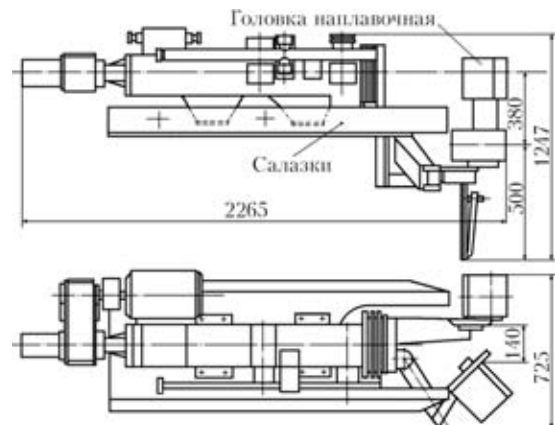


Рис. 2. Схема аппарата А-1812



Рис. 1. Установка У-75



Рис. 3. Общий вид аппарата А-1812

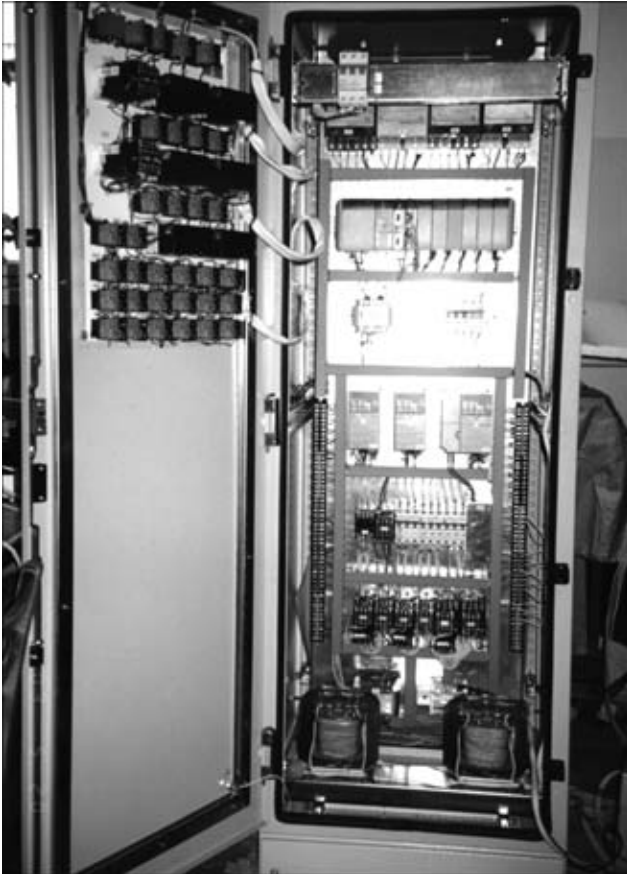


Рис. 4. Шкаф управления СУ-300

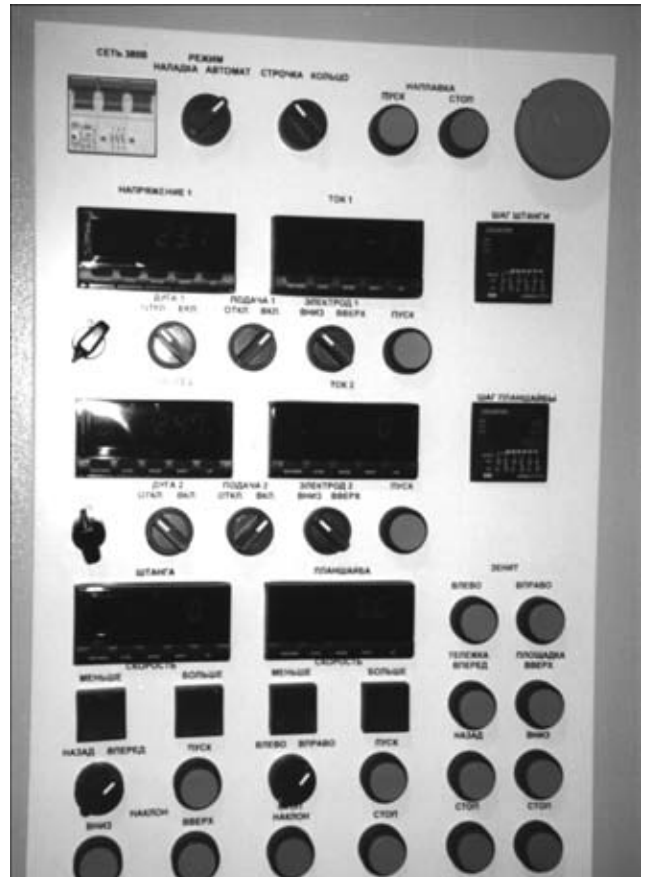


Рис. 5. Пульт управления СУ-300

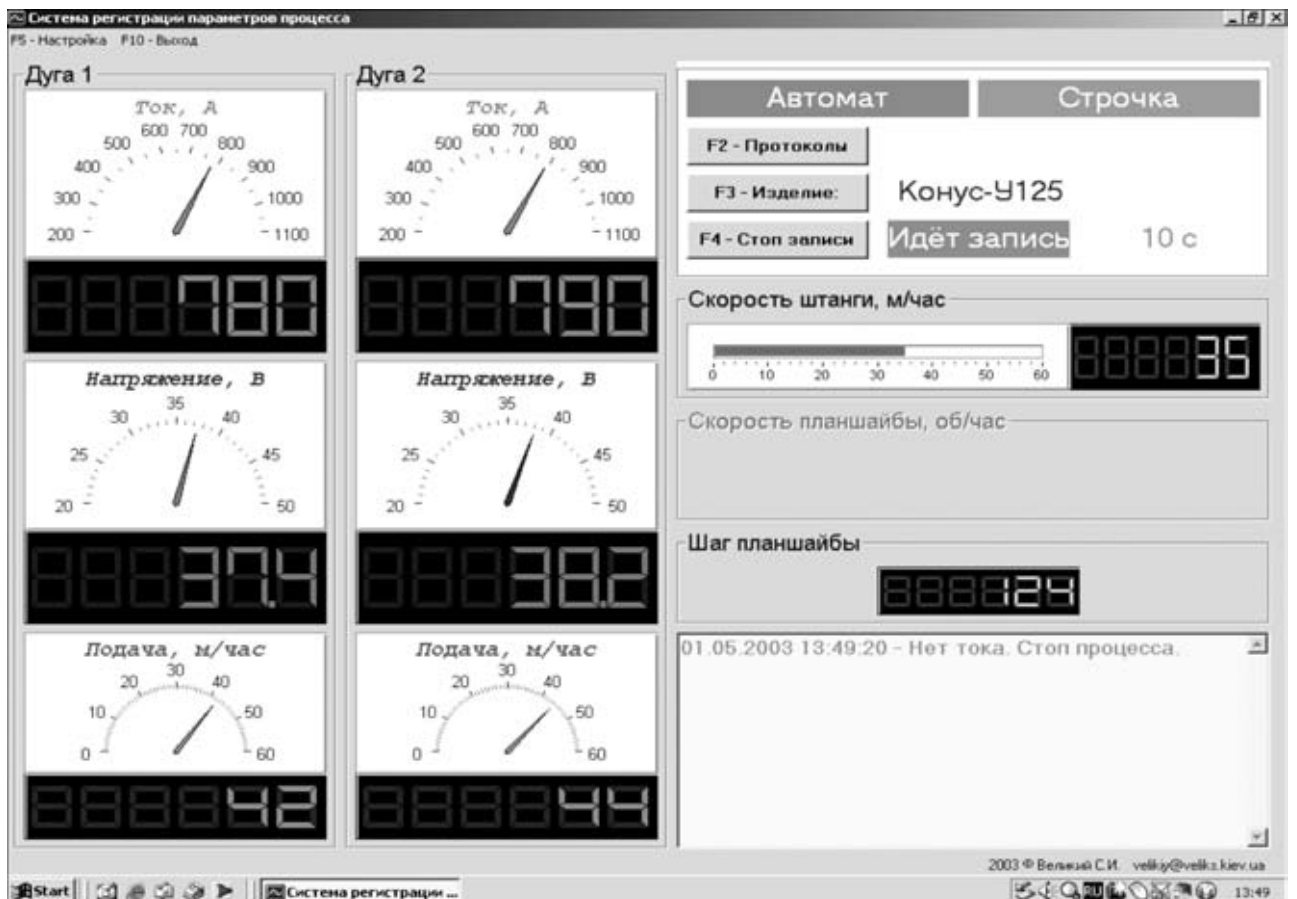


Рис.6. Интерфейс системы регистрации

1	Изделие	Конус-У125									
2	Дата	Время	Ток 1	Ток 2	Напр 1	Напр 2	Под 1	Под 2	Штанга	Планш	Шаг
3											
4	01.05.03	13:48:34	750	750	37,4	38,2	48	44	43	14,2	124
5	01.05.03	13:48:44	750	790	37,4	38,2	48	44	43	14,2	124
6	01.05.03	13:48:54	750	790	37,4	38,2	48	44	43	14,2	124
7	01.05.03	13:49:04	750	790	37,4	38,2	43	44	43	14,3	124
8	01.05.03	13:49:14	750	790	37,4	38,2	42	44	43	14,3	124
9	01.05.03	13:49:30	780	790	37,4	38,2	42	44	43	14,2	124
10	01.05.03	13:49:41	790	790	37,4	38,2	42	44	36	14,3	124
11	01.05.03	13:49:51	780	790	37,4	38,2	42	44	36	14,2	124

Рис. 7. Запись параметров режимов

— в комплекте с аппаратом изготавливается система управления СУ-300, которая выполнена на базе микроконтроллера и обеспечивает управление исполнительными устройствами всей наплавочной установки на основе логической обработки информации, полученной от различных датчиков.

