



Сварочное производство

10 (1019)
Октябрь

2019

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии Министерства науки и высшего образования РФ,

Министерства промышленности и торговли РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

Российского научно-технического сварочного общества

Издается с января 1930 года

Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

Ю. В. Будкин	В. В. Пешков
В. К. Драгунов	А. И. Рымкевич
А. В. Казаков	Ю. Н. Сарасев
Е. А. Калашников	О. Н. Севрюков
О. Е. Капустин	З. А. Сидлин
В. И. Кулик	В. А. Фролов
А. В. Люшинский	Г. Л. Хачатрян
В. П. Лялякин	О. А. Цукуров
Г. А. Меньшиков	И. Н. Шиганов
И. Н. Пашков	М. М. Штрикман

Ответственный редактор Т. В. Аулова
Электронная верстка: ИП О. В. Прохоров
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов
Редактор-переводчик Г. С. Потапова

Адрес редакции:

Москва,
ул. Большая Новодмитровская, 23.

Для корреспонденции:

127015, Москва, а/я 65,
Издательский центр
"Технология машиностроения".

Телефоны:

гл. редактор — (495) 796 2491;
редакция — (495) 640 7903.

E-mail: svarka@ic-tm.ru

Http://www.ic-tm.ru

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

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное
производство" категорически запрещена
без оформления договора в соответствии
с действующим законодательством РФ.

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

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей ученых
степеней (сайт: vak.ed.gov.ru/87).

Журнал входит в систему цитирования РФ РИНЦ,
международные реферативные базы данных научных
изданий "Chemical Abstracts" и "Scopus".

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Иванов В. П., Лещинский Л. К., Степнов К. К. — Управление процес-
сом легирования наплавляемого металла переменного химического
состава 3
- Малинов Л. С., Малинов В. Л., Бурова Д. В. — Повышение износо-
стойкости малоуглеродистого наплавленного металла с различным
содержанием марганца за счет получения метастабильного аустени-
та в структуре 9
- Лузан С. А., Сидашенко А. И., Лузан А. С. — Повышение износостой-
кости наплавленных покрытий системы Ni-Cr-B-Si путем модифици-
рования композиционными материалами, синтезированными с при-
менением СВС-процесса 15
- Бурков А. А., Кулик М. А., Крутикова В. О. — Электроискровое осаж-
дение высокоэнтропийных CrFeCoNiCu покрытий на сталь 35 в смеси
гранул из чистых металлов 21

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Непомнящих А. С., Усольцев А. А.,
Попова М. В. — Разработка новой порошковой проволоки на основе
пыли газоочистки силикомарганца 28
- Бердник О. Б., Царева И. Н., Кривина Л. А., Тарасенко Ю. П. — По-
рошковая плазменная наплавка как способ повышения износостой-
кости и ресурса стальных деталей машин 34
- Лаврик В. П., Суглобов В. В., Смотугин С. С., Сагиров Ю. Г. —
Исследование и разработка способа ремонта деталей опорно-пово-
ротного круга строительных башенных кранов автоматической на-
плавкой слоев градиентной структуры 38
- Волков С. С., Неровный В. М., Бигус Г. А. — Разработка оптимальной
схемы управления процессом ультразвуковой сварки искусственных
кож 43

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

- Барыкин А. Н., Будкин Ю. В., Икрянников В. О. — Исследование
предпосылок прогрессивного сценария развития национальной сис-
темы стандартизации Российской Федерации 50

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Чайков М. Ю. — Оптимизация бизнес-процессов для повышения произ-
водительности труда 55

ИНФОРМАЦИЯ

- Семинар в Гомеле (Международная ассоциация "Электрод") 59
- Учебное пособие "Лазерные аддитивные технологии в машинострое-
нии" 60

УДК 621.791:624

Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук,

А. С. НЕПОМНЯЩИХ, магистрант, А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук,

