

УДК 621.793

Ю. С. Коробов

Уральский федеральный университет

Ю. В. Худорожкова, С. В. Буров

Институт машиноведения УрО РАН

А. А. Воннерук

НПП «Машпром»

г. Екатеринбург

ПОКРЫТИЯ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДИОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ ИЗ NiCrB-WC КОМПОЗИТА

Проведено сравнение металломатричных покрытий вида NiCrB-WC на основе из бронзы C18150, полученных лазерной наплавкой на основе из бронзы CuCrZr. Проанализированы зависимости изменений структурных характеристик, твердости, склонности к образованию трещин от толщины покрытий и технологических параметров. Определены рациональные режимы обработки с использованием диодного лазера.

Ключевые слова: лазерная наплавка, металломатричное покрытие, медь, структура.

Y. S. Korobov, Y. V. Khudorozhkova, S. V. Burov, A. A. Vopneruk

STRUCTURE STUDY OF LASER TREATED NiCrB/WC COATINGS ON BRONZE SUBSTRATE

Metal matrix composite layers like NiCrB-WC on the substrate of bronze C18150 were performed by laser deposition. The influence of layer thickness and operating parameters on the structural characteristics, microhardness, and crack susceptibility were analyzed. Rational technological modes were defined applied to a diode laser.

Keywords: MMC coatings, laser deposition, copper, structure.

Материалы и методика исследования

Образцы 100x100x40 мм получали из Cu-Cr-Zr сплава C18150 ASTM. Для наплавки использован диодный лазер HighLight 10000D фирмы Coherent, США. Были выполнены тонкие и толстые слои, режимы ЛН приведены в табл. 1. Использована смесь порошков Hoganas 1559-4570 (40-60), фракции 53–150 мкм, табл. 2. Вид образцов после обработки согласно табл. 2 приведен на рис. 1.

Таблица 1

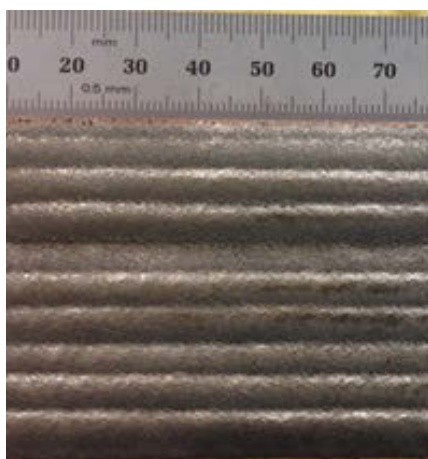
Режимы лазерной наплавки

Наименование образца	ЛН-тонкие	ЛН-толстые
Толщина покрытия, мм	0,6	1,6
Энергия излучения лазера, Вт	5000	5000
Температура предварительного подогрева, °С	250	250
Форма луча лазера, мм	6x2	6x2
Линейная скорость сканирования поверхности, мм/с	10	2.5
Скорость сканирования площади поверхности, см ² /с	72	18
Шаг сканирования, мм	6	6
Подача порошка, г/мин	36	36

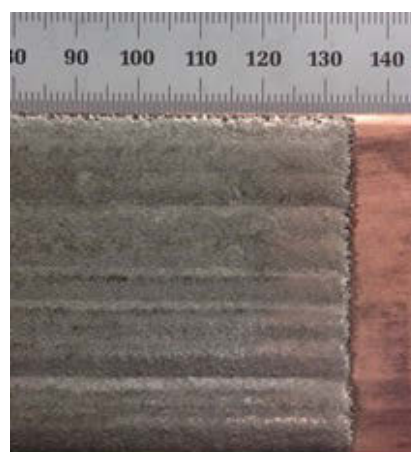
Таблица 2

Свойства порошков [1]

Компонент	Твердость	Содержание элементов, мас. %					
		C	Si	B	Fe	Ni	W
Hoganas 1559	49 HRc	< 0.06	3	2.9	0.2	Bal.	
Hoganas 4570	1900–2200 HV _{0.1}	4					Bal.



ЛН-тонкие



ЛН-толстые

Рис. 1 Вид образцов, наплавленных по режимам табл. 1

Для изучения структуры использована сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), Tescan VE-GAИХMU микроскоп. Микротвердость оценивали твердомером HNV-G21 SHIMADZU при нагрузке 245,2 мН. Шаг измерений 20 мкм в покрытии и 40 мкм в основном металле.

Результаты и обсуждение

ЛН-покрытие состоит из матрицы никеля и крупных частиц карбида с размером до 140 мкм (рис. 2). В нижней части покрытия концентрация карбидов выше вследствие более чем двойной разницы в плотности между матрицей никеля и карбида вольфрама. Эта тенденция более отчетливо проявляется в толстом покрытии из-за увеличения периода кристаллизации жидкой матрицы.

