

**Ю. С. Коробов¹, М. А. Филиппов^{1*}, С. В. Невежин¹, А. В. Макаров²,
Р. А. Саврай², Г. А. Ткачук¹, И. О. Главатских²**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

²Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

*filma1936@mail.ru

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК С КАРБИДНЫМ И БОРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Рассмотрено формирование структуры износостойких покрытий, напыленных порошковыми проволоками (ПП) систем легирования Fe–C–Cr–Ti–Al и Fe–B–Cr–Ti–Al с помощью технологии активированной дуговой металлизации (АДМ), на основе изучения их микроструктуры и химического состава методами металлографического, рентгеноструктурного фазового анализа и сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом. По результатам трибологических испытаний установлено, что износостойкость покрытий, полученных при распылении ПП дуговой металлизацией, обеспечивается за счет упрочняющих фаз.

Ключевые слова: дуговая металлизация, порошковая проволока, износостойкие покрытия, структура и фазовый состав, микротвердость покрытий.

***Yu. S. Korobov, M. A. Filippov, S. V. Nevezhin, A. V. Makarov, R. A. Savray,
G. A. Tkachuk, I. O. Glavatskikh***

WEAR RESISTANCE METALIZED COATINGS OF POWDER WIRE WITH CARBIDE AND BORIDE HARDENING

The formation of wear-resistant coating structure sputtered flux cored wire (PW) alloying systems Fe–C–Cr–Ti–Al and Fe–B–Cr–Ti–Al using technology activated arc metallization (AAM), on the basis of study of their microstructure and chemical the composition methods of metallographic, X-ray phase analysis, and scanning electron microscopy, X-ray microanalysis. According to the results of tribological tests found that the wear resistance of coatings obtained by spraying PW arc metallization, provided by the hardening phases.

Keywords: arc metallization, cored wire, wear-resistant coatings, structure and phase composition, microhardness of coatings.

Технология активированной дуговой металлизации (АДМ) позволяет наносить покрытия из металлических сплавов различных структурных классов, повышающие износостойкость деталей машин. Особый интерес для практики представляют покрытия, нанесенные сплавами из порошковых проволок (ПП) системы легирования Fe–C–Cr–Ti с карбидами хрома и металлической основой, включающей мартенсит и метастабильный аустенит, способные выдерживать повышенные внешние нагрузки [1]. Значительного повышения абразивной износостойкости можно ожидать также при нанесении покрытий системы Fe–Cr–B с упрочнением твердыми боридными включениями [2].

Цель работы – провести сравнительное изучение взаимосвязи химического состава, структуры и трибологических характеристик АДМ-покрытий из ПП систем легирования Fe–Cr–C–Ti и Fe–Cr–C–B, содержащих твердые фазы – карбиды и бориды (карбобориды). Твердость карбидов типа M_7C_3 достигает 16 ГПа, а боридов – 19,5–21 ГПа (FeB), 13,8–14,5 ГПа (Fe_2B) [4].

Для исследования выбраны покрытия, расчетный химический состав которых приведен в таблице 1. Напыляемые материалы: 1) порошковая проволока ППМ-6 состава 150X8T2Ю, диаметр – 1,6 мм; 2) ПП базовой системы легирования Fe–Cr–B (ППМ-14) (20X11P5Ю5I) диаметром 2,0 мм.

Таблица 1

Расчетный химический состав покрытий из ПП

Условное обозначение и марочный состав ПП	Расчетный химический состав покрытий из ПП, мас. %						
	C	Cr	B	Al	Si	Ti (Y)	Fe
(ППМ-6) (150X8T2Ю)	1,5	8,0	–	1,0	1,0	2,0	Основа
(ППМ-14) (40X11P5Ю5I)	0,2	11,0	5,0	5,5	1,0	(1,0)	Основа

Металлографический анализ показывает различия в структуре покрытий (рис. 1). На поперечном сечении видно, что покрытия имеют типичное микронеоднородное слоистое строение. Толщина слоев составляет преимущественно 5–10 мкм в покрытии состава 150X8T2Ю и 10–70 мкм в боросодержащем покрытии. Травление выявляет несколько характерных цветов и оттенков структурных составляющих. Преобладают фрагменты белого цвета, чередующиеся с темно-серыми и черными включениями различной величины и конфигурации (рис. 1, а, б).