М. В. ПОПОВА, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsib.ru

Разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки силикомарганца

Изучена возможность изготовления порошковой проволоки с использованием пыли газоочистки производства силикомарганца и пыли газоочистки алюминиевого производства при различном соотношении компонентов. В качестве компонентов использовались: пыль газоочистки алюминиевого производства мас. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4-6$; $CaO = 0,7-2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,1-0,18$ и пыль газоочистки силикомарганца, мас. %: $Al_2O_3 = 2,43$; $Na_2O = 1,32$; $K_2O = 5,56$; $CaO = 6,4$; $SiO_2 = 29,19$; $BaO = 0,137$; $MgO = 7,54$; $S = 0,23$; $P = 0,04$; $Fe = 1,067$; $Mn = 27,69$; $Zn = 2,687$; $Pb = 3,833$.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского металлургического завода с химическим составом: $Al_2O_3 = 6,91-9,62$ %, $CaO = 22,85-31,70$ %, $SiO_2 = 46,46-48,16$ %, $FeO = 0,27-0,81$ %, $MgO = 6,48-7,92$ %, $MnO = 8,01-8,43$ %, $F = 0,28-0,76$ %, $0,26-0,36$ %, $K_2O = 0,6-2$ %, $S = 0,15-0,17$ %, $P = 0,01$ %. Определен режим наплавки. Испытания на износ образцов производили на машине 2070 СМТ-1. Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость наплавленных слоев измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Оценка неметаллических включений проведена по ГОСТ 1778-70 с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51.

Подтверждена принципиальная возможность изготовления порошковой проволоки для износостойкой наплавки с использованием пыли газоочистки производства силикомарганца и пыли газоочистки алюминиевого производства при различном соотношении компонентов. Изучены качественные показатели и рассчитаны коэффициенты усвоения марганца при различных соотношениях компонентов. Проведена статистическая обработка результатов исследований, построены статистические зависимости влияния компонентного состава на свойства наплавленного слоя.

The possibility of producing flux-cored wire by using gas cleaning dust of the silicomanganese production and gas cleaning dust of aluminum production with a different ratio of components is studied. As components used: gas cleaning dust of aluminum production, wt. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4-6$; $CaO = 0,7-2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$; $C_{total} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,1-0,18$ and the dust of gas cleaning silicomanganese, wt. %: $Al_2O_3 = 2,43$; $Na_2O = 1,32$; $K_2O = 5,56$; $CaO = 6,4$; $SiO_2 = 29,19$; $BaO = 0,137$; $MgO = 7,54$; $S = 0,23$; $P = 0,04$; $Fe = 1,067$; $Mn = 27,69$; $Zn = 2,687$; $Pb = 3,833$.

Deposition is performed under a flux made from slag of silicomanganese produced by the West-Siberian Metallurgical Plant with the chemical composition: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6.91\text{—}9.62\%$, $\text{CaO} = 22.85\text{—}31.70\%$, $\text{SiO}_2 = 46.46\text{—}48.16\%$, $\text{FeO} = 0.27\text{—}0.81\%$, $\text{MgO} = 6.48\text{—}7.92\%$, $\text{MnO} = 8.01\text{—}8.43\%$, $\text{F} = 0.28\text{—}0.76\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 0.26\text{—}0.36\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.6\text{—}2\%$, $\text{S} = 0.15\text{—}0.17\%$, $\text{P} = 0.01\%$. The deposition mode is selected. The samples wear tests carried out on the machine 2070 SMT-1. The chemical composition of the deposited metal is determined by the X-ray fluorescence method on an XRF-1800 spectrometer and the atomic emission method on a DFS-71 spectrometer. The hardness of the deposited layers is measured through the use of the MET-DU hardness tester. Evaluation of non-metallic inclusions carried out according to GOST 1778—70 through the use of the optical microscope OLYMPUSGX-51.

