

Анализ параметров микроструктуры наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V

Е. В. ПОЛЕВОЙ¹, канд. техн. наук, Н. А. КОЗЫРЕВ², д-р техн. наук, А. Р. МИХНО²,
А. А. УСОЛЬЦЕВ², канд. техн. наук, А. А. КОМАРОВ²

¹ АО “ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат”, г. Новокузнецк, Россия

² Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия (mikno-mm131@mail.ru)

Исследованы параметры микроструктуры наплавленного металла порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V, в состав шихты которой взамен аморфного углерода введена добавка, содержащая углерод и фтор — пыль газоочистки алюминиевого производства. Проведен анализ химического состава и изучены параметры микроструктуры, такие, как диаметр зерна, межпластинчатое расстояние, тип получаемой структуры наплавленного слоя.

Ключевые слова: наплавка; порошковая проволока; микролегирование; микроструктура; межпластинчатое расстояние; доля перлита; химический состав.

ВВЕДЕНИЕ

Структурно-фазовое состояние металла, формирующееся в процессе наплавки, определяется ее режимами, способами проведения и выбранными материалами и в итоге влияет на физические, механические характеристики и срок службы восстанавливаемого изделия. В настоящее время актуальной проблемой является повышение надежности восстановленных методом электродуговой наплавки металлических изделий, эксплуатируемых в горнорудной и металлургической промышленности. Важную роль в ее решении играют выбранные для проведения процесса наплавки материалы, гарантирующие получение высоких физических и механических свойств восстановленной поверхности [1 – 5].

Требуемые эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях ударно-абразивной нагрузки, могут быть обеспечены электродуговой наплавкой с использованием порошковых проволок системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V. Активными разработками новых и улучшением стандартных порошковых проволок этой системы занимается научно-производственный центр “Сварочные процессы и технологии” ФГБОУ ВО “СибГИУ” [6, 7]. В условиях научно-производственного центра был разработан новый состав порошковой проволоки с использованием содержащего углерод и фтор материала, представляющего собой пыль газоочистки алюминиевого производства. Использование такой проволоки позволяет исключить образование пор, раковин, тре-

щин и способствует удалению водорода из наплавленного слоя за счет компонента порошковой проволоки, содержащего углерод и фтор. Подбор химического состава таких проволок является сложной научно-технической задачей [8 – 10].

Данная работа является продолжением исследований наплавленных слоев порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V, в состав шихты которой взамен аморфного углерода введена добавка, содержащая углерод и фтор, — пыль газоочистки алюминиевого производства. Изучены параметры микроструктуры: диаметр зерна, межпластинчатое расстояние, тип получаемой структуры наплавленного слоя.

Цель настоящей работы — сравнительный анализ характеристик микроструктуры наплавленных образцов, полученных с применением порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изготовление порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V проводили на лабораторной установке методом протяжки ленты из стали Ст3 через фильеры и наполнением сердцевины следующими порошковыми материалами: железный порошок; пыль газоочистки алюминиевого производства (добавка, содержащая углерод и фтор), вводимая взамен аморфного углерода; порошки марганца, кремния, никеля, ванадия, молибдена, хрома [11, 12].

Таблица 1. Химический состав наплавленного слоя в исследованных образцах

Образец	Содержание элементов, % (масс.)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S	P
1	0,33	0,78	0,91	1,37	0,46	0,46	0,58	0,069	0,022
2	0,44	0,75	0,70	1,75	0,24	0,27	0,31	0,072	0,027
3	0,47	0,86	1,02	1,52	0,51	0,52	0,64	0,066	0,023
4	0,58	0,64	0,92	1,15	0,35	0,37	0,51	0,076	0,020
5	0,40	0,78	1,04	1,61	0,51	0,49	0,65	0,059	0,020

Таблица 2. Основные параметры микроструктуры исследованных образцов

Образец	П, % (масс.)	МПП, мкм	<i>d</i> , мкм	Номер зерна	Примечание
1	30 (± 5,0)	0,220 (± 0,020)	20,0 (± 5,0)	9	Наличие полосчатой структуры
2	25 (± 5,0)	0,115 (± 0,015)	15,0 (± 5,0)	9	
3	30 (± 5,0)	0,150 (± 0,020)	20,0 (± 5,0)	9	
4	20 (± 5,0)	0,200 (± 0,020)	5,0 (± 0,5)	6	—
5	15 (± 5,0)	0,150 (± 0,020)	5,5 (± 0,5)	6	—

Обозначения: П — содержание перлита; МПП — межпластинчатое расстояние; *d* — диаметр зерна.