Отличительной особенностью новой электрической схемы является полный отказ от двигателей постоянного тока. Вместо них применяются асинхронные двигатели, дающие возможность плавно регулировать скорость вращения. Схема обеспечивает вывод всех контролируемых параметров на экран дисплея с возможностью записи режимов наплавки в реальных координатах времени, что позволяет паспортизировать изготовление упрочняемых деталей.

Конструктивно новая электрическая схема состоит из двух шкафов, которые одновременно служат и пультами управления (рис. 4, 5), и персонального компьютера. Один из шкафов с главным пультом располагается на рабочей площадке, а второй со вспомогательным пультом на площадке, с которой производится крепление изделия перед наплавкой (зажим кулачков). Последнее позволяет сократить количество кабельных линий в 2–3 раза.

На компьютер выведены показания всех приборов контроля параметров режима (рис. 6) и

производится запись режимов наплавки в реальных координатах времени (рис. 7) с последующим хранением на жестком диске или другом носителе информации. Всю полученную информацию можно просмотреть на экране монитора или распечатать.

Техническая характеристика аппарата А-1812

Сечение порошковой ленты, мм	.....	≤ 18×4
Диаметр электродной проволоки, мм	.....	≤ 3... 5
Напряжение дуги, В	.....	28... 50
Скорость подачи электрода, м/ч	.....	20... 70
Скорость возвратно-поступательного перемещения электродов, м/ч	.....	10... 70
Ход возвратно-поступательного перемещения электродов, мм	.....	≤ 550
Горизонтальное перемещение наплавочного аппарата на салазках, мм	.....	≤ 750
ПВ, %	.....	100

Новый аппарат и система управления изготовлены, апробированы и успешно эксплуатируются с января 2004 г. на комбинате «Криворожсталь».

В сентябре 2004 г. закончен монтаж и технологические испытания нового оборудования на ОАО «Азовмаш», внедрение которого позволило расширить возможности технологического оборудования, увеличить надежность его работы и паспортизировать технологический процесс упрочнения деталей, что в основном решило вопрос повышения качества наплавленных изделий.

Design peculiarities and technical capabilities of the apparatus developed for wide-layer hard-facing of metallurgical equipment are briefly described.

Поступила в редакцию 10.09.2004



ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ наплавки деталей с плоской поверхностью круглой или кольцевой формы в горизонтальном положении, отличающийся тем, что наплавка осуществляется в направлении от внутренних участков к внешним с перемещением сварочной головки в сторону от центра вращения, при этом угловую скорость вращения снижают в соответствии с соотношением $\omega_t = \omega_n(r_n/r_t)$, где ω_t , ω_n — соответственно текущее и начальное значения угловой скорости; r_t , r_n — соответственно текущее и начальное значения расстояния сварочной головки от центра вращения. Приведены и другие отличительные признаки. Патент Украины 66116А. В. Ф. Войтенко, А. Д. Лашко, В. И. Липицкий и др. (ГП «ПКТБ подвижного состава Укрзалізниця») [4].

Горелка электросварочного аппарата, отличающаяся тем, что в электрическую цепь переключателя включен термочувствительный элемент, имеющий контакт с корпусом горелки. Приведены и другие отличия горелки. Патент Украины 66186А. Б. А. Васильев, В. Л. Сорока, Н. В. Чмыхов [4].

Устройство для поверхностной лазерной обработки, отличающееся тем, что зеркало для направления части излучения на заготовку и анализатора отраженного луча выполнено в виде кольца с зеркальной конической поверхностью, а регистрирующий элемент анализатора выполнен в виде специального кольца, рабочая поверхность которого оптически связана с зеркалом через поверхность заготовки. Патент Украины 66005. Е. Е. Романов, В. П. Котляров (НТУУ «Киевский политехнический институт») [4].