The principal possibility of manufacturing flux-cored wire for wear-resistant deposition through the use of the gas cleaning dust of the production of silico-manganese and gas cleaning of aluminum production with a different ratio of components is shown. Qualitative indicators are studied and the manganese absorption coefficients for various ratios of components are calculated. Statistical processing of research results is carried out; statistical dependencies of the component composition effect on the properties of the deposited layer are constructed.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, образцы, неметаллические включения, микроструктура, твердость, скорость истирания

Key words: flux-cored wire, deposition, samples, non-metallic inclusions, microstructure, hardness, abrasion rate

Разработке новых порошковых проволок для износостойкой наплавки на основе марганца и марганецсодержащих компонентов придается большое значение в РФ и за рубежом [1—5]. Причем рациональное использование марганца в металлургических процессах считается одной из важнейших задач. Известно, что в электрометаллургии стали используется технология прямого восстановления марганца из оксидного сырья, минуя процесс получения восстановленного марганца [6—8].

Такой процесс, протекающий при дуговом разряде, представляет интерес для практического использования в процессе наплавки порошковой проволокой, в которой в качестве наполнителя используют восстанавливаемое оксидное вещество и восстановитель. В данной работе рассмотрена возможность изготовления порошковых проволок на основе пыли газоочистки алюминиевого производства (в качестве восстановителя) и пыли газоочистки силикомарганца (в качестве восстанавливаемого компонента — оксида марганца). Ранее не была проведена работа по изготовлению порошковых проволок на основе пыли газоочистки алюминиевого производства (в качестве восстановителя) [9] и определена возмож-

ность восстановления вольфрама из оксидов вольфрама [10—12].

Изготовление проволоки проводили на лабораторной установке по изготовлению порошковых проволок по технологии с пропуском через фильеры. Диаметр изготовленной проволоки 6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались: пыль газоочистки алюминиевого производства мас. %: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 21\text{—}46,23$; $\text{F} = 18\text{—}27$; $\text{Na}_2\text{O} = 8\text{—}15$; $\text{K}_2\text{O} = 0,4\text{—}6$; $\text{CaO} = 0,7\text{—}2,3$; $\text{Si}_2\text{O} = 0,5\text{—}2,48$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,1\text{—}3,27$; $\text{C}_{\text{общ}} = 12,5\text{—}30,2$; $\text{MnO} = 0,07\text{—}0,9$; $\text{MgO} = 0,06\text{—}0,9$; $\text{S} = 0,09\text{—}0,19$; $\text{P} = 0,1\text{—}0,18$ и пыль газоочистки силикомарганца, мас. %: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,43$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,32$; $\text{K}_2\text{O} = 5,56$; $\text{CaO} = 6,4$; $\text{SiO}_2 = 29,19$; $\text{BaO} = 0,137$; $\text{MgO} = 7,54$; $\text{S} = 0,23$; $\text{P} = 0,04$; $\text{Fe} = 1,067$; $\text{Mn} = 27,69$; $\text{Zn} = 2,687$; $\text{Pb} = 3,833$. В табл. 1 приведены компонентные составы исследуемых проволок и полученные коэффициенты заполнения и усвоения марганца.

Наплавку проводили под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода с химическим составом: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,91\text{—}9,62\%$, $\text{CaO} = 22,85\text{—}31,70\%$, $\text{SiO}_2 = 46,46\text{—}48,16\%$, $\text{FeO} = 0,27\text{—}0,81\%$,

Таблица 1

№	Пыль газо-очистки силикомарганца, %	Пыль газо-очистки алюминиевого производства, %	Коэффициент заполнения, %	Усвоение марганца, %
81	89,89	10,11	7,217	73
82	81,63	18,37	7,258	82
83	74,77	25,23	6,535	88
84	68,96	31,04	5,172	126
85	59,70	40,3	5,794	124
86	50	50	6,928	124

MgO = 6,48—7,92 %, MnO = 8,01—8,43 %, F = 0,28—0,76 %, 0,26—0,36 % K₂O = 0,6—2 %, S = 0,15—0,17 %, P = 0,01 %, с использованием сварочного трактора ASAW — 1250 на стальные пластины толщиной 14—16 мм размером 100 × 500 мм. Подобран режим наплавки: сила тока 520 А, напряжение 28 В, скорость сварки 18 м/ч, обеспечивающий высокие сварочно-технологические свойства проволоки (возбуждение дуги, стабильность горения дуги, формирование валика, отделение шлаковой корки и отсутствие дефектов при наплавке). Химический состав наплавленного металла

определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 (табл. 1). Твердость наплавленных слоев измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ.