Электродуговую наплавку под флюсом, содержащим марганец, изготовленным из шлака производства силикомарганца с применением разработанных порошковых проволок, проводили на пластины из стали Ст3 в четыре слоя при следующих режимах: сила тока 420 – 520 А, напряжение дуги 28 – 32 В, скорость наплавки 7,2 – 9 м/ч.

Химический состав наплавленного металла оценивали рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71.

Основные параметры микроструктуры (диаметр зерна, межпластинчатое расстояние перлита, доля перлита) определяли с применением сканирующего электронного микроскопа Tescan MIRA 3 LMN.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав наплавленных слоев металла, полученного с использованием изготовленной опытной проволоки, приведен в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает достаточно высокую вариативность содержания основных и легирующих химических элементов в наплавке. По содержанию углерода металл всех наплавленных слоев можно отнести к среднеуглеродистой стали (от 0,33 до 0,58 %). Наплавленный металл характеризуется умеренным легированием кремнием, марганцем и хромом — 0,64 – 0,86 % С, 0,70 – 1,04 % Mn и 1,15 – 1,75 % Cr. При этом содержание микролегирующих карбидообразующих элементов (молибдена и ванадия) в нем достаточно высокое: 0,24 – 0,51 % Mo и 0,31 – 0,65 % V. Наряду с этим в наплавленном слое обнаружена значительная доля вредных при-

месных элементов — фосфора (0,020 – 0,027 %) и серы (0,059 – 0,072 %), что обусловлено их высоким содержанием в исходной порошковой проволоке. Применение более качественных сварочных материалов позволит уменьшить концентрацию этих примесей в наплавке.

Средние значения основных параметров микроструктуры наплавленного металла исследуемых образцов приведены в табл. 2, а ее фотографии представлены на рис. 1 и 2.

Анализ полученных данных показал, что наплавленный металл во всех исследованных образцах имеет ферритно-перлитную структуру, характерную для доэвтектоидной среднеуглеродистой стали с долей перлита от 15 % (образец 5) до 30 % (образцы 1 и 3). Межпластинчатое расстояние в структуре изменяется в интервале от 0,115 мкм (образец 2) до 0,220 мкм (образец 1).

Следует отметить, что в наплавленном металле образцов 1, 2 и 3 (рис. 1) наблюдается полосчатая структура с более крупным зерном, чем в остальных случаях. У образцов 1, 2, 3 средний размер такого зерна $20 \pm 5,0$; $15 \pm 5,0$ и $20 \pm 5,0$ мкм соответственно, что отвечает №9 стандарта. Мелкозернистая структура с равномерным распределением зерен феррита и перлита при их среднем диаметре 5,0 – 5,5 мкм (№ 6) выявлена в наплавленном металле образцов 4 и 5 (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован химический состав наплавленного слоя с использованием порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V, в шихту для