Микроструктура поверхности покрытия представляет нерегулярный мозаичный набор дисперсных структурных составляющих размером

10–50 мкм, что отражает типичное строение расплюснутых капель (рис. 1, б).

Рентгеноспектральный анализ поверхности покрытий марки 150X8T2Ю, соответствующий рис. 1, б, показал, что светлые поля – это металл, который содержит Fe (осн.), Cr (6–10 %) и незначительное количество титана. Эти металлические фрагменты представляют собой твердый раствор углерода и хрома в аустените и мартенсите. Фрагменты серого цвета обладают максимальным содержанием легирующих элементов Cr (10–12%); Ti (2–3%); Fe (86–90 %). Эти серые участки, вероятно, являются комплексами карбидов и окисленных карбидов, образовавшихся в процессе напыления.

Рентгеноструктурный анализ поверхности покрытия марки 150X8T2Ю показал, что основная фаза имеет металлическую основу (70 %). Оставшаяся доля включает карбиды хрома, карбиды титана и оксиды. В свою очередь, металлическая основа состоит из мартенсита и остаточного аустенита в соотношении 50/50 с микротвердостью 600 HV.

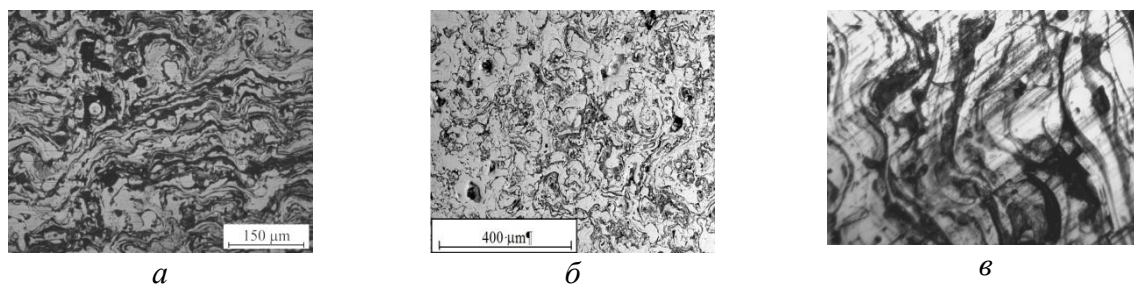


Рис. 1. Микроструктура напыленных покрытий: а – поперечное сечение покрытий марки ППМ-6; б – поверхность покрытия марки ППМ-6 после выравнивающей полировки, Ra 0.8; в – поперечное сечение покрытий марки ППМ-14, х800

Результаты определения фазового состава методом рентгеноструктурного анализа покрытия ППМ-14 показали, что основной фазой покрытия является твердый раствор на основе α -железа. В покрытиях распределены упрочняющие фазы боридов Fe_2B и карбоборидов $(Fe, Cr)_2(B, C)$.

Результаты измерений микротвердости покрытий ППМ-14 показали, что покрытия имеют высокую среднюю микротвердость по всему поперечному сечению – до 13,5 ГПа, что обуславливает их высокую износостойкость при абразивном изнашивании.

По результатам изучения износостойкости по закрепленному абразиву наибольшую потерю массы имеют покрытия из ППМ-6, а наименьшую – покрытия из ППМ-14. Проведенные исследования показывают, что износостойкость покрытий возрастает при наличии в шихте ПП компонентов, содержащих алюминий, что, вероятно, связано с протеканием алюмотермических реакций [3], способствующих

равномерному плавлению борсодержащих компонентов ПП и формированию более плотной структуры покрытий.

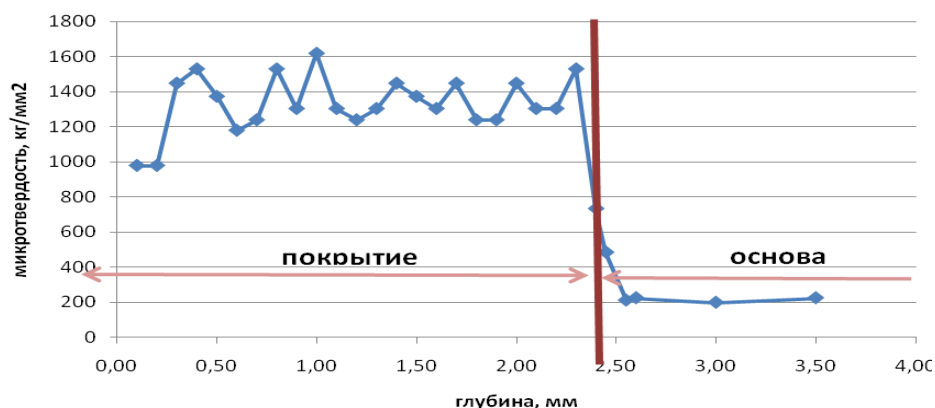


Рис. 2. Микротвердость поперечного сечения покрытия ППМ-14

Таблица 2

Потери массы и относительная износостойкость покрытий при абразивном изнашивании на пути 60 м