При испытании на износостойкость использовали метод потери массы образца (разница массы образца до и после испытания) при испытании диск — колодка. Износ образцов производили на машине 2070 СМТ-1, обладающей следующими характеристиками: погрешность измерителя частоты вращения вала нижнего образца составляет ±3 %, предел допускаемого значения среднего квадратичного отклонения случайной составляющей приведенной погрешности измерителя момента трения в режиме статического нагружения — 1 %. Испытания проводились при режиме: нагрузка 30 мА (78,4 Н), частота 20 об/мин., нагружение образцов производилось с помощью пружинного механизма, частота вращения измерялась с помощью тахогенератора на валу двигателя, а число оборотов с помощью бесконтактного датчика. В процессе испытания образец взаимодействовал с диском, изготовленным из ста-

Таблица 2

Маркировка	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	S	P
81	0,08	0,38	1,31	0,03	0,08	0,11	0,001	0,006	0,079	0,017
82	0,08	0,57	1,35	0,05	0,06	0,19	0,052	0,012	0,074	0,014
83	0,08	0,40	1,19	0,04	0,07	0,010	0,011	0,009	0,063	0,015
84	0,09	0,49	1,25	0,03	0,08	0,09	0,011	0,006	0,076	0,017
85	0,16	0,46	1,19	0,02	0,07	0,07	0,011	0,006	0,073	0,016
86	0,22	0,50	1,19	0,03	0,07	0,07	0,006	0,006	0,083	0,014

Таблица 3

Маркировка	Массовая доля элементов, %													
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	Cr ₂ O ₂	F	TiO ₂
81	1,80	8,37	29,95	43,65	7,27	5,30	0,39	0,16	0,17	0,010	0,040	0,048	0,63	0,07
82	2,25	8,16	30,05	44,45	7,70	5,47	0,39	0,13	0,14	0,012	0,038	0,059	0,62	0,06
83	1,77	8,13	30,17	43,84	7,51	5,17	0,37	0,07	0,17	0,011	0,014	0,050	0,62	0,06
84	2,75	7,52	31,62	43,12	7,56	5,33	0,30	0,09	0,15	0,011	0,012	0,053	0,47	0,06
85	2,11	7,93	30,57	42,95	8,41	5,58	0,46	0,08	0,18	0,011	0,016	0,043	0,77	0,07
86	2,11	7,75	30,30	42,47	8,47	5,42	0,46	0,05	0,17	0,011	0,011	0,036	0,83	0,07

Таблица 4

№	Износ, г/об.	Твердость, НВ
81	0,000146	126
82	0,000132	136
83	0,000102	132
84	0,000126	133
85	0,000095	143
86	0,000127	167

ли типа Р18. Параметры порошковых проволок приведены в табл. 1.

Оценка неметаллических включений проводилась согласно ГОСТ 1778—70 на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 при увеличении $\times 100$. Микроструктура изучалась в диапазоне увеличений $\times 100$ после травления поверхности образцов в 2 %-ном растворе азотной кислоты, величину зерна определяли по ГОСТ 5639—82.

Химический состав наплавленного слоя металла и химический состав шлаковых корок приведен в табл. 2 и 3, твердость и результаты испытания на износостойкость в табл. 4.

Проведенные исследования показали, что усвоения марганца (отношение концентрации марганца, полученного в наплавленном металле, к общему количеству введенного из порошковой проволоки марганца) связано не только с восстановлением оксида марганца из марганецсодержащей пыли газоочистки, за счет содержащегося в порошковой проволоке углерода, но и с восстановлением марганца из марганецсодержащего флюса (при избытке углерода в порошковой проволоке). За счет восстановления марганца из флюса получено усвоение марганца более 100 % (табл. 1). Химический состав наплавленного слоя металла приведен в табл. 2.

