

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ В СИСТЕМЕ Ti-B-Fe

К.А. Колесникова, Н.К. Гальченко

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

e-mail: Eliom@yandex.r

В последнее десятилетие одним из основных направлений повышения износостойкости рабочих поверхностей узлов и механизмов, работающих в условиях интенсивного износа, является применение различных способов и технологий упрочнения с использованием концентрированных потоков энергии. Тенденция к разработке подобных технологических решений обусловлена повышением их эффективности при конструировании поверхностных слоев за счет различных механизмов упрочнения и возможности образования градиентных поверхностных структур.

Введение

Трибологические и прочностные свойства сформированных в процессе электронно-лучевой наплавки покрытий на основе тугоплавких соединений определяются условиями эксплуатации. С этой точки зрения практический интерес представляют композиционные покрытия на основе боридов титана, синтезируемых в процессе электронно-лучевой наплавки из термореагирующих порошков и СВС-композиатов. При этом дополнительное количество тепла, выделяемое в зоне оплавления за счет экзотермической реакции между компонентами термореагирующей смеси, способствует формированию покрытий с более однородной структурой по глубине слоя без увеличения мощности электронного луча. Окончательное формирование структуры покрытия происходит в результате конвективного перемешивания твердожидких расплавов, отличающихся вязкостью из-за разного наполнения тугоплавкими частицами, и зависит от многих факторов, в том числе от соотношения компонентов в исходной смеси и гранулометрического состава, влияющих на степень смешения расплавов, скорость кристаллизации и полноту фазовых превращений.

Цель настоящей работы

Исследование композиционных материалов на основе диборида титана с железной и никель-хромовой связкой для получения покрытий на сталях методом электронно-лучевой наплавки, изучение их структуры, фазового состава и трибологических свойств.

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

Наплавку покрытий осуществляли на подложки из Ст.3 электроннолучевым методом в 2-4 прохода при ускоряющем напряжении 28 кВ. Диаметр луча – 1,0 мм, длина развертки – 12 мм., скорость перемещения подложки – 2 мм/с. Толщина наплавляемого слоя – 2-3 мм.

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. Трибологи-

ческие 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 THT-S-AX0000 при нагрузке 10 Н и скоростях скольжения V=5;11 см/сек.

Результаты эксперимента и их обсуждение.

Для проведения трибологических испытаний покрытий из термореагирующих порошков, наплавку производили исходя из расчетов соотношения исходных компонентов смеси на получение в композиционном покрытии 33вес.% TiB₂ по уравнению химической реакции: $x \text{ FeB} + y \text{ FeTi} \rightarrow \text{TiB}_2 + \text{Fe} + Q$ [1]. В результате экзотермической реакции, происходящей между компонентами смеси при воздействии электронного пучка, формируются композиционные покрытия на основе тугоплавкого соединения TiB₂ с железной матрицей. Микроструктура покрытий представлена на рис. 1 (а-г).

Полученные данные металлографического и рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что в покрытиях, наплавленных термореагирующими порошками состава 1,2 в приповерхностных зонах основными фазами являются мелкодисперсные бориды титана и их конгломераты с твердостью H=32,5 ГПа. Кроме боридов железа и титана присутствует фаза α-Fe, Fe₂B и Fe₂Ti, находящиеся в составе эвтектической матрицы в виде эвтектик: Fe₂B-Fe, Fe₂Ti-Fe и TiB₂-Fe.

Исследование структуры покрытия, наплавленного смесью порошков состава 3, показало, что в процессе наплавки сформировалась слоистая структура с преимущественным содержанием фазовых составляющих в пределах сформированных слоев.

Слоистость структуры может быть связана с условиями структурообразования при высокоскоростном затвердевании (10⁴-10⁶ градус/с) неоднородного расплава с различной степенью насыщения легирующими элементами из-за большого разброса гранулометрического состава исходных составляющих наплавляемой смеси. Так, в центре слоя сформировалась структура, состоящая, в основном, из кристаллов Fe₂B твердостью H=14,4 ГПа, расположенных в эвтектической связке Fe₂B-Fe.