Тип покрытия	Потери массы, ΔМ, г	Относительная износостойкость, ε	Примерный состав
ППМ-6	0,3669	1	150X8T2
ППМ-14	0,1568	2,34	40P5X13И

В результате испытаний на абразивное изнашивание фазовый состав металлической основы рабочей поверхности образцов с покрытием ППМ-6 изменяется в результате перехода части остаточного аустенита в мартенсит деформации, причем общее количество мартенсита возрастает от 50 до 80 %, а микротвердость возрастает до 800 *HV*. Фазовый состав металлической основы поверхности образцов с покрытием ППМ-14 после абразивного изнашивания практически не изменяется.

Выводы

Изучена структура и износостойкость покрытий, напыленных порошковыми проволоками (ПП) систем легирования Fe–C–Cr–Ti–Al (150X8T2Ю) и Fe–B–Cr–Ti–Al (40X11P5Ю5I) с помощью технологии активированной дуговой металлизации (АДМ). Микроструктура напыленных покрытий имеет типичный слоистый характер. Структура покрытия 150X8T2Ю имеет слоистое строение, а микроструктура представляет собой гетерогенную смесь аустенитно-мартенситной матрицы в объемном соотношении 50/50, комплексных карбидо-оксидных образований и включений отдельных карбидов и оксидов. При абразивном

изнашивании в покрытии наблюдается уменьшение количества метастабильного остаточного аустенита в два раза с образованием мартенсита деформации.

Установлено, что основной фазой покрытий из порошковых проволок базовой системы легирования Fe–B–Cr (ППМ-14) состава 40X11P5Ю5I является твердый раствор на основе α -железа, который может быть обогащен углеродом, в котором равномерно распределены упрочняющие фазы боридов Fe_2B и карбоборидов $(Fe, Cr)_2(B,C)$, на границах и внутри структурных составляющих обнаружены в малом количестве смешанные оксиды. В структуре покрытий также присутствует обогащенная углеродом эвтектика переменного состава, содержащая предположительно упрочняющие фазы $(Fe, Cr)B$ и $Fe_2(C,B)$.

Исследована зависимость физико-механических и служебных свойств металлизационных покрытий из порошковых проволок системы легирования Fe–B–Cr. Так, микротвердость покрытия из порошковой проволоки системы легирования Fe–B–Cr в среднем в два раза, а износостойкость в 2,3 раза выше, чем для покрытий из порошковой проволоки системы легирования Fe–C–Cr–Ti, что связано со значительным количеством высокотвердых боридных и карбоборидных фаз в первом типе покрытий.

Практическое использование металлизационных покрытий с боридным упрочнением возможно в условиях эксплуатации при чисто абразивном безударном изнашивании вследствие хрупкости боридных фаз. Эксплуатация металлизационных покрытий со структурой метастабильного аустенита и карбидным упрочнением возможна в более жестких условиях контактно-динамического нагружения вследствие структурного механизма самоупрочнения в сочетании с релаксацией внешних напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schastlivtsev V. M., Filippov M. A. Role of the Bogachev – Mints Concept of Metastability of Austenite in Choosing Wear-Resistant Materials // *Metal Science & Heat Treatment*. 2005. Vol. 47 Issue ½. P. 3–5.
2. Структура и свойства электродуговых покрытий на основе ферробора, полученных из порошковых проволок / А. Л. Борисова [и др.] // *Автоматическая сварка*. 1991. № 9 (462). С. 66–68
3. Metastable austenite type Core Wire for Arc Spraying – modeling of heat transfer in end face and coating structure analysis / Yu. Korobov [et al.]. Proc. of ITSC 2010. ASM International: Singapore, 2010.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник. М. : *Металлургия*, 1981. 424 с.