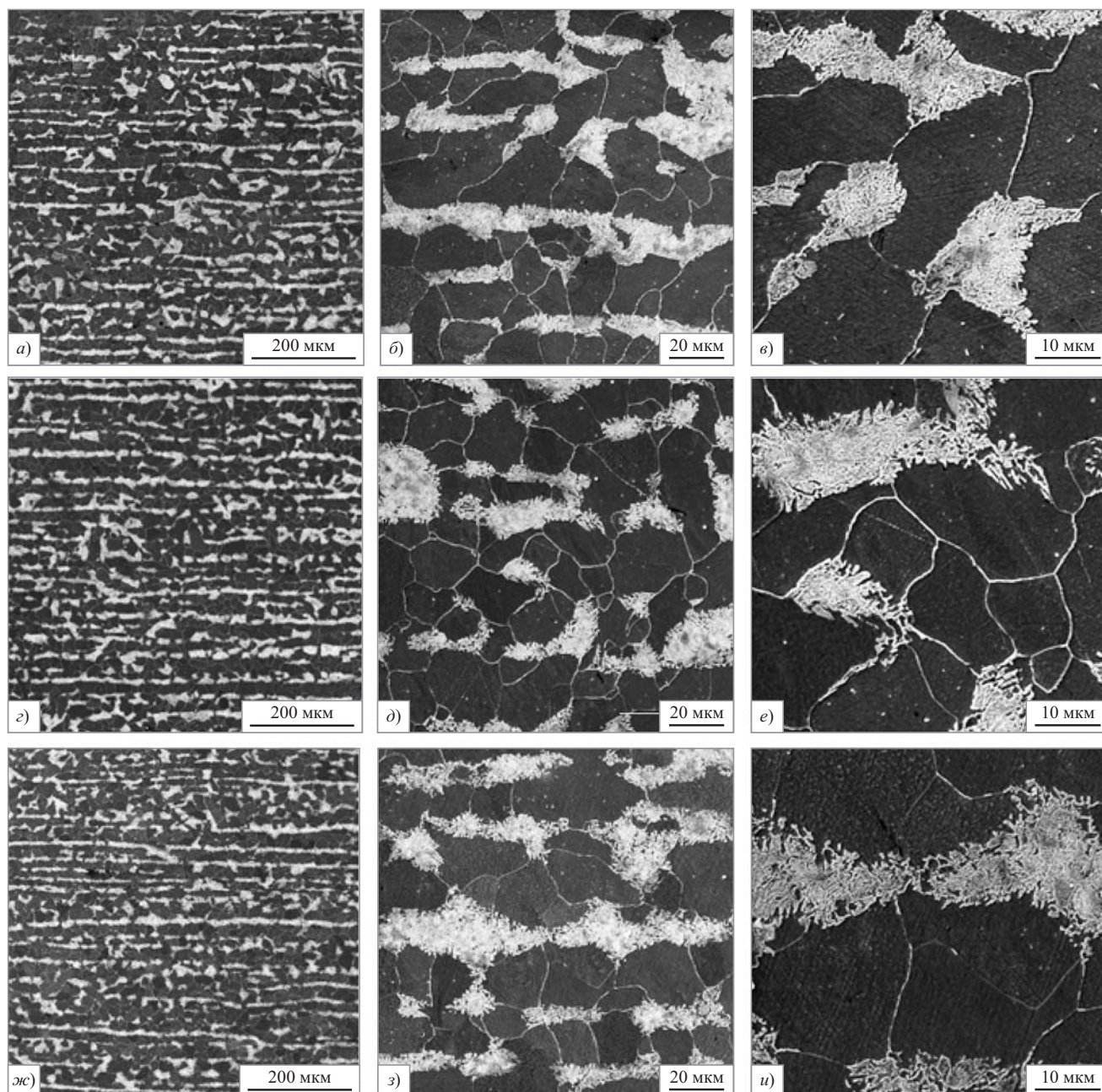


Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла образца 1 (а – в), 2 (з – е), 3 (жс – и):

а, з, жс — × 400; б, д, з — × 2000, в, е, и — × 5000

изготовления которой вместо аморфного углерода введена добавка, содержащая углерод и фтор.

Металлографический анализ показал, что наплавленные слои имеют ферритно-перлитную структуру, характерную для доэвтектоидной низкоуглеродистой стали. В ряде образцов формируется крупнозернистая полосчатая структура с равномерным распределением зерен феррита и перлита, благоприятно влияющая на характеристики наплавленного слоя (твердость и износостойкость).

Работа выполнена в рамках государственного задания (шифр темы 0809-2021-0013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагауз В. П., Козлов Э. В., Данилов В. И. и др. Структурно-фазовые состояния и механические свойства толстых сварных швов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2018. 150 с.
2. Денисова Ю. А., Иванов Ю. Ф., Иванова О. В. и др. Эволюция структуры поверхностного слоя стали, подвергнутой электронно-ионно-плазменным методам обработки / Под ред. Н. Н. Ковалы и Ю. Ф. Иванова. Томск: Изд-во НТЛ, 2016. 304 с.
3. Конева Н. А., Козлов Э. В. Физическая природа стадийности пластической деформации // Структурные уровни пластической деформации и разрушения: монография / под ред. В. Е. Панина. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1990. С. 77 – 123.