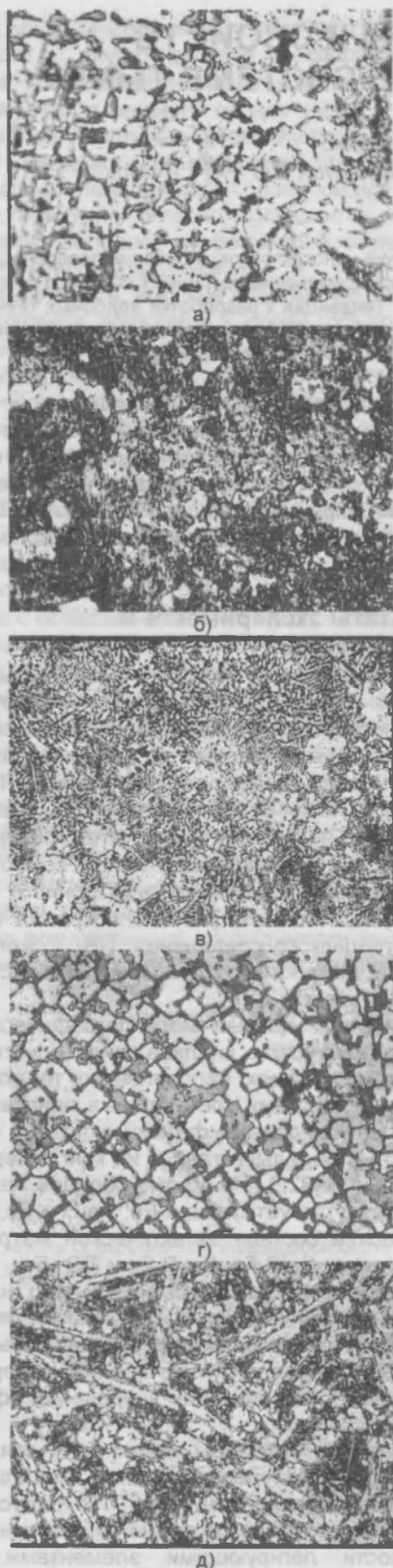


Рис. 1. Микроструктура покрытий полученных электронно-лучевой наплавкой ($\times 200$):

- а) FeB (200-315)- FeTi (50-200);
- б) FeB (50-125)- FeTi (200-315);
- в) FeB (200-315)- FeTi (200-315);
- г) FeB(125-200мкм)+FeTi(150-200мкм)+6% B_{аморф};
- д) 30%(TiB₂-Fe) CBC + 70% ПГ-УС-25

Приповерхностная зона покрытия состоит из частиц, имеющих ярко выраженную кристаллографическую огранку, окаймленных тонкими прослойками эвтектики. По результатам РФА и измерениям нанотвердости данные частицы представляют собой бориды титана TiB, Ti₃B₄; TiB₂ с твердостью $H_u=22-34$ ГПа.

Дополнительное введение 6% вес бора аморфного в исходную смесь порошков (состав 4) позволило сформировать качественное беспористое покрытие толщиной 5 мм с высокими значениями твердости по глубине слоя ($H_u=20-25$ ГПа). Это стало возможным благодаря тому, что бор аморфный, относящийся к активным добавкам, в небольших количествах способствует улучшению структуры наплавки в связи с появлением легкоплавких эвтектик, значительно ускоряющих процессы взаимодействия компонентов между собой и на границе с подложкой [2]. Визуальное наблюдение показало появление большого количества жидкой фазы в процессе наплавки, улучшающей распределение расплава на подложке. По данным МРСА, в области, прилегающей к границе раздела с подложкой, сформировалась структура, состоящая из частиц FeB с $H_u=15$ ГПа. Далее, в направлении к поверхности структура покрытия представлена, в основном, фазами TiB₂ и TiB и отличается по глубине слоя лишь дисперсностью структурных составляющих (на поверхности наиболее мелкозернистая структура с частицами, размером 5-10 мкм). Твердость поверхностного слоя составила $H_u=25$ ГПа, что определило высокую абразивную износостойкость покрытия: $K_n=7,38$.

При создании покрытий на основе СВС-композита (TiB₂-Fe) в работах [3], было показано, что при электроно-лучевой наплавке возникали трудности с получением качественных беспористых покрытий, связанные с низкой жидкотекучестью расплава, формирующегося на подложках. В связи с этим в работе были исследованы покрытия на основе композита (TiB₂-Fe) со связкой из высоколегированного хромистого чугуна ПГ-УС-25, способствующего снижению вязкости образующегося на подложках расплава [4].