Способ оценки делимости шлаковой корки, отличающийся тем, что толщину образца задают не меньше ширины шва, при этом с противоположной стороны от шва в образце выполняют углубление полукруглой формы на глубину не меньше 10 % толщины образца, а глубину провара выполняют не меньше 60 % толщины образца, оценку делимости осуществляют при отделении первого фрагмента шлака. Патент Украины 66004А. В. М. Коперсак, А. М. Сливинский, Л. А. Жданов, В. Т. Котик (То же) [4].

Способ оценки делимости шлаковой корки, отличающийся тем, что наплавку проводят для серии образцов одной ширины и толщины и разной длины, при этом ширина образца меньше ширины зоны пластических деформаций, возникающих вследствие термического цикла сварки, а толщина образца должна быть в два раза больше глубины провара, при этом определяют образец, на котором происходит отделение шлаковой корки в процессе термического напряжения при наплавке, а критерием оценки делимости является длина этого образца. Патент Украины 66203. Л. А. Жданов, А. М. Сливинский, В. М. Коперсак и др. (То же) [4].

Способ возврата отходов обмазочной массы в производство покрытых сварочных электродов, отличающийся тем, что собирают свеженеприготовленные отходы обмазочной массы и зачищают ее от подсыхания в герметичных условиях, а преобразование собранных отходов в опрессовочную массу осуществляют путем полусухого ее растирания, дальнейшего увлажнения ее последовательным дозированием воды в количестве 4...5 мас. % количества отходов. Приведены и другие отличительные признаки. М. Ф. Гнатенко (ООО «Велма») [4].

Способ изготовления двухслойных паяных конструкций, отличающийся тем, что перед нанесением слоя никелевого покрытия на деталь из дисперсионно-твердеющего сплава эту де-

таль подвергают закалке при температуре 980...1050 °С, а старение спаянной конструкции осуществляют в среде инертного газа. Патент РФ 2226457. В. Н. Семенов, К. И. Недашковский, В. П. Мордашев и др. (ОАО «НПО Энергомаш») [10].

Состав электродного покрытия, отличающийся тем, что он дополнительно содержит промпродукты титанового производства при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,5...20 рутилового концентрата; 35,0...54,5 промпродукта титанового производства; 8...10 талька; 18...20 мрамора; 10...12 ферромарганца; 4...5 каолина; 1,2...1,5 целлюлозы. Патент РФ 2226458. Е. С. Альхович, В. П. Слабов, В. И. Цигулев и др. (ОАО «Иртышцветметремонт») [10].

Способ формообразования железуглеродистых припоев, отличающийся тем, что стержень определенной массы вводят в упомянутую форму до контакта с навеской твердого припоя, предварительно размещенной в форме, после чего навеску припоя нагревают, при этом в процессе расплавления припоя производят формообразование его отливки в результате опускания литейного стержня под действием его собственной массы. Патент РФ 2226459. Ю. В. Коллойда, А. А. Бабаев (Новосибирский ГТУ) [10].

Генератор для ультразвуковой сварки, содержащий блок питания, преобразователь постоянного напряжения в ультразвуковую частоту, выход которого соединен с магнитострикционным преобразователем, предназначенным для размещения на нем сварочного наконечника, и задающий генератор частоты импульсов. Приведены отличительные признаки генератора. Патент РФ 2227087. В. М. Новиков, А. Н. Шкулин (ЗАО НПФ «Металлополимер») [11].

Способ соединения стальных труб с алюминиевыми ребрами, при котором сначала на поверхность стальных труб или алюминиевых ребер наносят слой из алюминий-цинкового сплава с содержанием алюминия 0,5...20,0 %, а затем перед или при механическом контакте алюминиевых ребер со стальными трубами между стальными трубами и алюминиевыми ребрами при комнатной температуре вводят флюс в форме тетрафторида цезия-алюминия, после чего стальные трубы, снабженные алюминиевыми ребрами, нагревают в печи до температуры пайки 370...470 °С, а затем охлаждают при комнатной температуре. Патент РФ 2228241. Б. Коришем, Х. Динулеску, Р. Витте, Э. Фолькмер (Геа энергетик ГмбХ, Германия) [12].

Способ упрочнения индукционной наплавкой деталей, отличающийся тем, что углубления на рабочей поверхности изделия изготавливают путем приварки пробковым швом стальных планок, которые располагают перпендикулярно направлению потока абразивной массы, воздействующей на деталь в процессе работы, полученные углубления предварительно заполняют тонким слоем шихты, более легкоплавкой по сравнению с шихтой, образующей матрицу, затем полностью заполняют углубления металлокерамической крупкой, после чего наносят на полученную поверхность детали упомянутую порошковую шихту, содержащую износостойкий сплав и флюс. Патент РФ 2228242. Ю. А. Зайченко, В. В. Косаревский, Л. Н. Очкина, В. Г. Павленко (Инженерный центр «Сплав» МПС) [13].