Химический состав шлаковых корок представлен в табл. 3.

Твердость и износ образцов приведены в табл. 4.

Усвоение марганца зависит от коэффициента заполнения порошковой проволоки (рис. 1), а так же от концентрации в составе

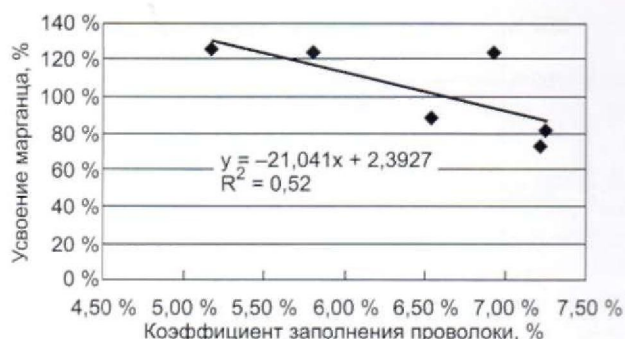


Рис. 1. Зависимость усвоения марганца от коэффициента заполнения порошковой проволоки

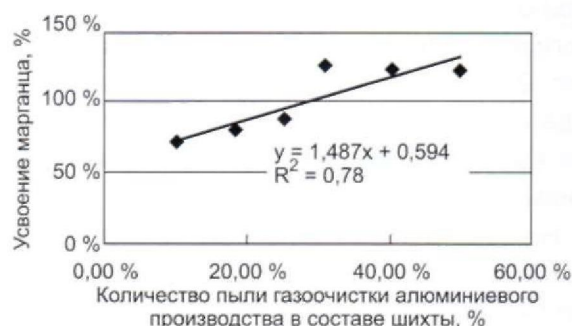


Рис. 2. Зависимость усвоения марганца от концентрации пыли газоочистки алюминиевого производства

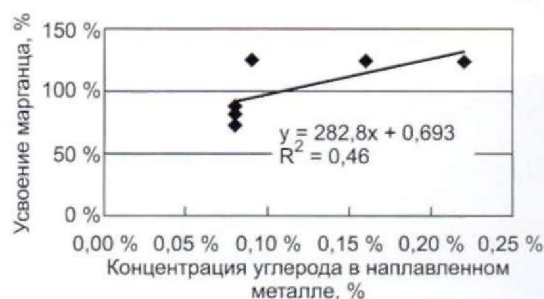


Рис. 3. Зависимость усвоения марганца от концентрации углерода в наплавленном металле

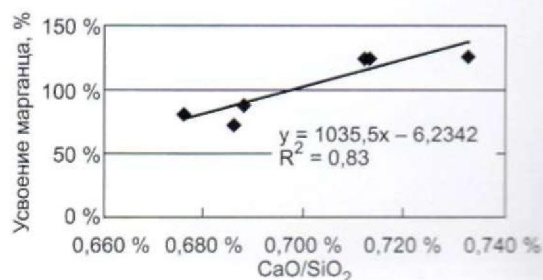


Рис. 4. Влияние основности на усвоение марганца

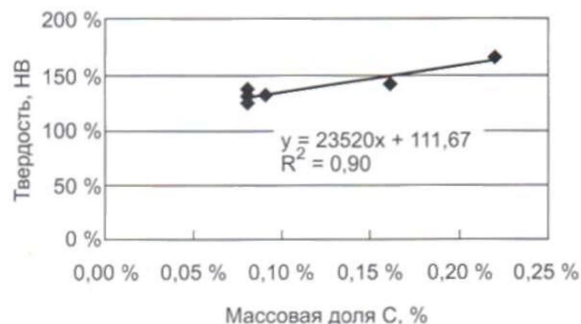


Рис. 5. Влияние концентрации углерода в наплавленном металле на твердость

шихты углеродсодержащего материала (пыли газоочистки алюминиевого производства) (рис. 2) и, соответственно, концентрации углерода в наплавленном металле (рис. 3). Усвоение марганца (рис. 4) связано с повышением основности (отношением CaO/SiO_2).