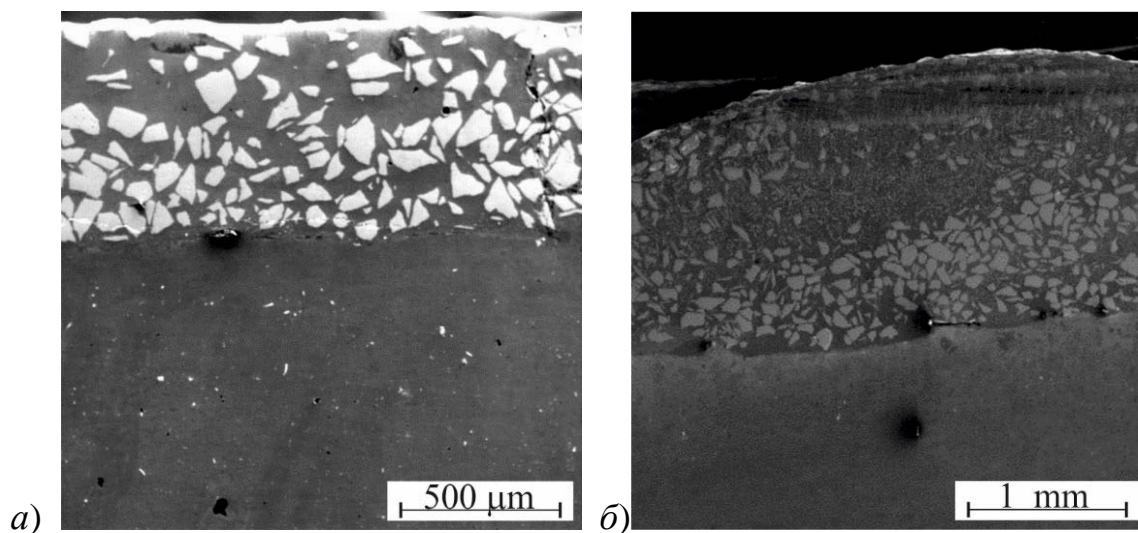


Рис. 2 Микроструктура ЛН-покрытия: а) тонкое; б) толстое

В ЛН-покрытиях различной толщины (рис. 3) отмечены различия в размерах и структуре карбидов из-за различной скорости охлаждения. ЛН-тонкое покрытие включает в себя только крупные частицы карбида до 140 мкм в окружении матрицы. В матрице ЛН-толстого покрытия представлены частицы карбидов как большого размера, до 140 мкм, так и малого, 10–30 мкм, который меньше интервала диаметров исходных карбидов в порошке. Это указывает на повторно выделение обогащенных вольфрамом карбидов в толстом покрытии. В обоих случаях на крупных частицах карбидов наблюдается переходный граничный слой. Его толщина 3–10 мкм на толстом покрытии, что в 2–3 раза больше по сравнению с тонким покрытием. Отчетливо видна дендритная структура матрицы на толстом покрытии. Матрица тонкого покрытия гораздо более мелкодисперсная.

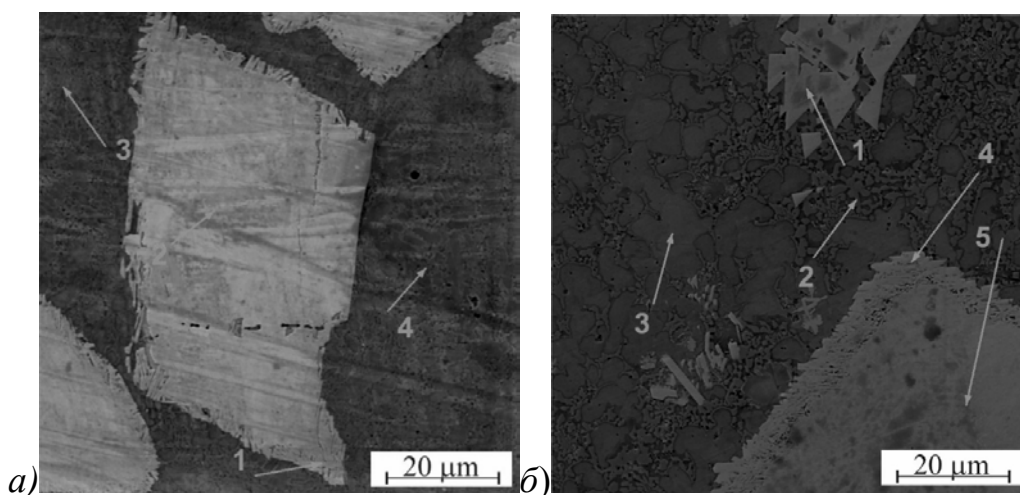


Рис. 3. Частицы карбидов в матрице в ЛН-покрытии: *а)* тонкое: 1 – граничный слой карбида, 2 – внутренняя область частиц карбида, 3, 4 – матрица; *б)* толстое: 1 – мелкие частицы карбида, 2 – темная область матрицы, 3 – дендриты в матрице (светлая область), 4 – граничный слой карбида, 5 – внутренняя область крупных частиц карбида

СЭМ-анализ характерных точек (рис. 3) показал следующее. Никелевая матрица обогащена растворенными карбидами вольфрама. В тонком покрытии повторное выделение обогащенных вольфрамом карбидов ограничено из-за высокой скорости охлаждения. В толстом покрытии отмечены вторичные карбиды, которые смешаны с материалом матрицы. Твердость в этой зоне, точка 1, меньше, чем в первичных карбидах, точка 5 (2425 против 2757 HV). Дендриты в толстом покрытии, точка 3, отличаются обедненным содержанием бора по сравнению с исходным порошком (0,99 против 2,9 мас. %). Наоборот, темные области обогащены бором, 6,55 мас. %. Кроме того, бор появляется в внутренней области частиц первичных карбидов, а во вторичных карбидах, 1.0–1.34 мас. %.