Способ и устройство для лазерной наплавки, включающее систему автоматического регулирования послойной наплавки материала на подложке, характеризуется тем, что содержит регулируемый лазер, испускающий луч, направленный в локализованный участок подложки для образования на нем ванны расплава, средство подачи материала в ванну расплава для его плавления лазером и получения слоя наплавленного материала с заданной высотой, средство оптического детектирования с оптоэлектрическим чувствительным элементом для выдачи элек-

*Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях Украины «Промислова власність» и бюллетенях РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2004 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



трического сигнала как функции высоты слоя наплавленного материала и регулятор с обратной связью для автоматического регулирования скорости наплавки материала как функции электрического сигнала. Патент РФ 2228243. Д. Мазумдер, Д. Коч (Мазумдер Джиоти, США) [13].

Паста для износостойкой наплавки, содержащая металлический порошок и связующее, отличающаяся тем, что металлический порошок состоит из твердого сплава следующего состава, мас. %: 58...89 карбида вольфрама, 0,1...28,0 карбида титана и 2,6...14,0 кобальта. В качестве связующего паста содержит 4...5%-й водный раствор карбоксиметилцеллюлозы при следующем соотношении компонентов, мас. %: 88...92 металлического порошка твердого сплава и 8...12 4...5%-го водного раствора карбоксиметилцеллюлозы. Патент РФ 2228244. В. В. Рыбин, А. В. Баранов, А. Е. Вайнерман, Н. В. Беляев (ФГУП ЦНИИКМ «Прометей») [13].

Покрывное для защиты поверхности от брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением, содержащее воду, сульфитно-спиртовую барду, отличающееся тем, что в него введен барий, при следующем содержании компонентов, мас. %: 70 воды; 25 сульфитно-спиртовой барды; 5 бария. Патент РФ 2288245. В. Т. Федько, С. Б. Сапожков, Е. А. Зернин, В. М. Гришагин (Томский политехнический институт) [13].

Способ изготовления режущих инструментов из быстрорежущей стали с наплавленной в ультразвуковом поле режущей частью, отличающийся тем, что процесс наплавки режущей части проводят в узле колебаний стоячей ультразвуковой волны. Патент РФ 2228825. Т. М. Гаврилова, О. П. Шевченко, Г. Е. Трекин, В. М. Фарбер (ГОУ Уральский ГТУ) [14].

Способ получения штамповых замкнутых конструкций из листовых металлических материалов, при котором свернутую с перехлестом заготовку помещают в зону действия магнитного индуктора, отличающийся тем, что между свариваемыми

поверхностями заготовки в исходном состоянии устанавливают зазор в интервале 0,3...1,0 мм. Патент РФ 2228826. Е. Л. Стрижаков, Н. А. Карандашев, М. Ю. Бацемакин, Д. С. Хохлов (Донской ГТУ) [14].

Световод для лазерного сваривания или резания неподвижных кольцевых стыков трубопроводов, содержащий поворотные зеркала, каждое из которых закреплено на кинематической паре, установленной в местах изменения направления осей звеньев световода. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2228827. Ю. В. Попадинец [14].

Керамический флюс для автоматической сварки низколегированных сталей, отличающийся тем, что он содержит дополнительно ферросилиций в количестве 0,2...0,5 по отношению к количеству марганца металлического, а также сфеновый концентрат и титаномагнетит, а в качестве связующей добавки — силикат натрия-калия при следующем соотношении компонентов, мас. %: 22...30 плавикового шпата; 14...25 электрокорунда; 22...31 обожженного магнезита; 10...20 сфенового концентрата; 1,3...3,0 марганца металлического; 1,2...2,8 ферротитана; 0,1...0,8 ферробора; 0,4...0,9 титаномагнетита; 0,3...1,0 ферросилиция; 7,7...8,9 силикат натрия-калия. Патент РФ 2228828. И. В. Гарогини, В. А. Мальшевский, А. В. Баранов и др. (ФГУП ЦНИИКМ «Прометей») [14].

Порошковая проволока для наплавки открытой дугой изделий из высокомарганцевой стали, отличающаяся тем, что шихта дополнительно содержит силикокальций и соду кальцинированную при следующем соотношении компонентов, мас. %: 10,0...16,5 марганца; 1,5...6,0 молибдена; 0,5...5,0 феррохрома; 0,4...1,5 феррованадия; 1,5...4,5 флюоритового концентрата; 0,1...1,5 мрамора; 0,2...0,6 рутилового концентрата; 0,2...1,4 силикокальция; 0,2...0,8 соды кальцинированной; остальное оболочка. Патент РФ 2228829. М. М. Берзин, Е. С. Куминов, В. М. Кирьяков, А. В. Клапатюк [14].

ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ



(Польша), 2004. —
Рос. 48, № 1 (пол. яз.)

Kubiszyn I., Pfeifer T. Численная имитация процесса плазменной резки, с. 35–39.

Brozda J. Жаропрочные стали нового поколения, их свариваемость и свойства сварных соединений, с. 41–49.

Zeman M. Сварка современных оребренных стержней для железобетонных конструкций типа RB 500 W с пределом текучести более 500 МПа, с. 49–55.

Slania J. Номограмма, корректирующая содержание феррита в швах, полученных при сварке порошковыми проволоками типа 23/12. Теоретические основы и ход исследований, с. 57–60.

Jezierski G., Pietrow L. Сравнение коррозионной стойкости сварных соединений из сталей 13 HMF и P91 на основании лабораторных исследований, с. 60, 63–64.

Slania J. Практические примеры «walidacji» сварочных процессов, с. 65–67.

(Польша), 2004. —
Рос. 48, № 2 (пол. яз.)

Hobbacher A. Направления развития техники сварки и соединения, используемых при изготовлении надежных и экономических изделий, с. 22–33.

Brozda J. Жаропрочные стали нового поколения, их свариваемость и свойства сварных соединений. Ч. II. Сталь Т/Р23, с. 33–34, 37–43.

Adamiec P., Gawrysiuk W. Свойства наплавленного слоя, обладающего структурой хромистого чугуна, с. 43–48.

Luksa J., Weglowski M. Исследование спектра светового излучения дуги, горящей в среде инертных газов, при сварке неплавящимся электродом, с. 51–55.

JOURNAL OF THE JAPAN
WELDING SOCIETY (Япония),
2003. — Vol. 72, № 6 (яп. яз.)

Техническая спецификация. Влияние микроструктуры на механизм пластического разрушения конструкционной стали, с. 5.

Nogi K., Nagata K. Измерение физических параметров жидкого металла, с. 7–9.

Ogawa Y. Явление сварочной дуги. Обзор, с. 10–13.

Ohji T. Моделирование и программное обеспечение сварочных процессов, с. 14–17.

Seki Y., Nanba S. Разработка способов прогнозирования механических свойств металла шва, с. 18–21.

Murakawa H. Разработка моделей для прогнозирования сварочных деформаций, с. 22–24.

Kitagawa H. Концепция и основы метода молекулярной динамики, с. 25–29.

Nakatani A. Применение моделей молекулярной динамики для оценки механических свойств материалов и прочности конструкций, с. 29–34.

Shimono M., Onodera H. Применение метода молекулярной динамики для моделирования фазовых превращений и прогнозирования структуры, с. 35–38.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заказам (заказ по тел. (044) 227-07-77, НТБ ИЭС).



Ohmura E. Применение метода молекулярной динамики для изучения явления лазерной абляции, с. 39–42.

Takahashi K. Измерение энергии на поверхности и границе раздела методом молекулярной динамики для создания базы данных, с. 43–47.

Minamizaki Y., Kobayashi K. Расчет адгезионной энергии поверхности раздела методом молекулярной динамики, с. 47–50.

Sakagami T. Измерение термоупругих напряжений методом инфракрасной термографии, с. 51–55.

Tonogi T. Применение способа сварки трением с перемешиванием для соединения медных прокладок, с. 56–59.

(Япония), 2003. — Vol. 72,
№ 7 (яп. яз.)

ССТ диаграммы для сварки конструкционных сталей, используемых в строительстве, с. 5.

Komori K. Основные направления разработки материалов для выхлопной системы. Нержавеющая сталь для выхлопной системы, с. 6–11.

1. Kikuchi M. Высокотемпературные материалы, с. 12–16.

2. Nagada W. Коррозионные материалы, с. 17–20.

3. Murata Y. Сварочные материалы для деталей выхлопной системы, с. 21–25.

Ishikawa T. Современная функциональная керамика с градиентными свойствами, с. 26–30.

Kitamoto Y. et al. Контактные машины с электрической системой давления, с. 31–34.

Seto M. Примеры применения пистолетов с электрической системой давления для контактной точечной сварки, с. 35–38.

Kogure H. Ежегодное 57-е заседание МИСа (Осака, Япония, 2004 г.), с. 39–40.

(Япония), 2003. — Vol. 72,
№ 8 (яп. яз.)

Техническая спецификация. База данных по свойствам материалов для моделирования термообработки (МАТЕQ) и эффективность ее применения, с. 3.

Специальный выпуск СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Abe N. Современное состояние и направления развития обработки материалов мощными полупроводниковыми лазерами, с. 6–9.