На рис. 5 приведена полученная известная зависимость, указывающая на увеличение твердости с повышением концентрации углерода.

Оценка влияния химического состава порошковых проволок на скорость износа и твердость наплавленного слоя проводилась математико-статистическими методами, которые

позволяют изучить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов.

По результатам вычислений получены зависимости, адекватность которых фактическим значениям проверялась по показателю средней ошибки аппроксимации:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{Y_i - \tilde{Y}_i}{Y_i} \right| \cdot 100, \quad (1)$$

где m — количество наблюдений; $\tilde{Y}_i$ — вычисленное значение результирующего показателя; Y_i — фактическое значение результирующего показателя.

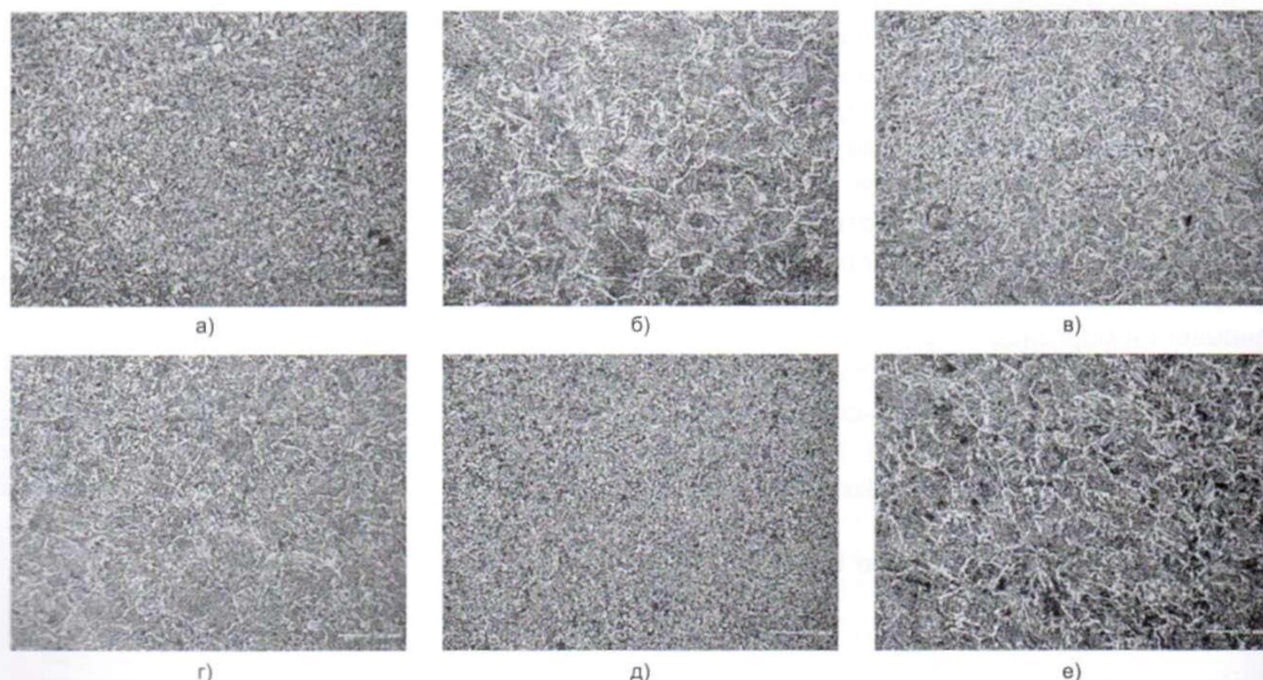


Рис. 6. Микроструктура образцов после травления $\times 100$. Образцы: а) 81; б) 82; в) 83; г) 84; д) 85; е) 86

Зависимости твердости наплавленного слоя и его износостойкости от его химического состава, полученные в результате проведенного анализа:

твердость: $HV = -288,88 + 336,15C + 294,98Mn + 112,86Si + 136,75Al - 377,73Cu$, (ошибка аппроксимации составляет 3,75 %)

и износ: $I = -0,001176 + 0,000291C + 0,000981Mn + 0,000262Si - 0,000766Cu$, (ошибка аппроксимации составляет 6,4 %).

