

## СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА

Толстокулаков А.М., Дампилон Б.В.

Научный руководитель: Дампилон Б.В., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Ist.Jimmy@mail.ru](mailto:Ist.Jimmy@mail.ru)

## CREATING OF WEAR-RESISTANT COATING USING A CONTINUOUS AND PULSED ELECTRON BEAM

Tolstokulakov A.M., Dampilon B.V.

Scientific Supervisor: Docent, Candidate of Engineering Sciences Dampilon B.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [Ist.Jimmy@mail.ru](mailto:Ist.Jimmy@mail.ru)

**Введение.** Разработка технологий восстановления и упрочнения тяжело нагруженных деталей машин и механизмов всегда являлось, и будет являться актуальным направлением в машиностроении. Современное машиностроение уже невозможно представить без применения концентрированных источников энергии, таких как электронный и лазерный луч которые активно применяют для сварки, наплавки и модифицирующей обработки поверхности. Одной из технологий, в которых успешно применяется электронный луч, является технология электронно-лучевой наплавки упрочняющих покрытий и технология импульсной обработки поверхности.

**Цель работы.** Исследовать структуру и свойства покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученного с использованием непрерывного и импульсного электронного луча.

**Материалы и методики исследования.** Покрытия были получены на установке ЭЛУ-5, оснащенной электронной пушкой с плазменным катодом. Модифицирующая импульсная обработка была проведена на ОАО «Полюсе». Выбор состава наплавочного порошкового материала для электронно-лучевой наплавки в настоящей работе был обусловлен необходимостью создания безникелевых (из-за его дороговизны) износостойких дисперсно-упрочненных покрытий на железной основе. В качестве такого материала был выбран белый хромистый чугун, легированный ванадием для формирования дополнительного дисперсного упрочнения покрытия и разбавленный железом с расчетом получения покрытия эвтектического состава. Зачастую лишь белые износостойкие чугуны в состоянии обеспечить надежную эксплуатацию самой разнообразной техники, работающей в жестких условиях абразивного износа. Рентгенофазовый анализ модифицированных зон проводили с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 6000. Микрорентгеноспектральный анализ выполняли на приборе Leo Evo 50. Твердость модифицированных зон измеряли с помощью измерительного комплекса Nanotest.

*Таблица 1 - Химический состав наплавочного материала*

Содержание, % мас.							
C	Cr	V	Si	Ni	Mn	W	Fe
2.5	18.9	5	1	1.1	0.72	0.2	Основа

**Результаты исследования.** Анализ металлографических исследований наплавленных покрытий показал, что основной объем покрытий характеризуется наличием эвтектических карбидов разветвленной формы. Расчетный состав наплавочного материала хорошо согласуется с данными оптико-эмиссионного

анализа. Согласно данным РФА, покрытие состоит из аустенита, мартенсита, карбида  $M_7C_3$  и карбидов ванадия.

Таблица 2 - Данные РФА с поверхности наплавленного покрытия

Фаза	Фазовый состав покрытия, %
Аустенит	25
Мартенсит	30
$M_7C_3$	28
VC	12
$V_2C$	5

В дальнейшем, образцы с покрытием были отшлифованы и обработаны с определенной закономерностью импульсным сфокусированным в точку электронным лучом. В результате такой обработки на поверхности покрытия сформировались модифицированные зоны (зоны импульсного воздействия). Диаметр каждой зоны на поверхности составил порядка 1000 мкм, с глубиной 500-600 мкм. Между модифицированными зонами остались прослойки покрытия, не подвергавшиеся воздействию импульсного электронного луча и необходимые для релаксации напряжений.

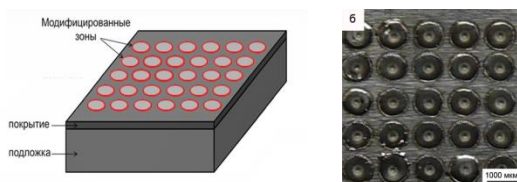


Рис.1. – Схема обработки покрытия (а) и фрагмент поверхности покрытия с модифицированными зонами (б)

Каждая модифицированная зона образована в результате одного импульса электронного пучка с длительностью 15 миллисекунд. В отличие от исходного состояния, структура модифицированных зон характеризуется высокой степенью однородности благодаря равномерному распределению мелких (до 3 мкм) включений округлой формы, которые при большем увеличении представляют собой веерообразные эвтектические колонии. После импульсной обработки материал модифицированных зон уже состоит из преимущественно аустенита (60 об.%) и карбида ванадия VC (25%), являющегося ведущей фазой в эвтектических колониях.