Kadoya T. Твердотельные лазеры с диодной накачкой и их применение для обработки материалов, с. 10–12.

Miyamoto I. Применение волоконных лазеров, с. 13–17.

Ueno K., Suzuki T. Эксимерные лазеры и их применение для обработки материалов, с. 18–21.

Tsukamoto M., Hashida M. Обработка металлов фемтосекундными лазерами, с. 22–25.

Ishikawa T. Повышение функциональных свойств конструкционных материалов, армированных сверхвысокотемпературным керамическим волокном, с. 26–30.

Imochizuki M. Цифровое моделирование температуры, микроструктуры и напряженно-деформированного поведения в процессе сварки — инструмент прогнозирования свойств сварных соединений, с. 31–39.

Takahashi H. Расчет деталей и конструкций охранного назначения, с. 40–43.

Ohata M. Механизм разрушения многофазных сталей и разработка системы проектирования стальных конструкций, с. 44–47.

(Германия), 2004. —
№ 1 (нем. яз.)



Gartner A. 2004 г. — год техники, с. 1.

Новая техническая литература по сварке, с. 2.

Olainek C. Предпосылки для инноваций, с. 4–6.

Knopp N., Killing R. Высокотемпературная пайка дугой — надежно и экономично (Ч. 2), с. 8–12.

Aichele G., Bar M. Орбитальная сварка — решение сложных задач (Ч. 1), с. 14–17.

Сокращение времени сварки в арктических условиях на одну четверть, с. 19.

Brandenburg A., Olschok S. Гибридная сварка «Лазер — сварка плавящимся электродом в защитном газе» — возможность применения в производстве труб, с. 20–21.

Vanschen W. Плазменная резка. Ч. 1. Принцип, формы сопел, газы, с. 22–24.

Otto F. Молчаливое изменение рабочего договора, с. 25–26.

Trommer G. Что дают способы сварки плавящимся электродом при соединении алюминия?, с. 26–30.

(Германия), 2004. —
№ 2 (нем. яз.)

Schulze W. Повторное испытание дуговых сварочных аппаратов, с. 34–36.

Aichele G. et al. Орбитальная сварка — решение сложных задач (Ч. 2), с. 38–40.

Kreye H., Stoltenhoff T. Холодное газовое напыление для получения бедных оксидами металлических покрытий, с. 42, 44–46.

Vanschen W. Плазменная резка. Ч. 2. Влияние на производительность и качество, техника безопасности и охрана труда, с. 48–51.

Последовательная поставка выхлопных систем на заводе BMW в Лейпциге, с. 52.

Otto F. Требования к защите путем обязательного гарантийного страхования работников за счет предприятия, с. 54.

Szelagowski P. Директивы и стандарты по аттестации сварщиков подводной сварки, с. 56–57.

Vollrath K. Прогресс в «дизайне напыления» стальных листов, с. 58–59.



(Польша), 2004. —
№ 1 (пол. яз.)

Wlosinski W. et al. Сварка трением с перемешиванием сплавов NiAl и FeAl с углеродистой сталью Ст3С, с. 6–12.

Mirski Z. et al. Возможности замещения азота воздухом при лазерной резке, с. 17–20.

Ambroziak A., Lange A. Исследование буферного слоя паяных соединений, с. 21–24.

(Польша), 2004. —
№ 2–3 (пол. яз.)

Gawrysiuk W., Pfeifer T. Применение автономного программирования при разработке программ и технологий роботизированной сварки, с. 2–6.

Ambroziak A., Lange A. Пайка Al–Cu с использованием никелевого буферного слоя, с. 7–9.

Klimpel A., Bulski Z., Lisiecki A., Janicki D. Ремонт дефектов литья в отливках из чугуна с шаровидным графитом методами ручной дуговой наплавки металлическим электродом в защитных газах (ММА, GMA) без предварительного нагрева с использованием порошковой проволоки, с. 10–12.

Boronski D. Локальная деформация стальных панельных конструкций, полученных лазерной сваркой с применением метода лазерной дифракционной интерферометрии, с. 17–21.

Winiowski A., Lis U. Низкотемпературный бескадмиевый серебряный припой, с. 22–24.

QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN
WELDING SOCIETY (Япония) 2003. —
Vol. 21, № 4 (November) яп. яз.

Abdel-Aacham H. et al. Ультразвуковая сварка соединений А 1050/А5052 и А 1050/Cu и их оценка, с. 493–500.

Sakamoto H., Uwase T., Shibata K. Влияние ориентации сдвоенных сфокусированных пучков на эффективность поглощения энергии во время лазерной сварки. Ч. 3. Изучение сварки алюминиевых сплавов сдвоенными сфокусированными пучками Nd:YAG лазера, с. 501–506.

