

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ

*Ражабов Х., Колесникова К.А.
НИ ТПУ, e-mail: Kolesnikova_ksal@mail.ru*

Создание износостойких композиционных покрытий «диборид титана-металлическая связка» является перспективной задачей в плане получения оптимального сочетания свойств (высокая твердость, износостойкость, стойкость к ударным нагрузкам) с сохранением указанных характеристик при высоких температурах. Существующая проблема хрупкости таких соединений может быть решена разработкой композиционных материалов на основе пластичных матриц, а также дополнительным введением легирующих элементов, повышающих однородность структуры и технологичность наплавки. Для получения высококачественных покрытий на поверхности деталей большое значение имеют методы, применяемые для их нанесения [1].

Цель настоящей работы- изучение влияния технологических приемов нанесения композиционных покрытий на основе боридов на структуру и трибологические свойства покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой, газотермическим напылением и напылением с последующим оплавлением электронным лучом.

В качестве наносимого материала использовали смесь термореагирующих порошков FeB-FeTi различного гранулометрического состава и смесь композиционных порошков (TiB₂-Fe), полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (CBC), с 70 % вес высокохромистого чугуна.

Напыление порошков осуществляли с помощью газопламенного пистолета UNI-SPRAY-JET с использованием ацетилено-кислородной смеси. Наплавку производили на вакуумной установке с помощью электронно-лучевой пушки. Наплавочный материал исследовали с помощью металлографического микроскопа МИМ-9, микротвердомера ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) при нагрузке Р = 50 гр. Рентгенофазовый анализ осуществляли на дифрактометре ДРОН-4. Трибологические свойства покрытий исследовали в парах трения по методу «неподвижный индентор из твердого сплава- вращающийся диск» без подачи смазки в зону контакта на машине трения PC-Controlled High Temperature Tribometer ТНТ-S-AX0000 при нагрузке 10 Н и скоростях скольжения V = 5; 11 см/сек.

Полученные данные металлографического и рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что в покрытиях, полученных многопроходной электронно-лучевой наплавкой термореагирующих порошков (составы 1–2), в приповерхностных зонах сформировались мелкодисперсные бориды TiB, Ti₃B₄; TiB₂ и их конгломераты с твердостью Н = 15–25 ГПа. Кроме боридов железа и титана в структуре присутствует фазы α-Fe, Fe₂B и Fe₂Ti, находящиеся в составе эвтектической матрицы в виде эвтектик: Fe₂B-Fe, Fe₂Ti-Fe и TiB₂-Fe. Трибологические испытания показали, что интенсивность изнашивания (I) напыленных покрытий из порошков составов 1–3 на 2–3 порядка выше, чем у покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавкой (табл. 1).

Дополнительное введение 6 % вес бора аморфного в исходную смесь порошков (состав 3) позволило сформировать качественное беспористое покрытие толщиной 5 мм с высокими значениями твердости по глубине слоя (Н_μ = 20–25 ГПа) [2]. По данным МРСА, структура поверхностного слоя покрытия представлена, в основном, фазами TiB₂ и TiB размером 5–10 мкм. Твердость поверхностного слоя составила Н_μ = 25 ГПа, что определило высокую абразивную износостойкость покрытия (К_и = 7,38) и низкие значения интенсивности изнашивания (I = 2,39; I = 6,34).

Сравнительный анализ структуры и фазового состава покрытий данных составов, полученных газопламенным напылением, показал, что их пористость составила 19–28 %. На границах раздела «покрытие-подложка» наблюдались цепочки пор, что предопределило их низкую адгезионную прочность и частичное отслаивание от подложки. Для всех трех составов рентгенофазовым анализом установлено отсутствие в структуре покрытий высокотвердой фазы TiB_2 , наличие низкобористых фаз TiB , Ti_2B и соединений FeB , FeTi . Твердость ($H\mu$) покрытий находилась в пределах 14–20 ГПа.