Оценка полученных в наплавленном слое металла неметаллических включений, проведена согласно ГОСТ 1778—70, и представлена на табл. 5.

Полученная после травления микроструктура образцов феррито-перлитная (рис. 6). Все образцы характеризуются равномерным распределением структурных составляющих, однако в структуре образцов № 82 и 86 более четко выявляются границы бывших зерен аустенита, перлит имеет игольчатое строение. Появление игольчатых структур говорит о снижении пластичности и вязкости, при этом твердость возрастает. Поэтому в двух группах образцов с близким содержанием углерода (0,008—0,009 % C и 0,16—0,22 %) образцы № 82 и № 86 имеют наиболее высокую твердость. Оценка неметаллических включений в зоне сварных швов приведена в табл. 5.

ВЫВОДЫ

1. Разработана порошковая проволока с использованием пыли газоочистки производства силикомарганца и пыли газоочистки алюминиевого производства при различном соотношении компонентов для износостойкой наплавки.

2. Определены оптимальные режимы наплавки, изучены качественные показатели и рассчитано усвоение марганца при различных соотношениях компонентов.

3. Проведена статистическая обработка результатов исследований, построены зависимости влияния компонентного состава на свойства наплавленного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Metlitskii V. A.* Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. Vol. 22. P. 796—800.
2. *Filippov M. A., Shumyakov V. I., Balin S. A., Zhilin A. S., Lechchilo V. V., Rimer G. A.* Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium—carbon austenite // *Welding International*. 2015. Vol. 29. P. 819—822.
3. *Тепляшин М. В., Комков В. Г., Старушенко В. А.* Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // *Электронное научное издание "Ученые заметки ТОГУ"*. 2013. Т. 4. № 4. С. 1543—1549.
4. *Пацекин В. П., Рахимов К. З.* Производство порошковой проволоки / М.: Металлургия, 1979. 80 с.
5. *Патон Б. Е.* Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / М.: Металлургия, 1974. 768 с.
6. *Наконечный А. Я., Пономаренко А. Г., Певцова В. М.* Выплавка марганецсодержащих сталей с использованием металлургического легирования марганцем // *Черная металлургия. Бюллетень ЦНИИ и ТЭИ ЧМ*. 1982. № 21. С. 46—47.
7. *Умаров К. У., Назаренко В. Я., Ахметов А. Б., Толымбеков М. Ж.* Исследование эффективности прямого легирования стали 110Г13Л марганцевыми рудами Центрального Казахстана. Совершенствование технологии и автоматизации сталеплавильных процессов. Межвуз. сб. науч. тр. / Магнитогорск: 1992. С. 43—51.
8. *Толстогузов Н. В., Годик Л. А., Маматов Ю. М., Шерстнев Г. А., Козырев Н. А.* Прямое легирование стали марганцем в дуговых электросталеплавильных печах // *Сталь*. 1995. № 1. С. 24—27.
9. *Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Усольцев А. А., Уманский А. А., Соколов П. Д.* Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углеродфторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2018. № 1. С. 77—86.
10. *Бояринцев С. Е., Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Намчик А. Д., Усольцев А. А.* О возможности восстановления WO_3 при дуговом разряде. Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 324—327.
11. *Козырев Н. А., Шурупов В. М., Кушнаренко Н. Н., Козырева О. Е., Титов Д. А.* Исследование возможности использования вольфрамсодержащих руд и их производных при наплавке стали // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 8. С. 567—571.
12. *Бендре Ю. В., Горюшкин В. Ф., Крюков Р. Е., Козырев Н. А., Бащенко Л. П.* Термодинамическая оценка процессов восстановления WO_3 углеродом и кремнием // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2018. Т. 61. № 3. С. 211—216.