

изготовления режущих инструментов, то следующим важным этапом проекта станет повторение исследований со сталью, например, марок 40X или У8, с напыленным титановым покрытием для последующей аддитивной лазерной обработки.

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Постановления Правительства № 218 от 09.04.2010 г., Соглашение № 075-11-2021-045 от 24.06.2021, название проекта «Создание высокотехнологичного производства оборудования и технологий для лазерной функционализации поверхности изделий медицинского назначения».

Список литературы

1. Behnaz Feizi Mohazzaba, Babak Jaleha, Omidreza Kakueeb, Arash Fattah-alhosseini Formation of titanium carbide on the titanium surface using laser ablation in n-heptane and investigating its corrosion resistance// Applied Surface Science. – 2019. – V. 478. – P. 623-635.
2. Saleh A.F., Abboud J.H., Benyounis K.Y. Surface carburizing of Ti–6Al–4V alloy by laser melting// Optics and Lasers in Engineering. – 2010. – V. 48. – № 3. – P. 257-267.
3. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов// учебное пособие, Металлургия, 1985–256.
4. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана: получение, свойства, применение//М.: Металлургия, 1987. – 216 с.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Fe-Cr-C ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ РАСПЛАВА В ПРОЦЕССЕ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

С.Ю. РАСКОШНИЙ^{1,3}, Б.В. ДАМПИЛОН², Н.К. ГАЛЬЧЕНКО³, К.А. КОЛЕСНИКОВА¹

¹Томский политехнический университет

²Jinfeng Co., Ltd., Шеньян, Китай

³Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: raskoshniys@gmail.com

Значительный рост практического применения упрочняющих технологий, основанных на использовании высококонцентрированных источников энергии (лазерная, электронно-лучевая наплавка и т. д), обусловлен преимуществами в прочностных и трибологических характеристиках, полученными наплавленными материалами благодаря повышенным скоростям нагрева/охлаждения ($\sim 10^5$ К/с), образования в структурах пересыщенных легирующими элементами твердых растворов и выделения из них в процессе кристаллизации мелкодисперсных частиц упрочняющих тугоплавких соединений [1].

В связи с этим перспективным направлением в области создания упрочняющих покрытий со специальными свойствами может стать разработка наплавочных материалов на основе комплексно-легированных хром-ванадиевых белых чугунов, обладающих в литом состоянии структурой естественных композитов [2,3].

Задача по повышению износостойчивости и трещиностойкости покрытий системы Fe-Cr-V-C является комплексной и может решаться еще на стадии первичной кристаллизации расплава введением различных легирующих добавок и химических соединений, обуславливающих различие в процессах абразивного изнашивания поверхности покрытий из-за разного влияния на металлическую связку и твердые частицы.

Цель работы - выявить закономерности формирования структуры покрытий из белого комплексно-легированного чугуна Fe-Cr-V-Mn-C в условиях послойной электронно-лучевой наплавки и оценить ее влияние на абразивную износостойкость.

Исходным материалом для электронно-лучевой наплавки покрытия служила механическая смесь промышленных порошков из заэвтектического хромистого чугуна ПГ-СР-27, ванадия марки ВЭЛ-2 и ферромарганца ФМн-78 (ГОСТ 4755-91) дисперсностью 100-400 мкм, рассчитанная на эвтектический состава наплавленного металла (табл.1). Покрытие было получено методом послойной электронно-лучевой наплавки при давлении в вакуумной камере 5×10^{-1} Па, диаметре электронного луча- 1 мм, мощностью -3 кВт, линия развертки - 5×1 мм, частота сканирования - 50 Гц. Толщина покрытия составляла - 3,5 мм.

Таблица 1 – Расчетный химический состав наплавочного материала

Содержание л.э., мас.%							
C	Cr	V	Mn	Si	Ni	W	Fe
2,5	17	5	23	1,5	1,1	0,2	основа

В результате многослойной (6 проходов) электронно-лучевой наплавки порошкового материала 65%ПГС27+5%V+30%FeMn (мас.%) на подложке из малоуглеродистой стали было получено покрытие толщиной 3,5 мм. Проведенный металлографический анализ показал, что покрытие характеризуется градиентной структурой, обусловленной разбавлением наплавочного материала материалом подложки (железом) и неравномерной кристаллизацией микрообъемов материала из-за разных скоростей охлаждения послойно наплавленного металла. В соответствии с изменением химического состава по глубине слоя отмечено образование ряда характерных структур (рис.1) На границе раздела «подложка-покрытие» сформировалась узкая зона (8 – 10 мкм) в виде не травящейся полосы (рисунок 1,а), соответствующая составу высоколегированной стали (100X8Г4Ф).

Следующий участок структуры (переходная зона) размером ~1000 мкм., представлен аустенитными зернами дендритной формы в окружении разреженной скелетообразной аустенитно-карбидной эвтектики (рисунок 1,б).