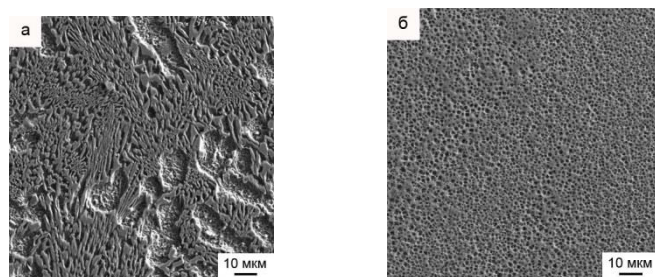


Рис. 2. - Микроструктура исходного покрытия (а) и модифицированной зоны (б)

11. В зоне воздействия электронного луча со временем импульса 15 мсек в материале покрытия видимо образуется жидкая фаза, которая мгновенно кристаллизуется по завершении воздействия луча. Карбиды ванадия первыми образуются из расплава и за время существования жидкой фазы образуют мелкие веерообразные колонии. Микрорентгеноспектральный анализ эвтектических колоний показал, что в их центре располагаются частицы, содержащие в среднем до 60% мас. V, 15% Cr, и 7% Fe.

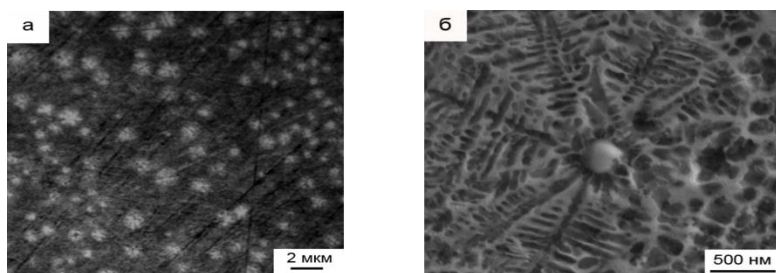


Рис.3.- Микроструктура модифицированной зоны (а) и карбид ванадия - ведущая фаза эвтектических колоний (б).

Таблица 3 - Данные МРСА центра эвтектических колоний

Хим. элемент	Состав % мас.
V	60
Cr	15
Fe	7

Согласно данным МРСА, матрица модифицированной зоны, в среднем, содержит 17.68Cr, 3.64V, 0.56Si, 0.62Mn, 1.47Ni, 76.03Fe (% мас.), а матрица исходного покрытия – 11.12Cr, 1.47V, 0.66Si, 0.65Mn, 1.7Ni, 84.39Fe (% мас.) (табл.). Концентрация хрома и ванадия в аустенитной матрице повысилась в 1.6 и 2.5 раза, соответственно, по сравнению с матрицей исходного покрытия. В результате, фиксируется матрица, состоящая из значительного количества пересыщенного метастабильного аустенита, что обуславливает пониженную твердость модифицированной зоны (1.2 ГПа) по сравнению с покрытием исходного состояния (5.7 ГПа). С целью выделения вторичных карбидов из пересыщенной аустенитной матрицы модифицированных зон было проведено старение образцов при температуре 1100°C в течение 30 минут. Структура модифицированных зон после старения характеризуется наличием значительного количества вторичных мелкодисперсных (1-2 мкм) карбидов и высокой однородностью их распределения в объеме модифицированных зон. После старения общее содержание карбидов увеличилось с 30% до 52% об., мартенсита - с 10% до 39% об., а содержание аустенита снизилось с 60% до 9% об., по сравнению с материалом после импульсной обработки. Испытания покрытия на абразивную износостойкость и измерение твердости показали что максимальную износостойкость покрытия приобретают после старения при 1100°C, в результате повышения объемной доли карбидов (52 об.%) и мартенсита (39 об.%) в модифицированных зонах-  $K_H = 25 \pm 1$ , твердость  $H = 14,2 \pm 3,8$  ГПа

Выводы: При наплавке порошковой смеси, состоящей из хромистого чугуна с добавлением порошков железа и ванадия, формируется покрытие, состоящее из аустенитно-мартенситной матрицы и карбидов  $M_7C_3$ ,  $V_2C$ , VC. Многоочечная импульсная электронно-лучевая обработка приводит к формированию модифицированных зон, состоящих, из пересыщенного аустенита и мелких изолированных эвтектических колоний округлой формы, веерообразно расходящихся из центров колоний с ведущей фазой VC. Термическая обработка (старение) при температуре 1100 ° C с выдержкой 30 минут приводит к интенсивному выделению из пересыщенного аустенита мелкодисперсных вторичных карбидов  $M_7C_3$ , равномерно распределенных в объеме модифицированных зон, аустенитно-мартенситному превращению в матрице, значительному повышению твердости зон и абразивной износостойкости покрытий в целом.