Таблица 1

Коэффициент трения (f) и интенсивность изнашивания (I , мкм/км) покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой из порошков различного гранулометрического состава

Состав, % вес	f, I	Наплавка		Напыление		Напыление с оплавлением	
		5 см/сек	11 см/сек	5 см/сек	11 см/сек	5 см/сек	11 см/сек
1) 50 %FeB (200 – 315) + + 50 %FeTi (200 – 315)	$f_{\text{тр}}$	0,526	0,395	0,579	0,689	0,544	0,608
	I	2,32	1,45	566	650	31,23	178
2) 50 %FeB (200 – 315) + + 50 %FeTi (50 – 200)	$f_{\text{тр}}$	0,515	0,517	0,613	0,656	0,694	0,528
	I	1,61	3,30	1700	2360	235,8	49,38
3) 47 %FeB (125 – 200) + + 47 %FeTi (50 – 200) + 6 %Вам	$f_{\text{тр}}$	0,420	0,479	0,324	0,692	0,613	0,571
	I	2,39	6,34	985	2566	221	129
4) 30 %(TiB ₂ – Fe) СВС + 70 % ПГ-УС-25	$f_{\text{тр}}$	0,536	0,628	0,245	0,541	0,480	0,305
	I	3,32	12,0	380	1700	4,17	7,04

Напыленные покрытия, дополнительно оплавленные электронным лучом, показали промежуточные значения по твердости ($H\mu$) и трибологическим характеристикам ($f_{\text{тр}}$, I) по сравнению с наплавленным и напыленным состоянием, что, вероятно, связано со снижением пористости до 3–5 %, с появлением в структуре покрытий мелкодисперсных диборидов титана TiB_2 наряду с фазами TiB , Ti_2B_5 . Рентгенофазовый анализ выявил также большое количество α -Fe появившегося в результате перемешивания материалов стальной подложки и покрытия при электронно-лучевом оплавлении.

Металлографический и рентгенофазовый анализы структуры покрытия, наплавленного композиционным порошком с 70 вес% ПГ-УС-25 (состав 4), показали, что частицы СВС-композиата (TiB_2 -Fe) активно провзаимодействовали со связкой с образованием в покрытии соединений Fe_2B и TiB , а также двойного борида титана -хрома образовавшегося в результате замещения хромом части титана в соединении TiB_2 . При кристаллизации, по данным МРСА и РФА, в поверхностном слое покрытия сосредоточились кристаллы $(\text{Ti}, \text{Cr})\text{B}_2$, TiB_2 и карбиды хрома Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , обусловившие высокие значения абразивной износостойкости ($K_n = 7,65$) и трибологических характеристик.

Покрытия, полученные как электронно-лучевой наплавкой, так и по совмещенной технологии, имеют соизмеримые значения коэффициентов трения и интенсивности изнашивания, что объясняется ростом объемной доли карбидных фаз при кристаллизации высокохромистого расплава и наличием первичных и вторичных мелкодисперсных соединений TiB_2 , $(\text{Ti}, \text{Cr})\text{B}_2$.

Закключение

В результате проведенных исследований установлено, что на фазо-структурообразование, распределение упрочняющих фаз значительное влияние оказывает не только способ ввода боридов титана (экзотермические смеси, СВС-композиаты), но и технологии получения композиционных покрытий на их основе. Экспериментально установлено, что представленные в работе покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой, обладают наиболее высокими значениями

ми триботехнических характеристик по сравнению с покрытиями, полученными газопламенным напылением и напылением с последующим оплавлением электронным лучом.

Использованные режимы газопламенного напыления и электронно-лучевого оплавления не позволили полностью реализовать возможности этих методов для получения более качественных покрытий, в связи, с чем предусматривается дальнейшее проведение исследовательских работ по оптимизации вышеуказанных технологических режимов.

Список литературы

1. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование технология, свойства покрытий// Сварочное производство, 2000. – № 2. – С. 34–38.

2. Жаростойкие и теплостойкие покрытия // Труды 4-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям; под ред. Барышникова Л.П., Рейхерт Л.А. – Л: Наука, 1969. – 553 с.