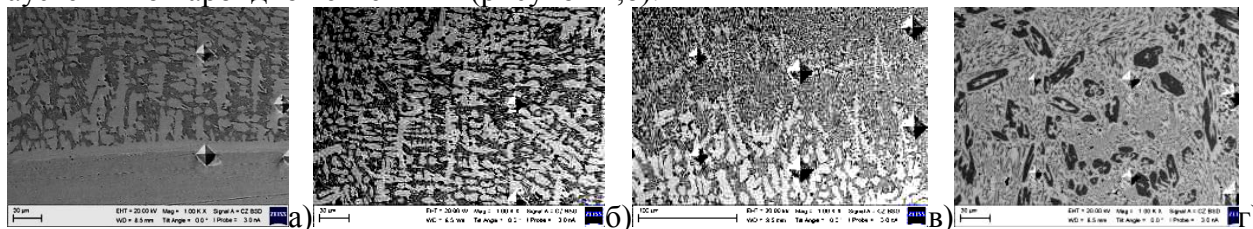


Рисунок 1 – Микроструктура ЭЛН-покрытия по глубине слоя из эвтектического хром-марганец-ванадиевого чугуна: а- граница раздела «подложка-покрытие»; б- доэвтектическая структура; в –эвтектическая структура; г-заэвтектическая структура

При нанесении следующего слоя в покрытии зафиксирована структура эвтектического типа шириной ~200-300 мкм с высокой плотностью распределения карбидов в эвтектических колониях (рисунок 1,в). На пластинах и между ними относительно равномерно распределены карбидные частицы сфероидальной формы. Завершающая наплавка привела к формированию поверхностного слоя покрытия (~2000 мкм) со структурой, содержащей первичные заэвтектические карбиды шестигранной формы в аустенитно-ванадиево-карбидной эвтектике (рисунок 1,г) и самым высоким содержанием основных легирующих элементов: С-4,0 мас.%; Cr-19,8 мас.%; V-5,0 мас.%; Mn-8,6 мас.%; Si-1,5 мас.%; Ni-1,1 мас.%; W-0,2 мас.%; Fe-основа.

Анализ распределения легирующих элементов по глубине покрытий показал, что в процессе электронно-лучевой наплавки произошли изменения химического состава по сравнению с расчетным. Согласно данным МРСА, концентрация марганца в покрытии после

наплавки составила 10,2 мас.%, снизившись относительно расчетного состава на 56%. Рентгенофазовым анализом установлено, что структура поверхностного слоя представлена фазами γ -Fe, карбидами VC и тригональными карбидами Me_7C_3 . Сочетание обнаруженных фаз обуславливает формирование в покрытии двойных эвтектик инвертированного типа – на базе карбида ванадия (γ -Fe – V_2C) и карбида хрома γ -Fe – Me_7C_3 . При этом исследования показали, что комплексное легирование приводит к формированию карбидов, химический состав которых существенно отличается от стехиометрического. Так, сформированные в структуре наплавки эвтектические карбиды Me_7C_3 или, в нашем случае, сложные карбиды $(Cr-Fe-V-Mn)_7C_3$ содержат в два раза меньше хрома, чем карбид Cr_7C_3 (Cr-43,58% против 90,9%). Содержание остальных легирующих элементов в покрытии находятся в следующих пределах концентраций: Cr-43,58 ÷ 45,43; Fe-29,9 ÷ 32,55; V ÷ 7,18 ÷ 8,45; Mn -7,29 ÷ 8,17.

Сравнение абразивной износостойкости ЭЛН-покрытий из комплексно-легированных белых чугунов, показало, что полученное и исследуемое в работе покрытие состава 250X20Г10Ф5 с аустенитной матрицей ($K_H=9,4$) фактически не уступает по уровню абразивной износостойкости покрытию из хромованадиевого чугуна 250X19Ф5 с аустенитно-мартенситной матрицей ($K_H=10$), но значительно превосходит по износостойкости покрытие из чугуна состава 250X20НФ5 с аустенитной матрицей, стабилизированной никелем ($K_H=4,5$) [4].

Список литературы

1. Дампилон Б.В., Дураков В.Г. Особенности структурообразования покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученных электронно-лучевой наплавкой // Перспективные материалы. №1. 2012. С87-91.
2. Influence of Vanadium on Microstructure and Properties of Medium-Chromium White Cast Iron / L. Keming [et al.] // Iron and Steel. - 2005. - № 40. - P. 207-211
3. De Mello J. D. B. Abrasion Mechanisms of White Cast Iron II: Influence of the Metallurgical Structure of V-Cr White Cast Irons // J. D. B. De Mello, M. Durand-Charre // Mater. Sci. Eng. - 1986. - Vol. 78. - № 2. - P. 127-134
4. Дураков В.Г., Дампилон Б.В. Влияние термической обработки на структуру и абразивную износостойкость покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна // Перспективные материалы. №4. 2012. С82-86.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Д.С.САПАРОВ^{1, 2}

^{1,2}Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

²Республика Казахстан

e-mail: dss51@tpu.ru

Аннотация: Приведены результаты исследования влияния модифицирующих добавок из производственных отходов порошков микрокремнезёма и корунда (Al_2O_3) на структуру и фазовый состав алюминиевого сплава АД31. В качестве модификаторов по 1% - 5% отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – измельчается зерно, изменяется фазовый состав и улучшаются физико-