Ichiyama Y., Ichikawa M., Saito T. Влияние режима осадки на ударную вязкость металла шва при сварке оплавлением. Ч. 2. Повышение ударной вязкости металла шва, выполненного сваркой оплавлением на высокопрочной листовой стали, с. 507–514.

Ono M., Shinbo Y., Yoshitake A., Ohmura M. Свойства металла шва, выполненного внахлестку на тонкой листовой стали гибридной лазерно-дуговой сваркой, с. 515–521.



Hayashi T. et al. Эффективность гибридной лазерно-дуговой (мощный CO₂ лазер + МИГ) сварки с точки зрения расширения допусков на зазор, с. 522–531.

Murai R. et al. Экспериментальное исследование оптимальности применения магнитострикционного метода для измерения полного напряжения в сварных конструкциях, с. 532–538.

Hirano S. et al. Микроструктура поверхности раздела разнородного соединения магниевого и алюминиевого сплавов при сварке трением с перемешиванием, с. 539–545.

Satonaka S. et al. Оценка зоны соединения проволок в электронных деталях ультразвуковым методом, с. 546–552.

Nishio K. et al. Прямошовная сварка внахлестку титановых листов с листами углеродистой стали, с. 553–559.

Ono M., Yoshitake A., Ohmura M. Свариваемость высокопрочной тонколистовой стали при применении лазерной сварки для изготовления раскроечных заготовок, с. 560–567.

Nakahashi M. et al. Влияние свойств Si₃N₄ на предел прочности при растяжении соединений Si₃N₄/Cu/SUS304, с. 568–575.

Minami K., Mori T., Horkawa H. Напряженное состояние зоны шва с покрытием, нанесенным горячим цинкованием, и усталостные испытания малогабаритных образцов. Ч. 1. Усталостная прочность сварных соединений, оцинкованных погружением в расплав, с. 576–583.

Minami K. et al. Усталостные испытания полномасштабных образцов сварных соединений с покрытием, нанесенным горячим цинкованием. Ч. 2, с. 584–591.

Ohata M. et al. Условия зарождения вязких трещин в конструкционной стали под циклической нагрузкой. Ч. 2. Оценка критического состояния при зарождении вязких трещин в сварных конструкциях под высокой циклической нагрузкой, с. 592–602.

Ohata A., Mafda Y., Suzuki N. Характеристики усталостной прочности несущих крестообразных соединений стали с угловыми швами при испытаниях методом, с. 603–609.

Fukumoto M. et al. Высокоскоростное газопламенное напыление порошка механического легирования и оценка свойств полученных наноструктурных покрытий, с. 610–614.

Kimura M. et al. Влияние скорости трения на начальное положение зоны схватывания на поверхности раздела соединения. Ч. 4. Изучение механизма соединения при сварке трением, с. 615–622.



(Италия), 2004. — *Ан. LVI.*
— № 1 (итал. яз.)

Scasso M. Развитие сварки, с. 23–29.

Aristotile R. et al. Сварка МИГ стали X100, с. 33–39.

Резервуары из стали с 5...9 % никеля для хранения сжиженных природных газов, с. 43–47.

Batzori A. et al. Оценка усталостной прочности сварных конструкций в судостроении, с. 49–56.

Imoto I. et al. Исследование проектирования конструкций из высокопрочных сталей, с. 67–73.



(Германия), 2004. —
№ 1 (нем. яз.)

Hartmann G. F. Конъюнктура 2004 г., с. 4–5.

Производство алюминия в Германии в 2004 г., с. 5–6.

Кооперация компании ФРАУНХОФЕР и Фарадей, с. 6.

Опасность лазерного излучения часто недооценивают, с. 6–7.

Фирма АВВ работает над применением роботов на основе сенсоров, с. 8.

Регенеративный усилитель повышает мощность лазерных источников, с. 9.

Dilthey U., Ohse P., Piontek D. Сварка полых элементов из высокотемпературных материалов, с. 11–15.

Greitmann M. J., Volz O., Wink H. J. Исследования переходного сопротивления стальных листов с покрытием и без, с. 16–22.

Wesling V. et al. Исследования контактной точечной сварки вновь разработанных стальных листов из высокопрочных сталей и сталей повышенной прочности, с. 23–28.

Из истории сварки: происхождение терминов сварка и сварочное железо, с. 29–30.

Работа службы информации: Обзор литературы по сварке и родственным способам, с. 30–34.

Цифровой анализ свариваемости, с. 35.

Годичное собрание МИС в Бухаресте 2003 г., с. 36–38.