Такая же картина наблюдается в тонком покрытии. Скорее всего это соответствует формированию карбоборидов вида $W(B, C)$. В результате для обоих ЛН-покрытий твердость внутренней области частиц карбида выше по сравнению с исходным WC порошком (2756 против 2200 HV). Кроме того, твердость темных участков матрицы в три раза больше по сравнению с дендритами.

В покрытиях присутствуют трещины. Они в разных направлениях проходят вдоль матрицы, а также пересекают частицы карбида (рис. 4).

Количество трещин, их длина и ширина в тонком покрытии в несколько раз больше. Очевидно, это связано с различной скоростью сканирования поверхности лазерным лучом и толщиной покрытия, что приводит к меньшему «тепловому удару» в толстом покрытии.

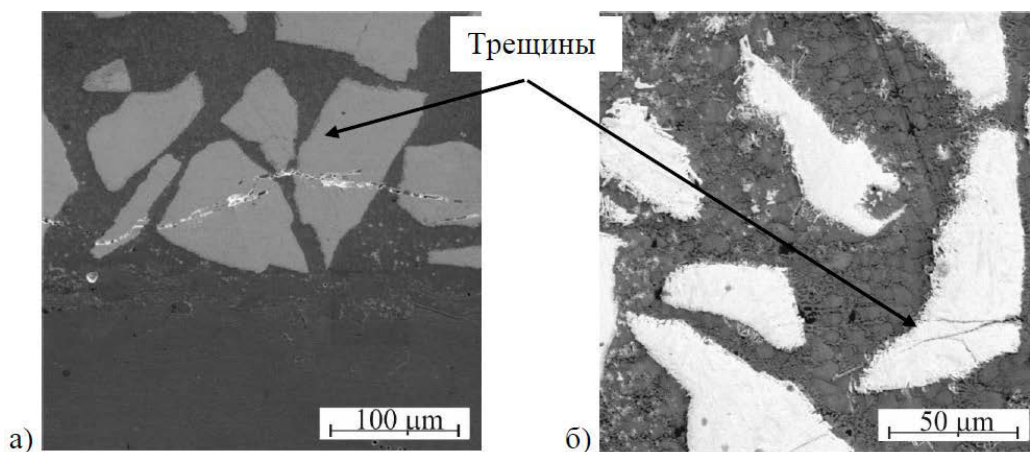


Рис. 4. Трещины в ЛН-покрытии: а) тонкое; б) толстое

Оценка микроструктур в характерных спектрах углерода, меди, никеля и вольфрама показывает следующее. В тонком покрытии зоны смешения меди и никеля в покрытии и основе составляют от 20 до 40 мкм. В толстом покрытии смешение меди с покрытием наблюдается на ширине до 200 мкм. Более грубые границы карбидов в толстом покрытии указывают на растворение вольфрама. В толстом покрытии внутри частиц карбида отмечено выделение углерода и бора в связи с распадом карбоборидов вольфрама.

Выводы:

1. ЛН-покрытие композита NiCrSi-WC толщиной 0,6–1,6 мм на бронзовой основе может быть получено с использованием диодного лазера мощностью 10 кВт с предварительным подогревом подложки до 200–250 С°.

2. Карбиды в ЛН-покрытии наиболее склонны к растрескиванию, особенно в тонких покрытиях. Для исключения трещин требуется оптимизация скорости сканирования, форма лазерного луча и размера зоны перекрытия проходов.

3. Размер зоны диффузионного взаимодействия указывает на высокую адгезионную прочность. Рост ее величины пропорционален толщине покрытия.

4. Выделение вторичных карбидов в толстых слоях приводит к снижению твердости.

5. Микротвердость карбида вольфрама в ЛН-покрытии соответствует 0,9 от параметра для литых карбидов и приблизительно в 2 раза выше, по сравнению с карбидами в газотермических HVOF/HVAF покрытиях [2–4]. Такая высокая микротвердость отражает совместное влияние низкой термической деструкции карбидов в ЛН-покрытии и формирования упрочняющей боридной фазы из исходной матрицы.

Список литературы

1. Surface coating product data, Höganäs, 2010.
2. Самсонов Г. В., Виноцкий И. М. Справочник. – М. : Металлургия, 1976. – 560 с.
3. Waudby R. et al. The impact and sliding wear performance of thermal spray HVAF thick carbide coatings on steel substrates. Proceedings of the International Thermal Spray Conference, Barcelona, Spain, 2014, pp. 279–283.
4. Picas J., Forn A., Matthäus G. HVOF coatings as an alternative to hard chrome for pistons and valves, Wear 261 (2006) 477–484.