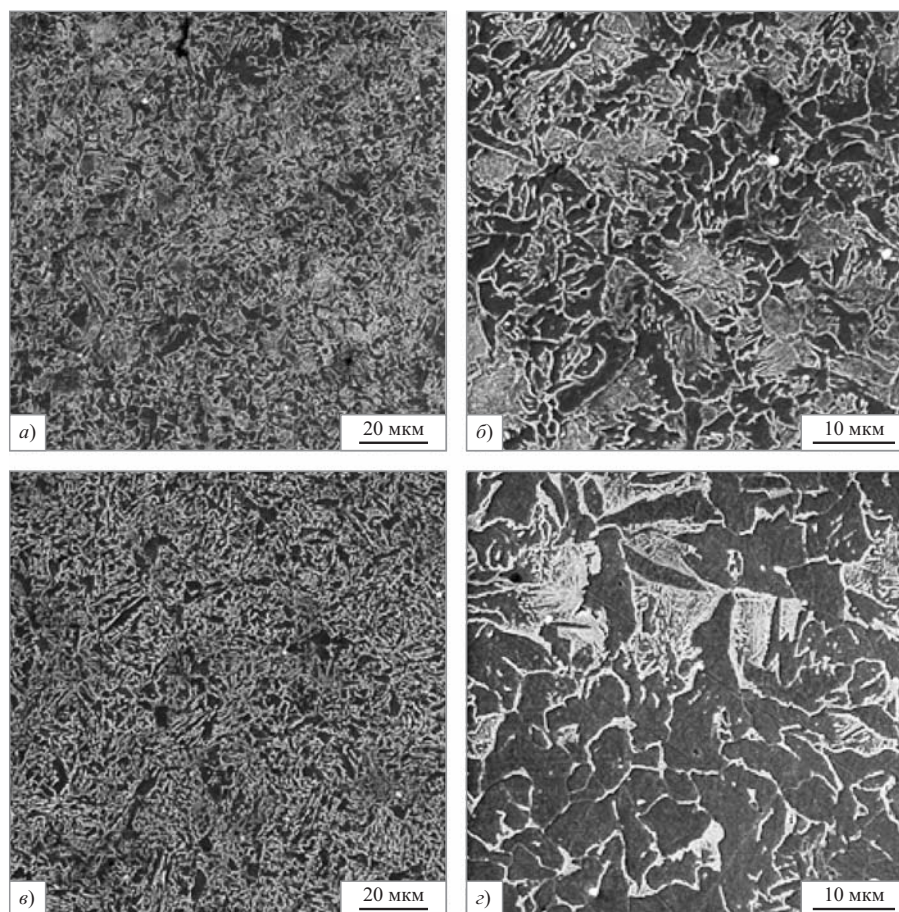


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла образца 4 (а, б) и 5 (в, з):

а, в — $\times 2000$; б, з — $\times 5000$

4. Yuriev A. A., Gromov V. E., Ivanov Yu. F. et al. Structure and properties of lengthy rails after extreme long-term operation // Materials Research Forum LLC. 2021. 193 p.
5. Иванов Ю. Ф., Кормышев В. Е., Громов В. Е. и др. Структурно-фазовое состояние и свойства борированного слоя, сформированного на стали электродуговым методом // Перспективные материалы. 2016. № 12. С. 52 – 57.
6. Козырев Н. А., Титов Д. А., Старовацкая С. Н. и др. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы C – Si – Mn – Cr – V – Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля // Известия вузов. Черная металлургия. 2014. № 4. С. 34 – 37.
7. Козырев Н. А., Усольцев А. А., Прудников А. Н. и др. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75, № 3. С. 365 – 372.
8. Патент 2641590. МПК8 В23 К35/36 В 23 К35/36. Порошковая проволока / Н. А. Козырев, А. И. Гусев, Г. В. Галевский и др.; ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”. № 2016125085/02(039292), Заявл. 22.06.2016.
9. Патент 2726230. МПК8 В23 35/368. Порошковая проволока / А. А. Уманский, Н. А. Козырев, А. Р. Михно и др.; ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”. № 2020100811, Заявл. 09.01.2020, опубл. 10.07.2020 // Бюл. 2020. № 19.
10. Козырев Н. А., Изушев В. Ф., Титов Д. А. Влияние углеродфторсодержащей добавки в шихту порошковой проволоки на свойства наплавленного металла // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научн. тр. Москва – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. Вып. 32. С. 44 – 47.
11. Козырев Н. А., Прудников А. Н., Михно А. Р. и др. Влияние увеличения содержания хрома и углерода в порошковой проволоке системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V на физико-механические свойства наплавленного металла // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76, № 5. С. 488 – 495.
12. Осетковский И. В., Козырев Н. А., Кибко Н. В. и др. Изучение влияния кобальта на структуру и свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V металла // Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4, № 2. С. 100 – 106.

Статья поступила в редакцию 01.06.2022 г.

Analysis of microstructural parameters of a layer clad from Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V powder wire

E. V. Polevoy¹, N. A. Kozыrev², A. R. Mikhno², A. A. Usol'tsev², and A. A. Komarov²

¹ EVRAZ West-Siberian Integrated Iron-and-Steel Works (“EVRAZ ZSMK” JSC)

² Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Microstructural parameters of clad metal from Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V powder wire with an addition containing carbon and fluorine cleaning dust of aluminum production instead of amorphous carbon are determined. The chemical composition and the microstructural parameters including the grain diameter, the interlamellar distance, the type of the structure of the deposited layer and its chemical composition are determined.

Key words: cladding, powder wire, microalloying, microstructure, interlamellar distance, fraction of pearlite, chemical composition.