Металлографический и рентгенофазовый анализы структуры покрытий, наплавленных композиционным порошком с содержанием 70% вес. ПГ-УС-25 (состав 5), показал, что частицы СВС-композита (TiB₂-Fe) активно провзаимодействовали со связкой с образованием в структуре покрытий соединений Fe₂B и TiB, а также хромистого диборида титана (Ti, Cr) B₂, образовавшегося в результате замещения хромом части титана в соединении TiB₂. В структурах присутствуют фазы Cr₂₃C₆, Cr₇C₃. В результате наплавки сформировалась однородная структура с высокими значениями микротвердости ($H_u=18-20$ ГПа) у покрытия (TiB₂-Fe)-70% ПГ-УС-25 (состав 5). При кристаллизации, по данным металлографического и рентгенофазового анализов, в поверхностном слое наплавки покрытия сосредоточились кристаллы (Ti, Cr) B₂, обусловившие высокие значения абразивной износостойкости ($K_n=7,65$).

Сравнительный анализ результатов трибологических испытаний исследуемых в работе по-

крытий, полученных при сухом трении в паре с индентором из вольфрамового твердого сплава, показал, что наиболее низкие значения интенсивности изнашивания показали покрытия, наплавленные смесью терморегулирующих порошков из FeB (200-315) – FeTi (50-200) при скорости скольжения $V=5$ см/сек ($I=1,61-2,39$).

При трении со смазкой все исследуемые покрытия показали соизмеримые значения коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

Выводы

1. При электронно-лучевой наплавке терморегулирующих порошков FeB-FeTi формируются композиционные металлокерамические покрытия на основе синтезируемых в процессе наплавки боридов титана (TiB , Ti_3B_4 , TiB_2) и боридов железа (Fe_2B) с высокой абразивной износостойкостью и низкими значениями интенсивности изнашивания при сухом трении. Дополнительное введение бора аморфного в состав исходной смеси позволяет создавать покрытия большой толщины (до 5 мм), с однородной структурой и высокими значениями микротвердости на их поверхности ($H_d=25$ ГПа). Покрытия обладают высокой абразивной износостойкостью ($K_a=7,38$) и более низкими значениями коэффициента трения по сравнению с покрытиями исходного состава.

2. Сравнительный анализ композиционных покрытий на основе СВС-композиита (TiB_2 -Fe) со связками из высокохромистого чугуна ПГ-УС-25 ($I=3,32+12$) и терморегулирующими смесями, показал преимущество покрытий из терморегулирующих смесей, обладающих более высокой твердостью и износостойкостью.

3. Композиционные покрытия, полученные методом ЭЛН в системе Fe-B-Ti, могут быть рекомендованы в качестве износостойких материалов в парах трения.

Список литературы

1. Патент РФ №2205094 Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г. и др. «Способ электронно-лучевой наплавки» выдан 27 мая 2003г.
2. Жаростойкие и теплостойкие покрытия. // Труды 4-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям. Под ред. Барышникова Л.П., Рейхерт Л.А. Л: Наука, 1969. 553с.
3. Н.К. Гальченко, С.И. Белюк, В.Е.Панин, А.В.Шиленко и др. Электронно-лучевая наплавка композиционных покрытий на основе диборида титана. Сб. Физика и химия обработки материалов. №4. М.: Наука, 2002.
4. Шевцов Ю.О. Разработка технологических основ износостойкой электронно-лучевой наплавки в вакууме самофлюсующихся порошковых материалов. Автореферат дисс. канд. техн. наук. Барнаул, 1994.

STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF COMPOSITE IN TI-B-FE SYSTEM

K.A. Kolesnikova, N.K. Galchenko

Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia

e-mail: Eliom@yandex.ru

The paper presents the investigation results for structure and tribochemical properties of composite coatings obtained from a mixture of thermo-reactive FeB and FeTi powders by electron-beam surfacing. The dependence of the coating phase and structure formation on a granulometric composition of initial components of the fused charge is shown. Abrasive wear resistance, friction coefficients, and wear rate in friction pairs are studied. The relation of the obtained characteristics to the structure and morphological peculiarities of structural components of the coating is demonstrated.