

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТРЕКОВ
WC-NiCrBSi**

**Фомин В.М., Голышев А.А., Маликов А.Г., Оришич А.М., Ряшин Н.С.,
Филиппов А.А.**

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1
fomin@itam.nsc.ru, alexgol@itam.nsc.ru, smalik@ngs.ru, laser@itam.nsc.ru,
ryashin@itam.nsc.ru, filippov@itam.nsc.ru*

На сегодняшний день, во всем мире существует потребность в высокотехнологичных изделиях (лопатки турбин, лопасти вентиляторов, подвижные части микродвигателей, детали медико-технического назначения) обладающими высокими эксплуатационными свойствами (твердость, износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и др.). Эффективным способом решения данной проблемы является использование аддитивных технологий, необходимость которых на сегодняшний день очевидна. Применяя различные разновидности аддитивных технологий можно не только создавать новые и восстанавливать старые детали, но и формировать покрытия, обладающими высокими эксплуатационными свойствами, превосходящими по свойствам материал основы. Однако, обычные однородные традиционные материалы, уже не в состоянии выполнить своего предназначения, на их смену все чаще приходят композиционные материалы. Одним из видов металлических композиционных материалов являются дисперсно-упрочненные металлические композиционные материалы (ДМКМ) – это композиционные материалы, состоящие из металлической матрицы, равномерно армированной различными упрочняющими частицами [1-2]. В качестве матрицы могут применяться стали и сплавы на основе Fe, Al, Ni, Ti и др. элементов [3]. Роль упрочняющих частиц чаще всего выполняют карбиды (SiC, TiC, WC, NbC), оксиды (Al₂O₃, TiO₂) и бориды (ZrB₂, TiB₂).

Результаты экспериментов и их обсуждение.

В работе проведено исследование воздействия лазерного излучения на металлокерамический порошок 40% WC – 60% (Ni-Cr-B-Si). Лазерная наплавка осуществлялась на созданном в ИТПМ СО РАН комплексе «Сибирь 1», который включает непрерывный CO₂-лазер с мощностью до 5000 Вт и параметром качества пучка K = 0,7, а также компьютерную систему управления лазером и технологический стол [4].

С помощью линзы из ZnSe с фокусным расстоянием 304 мм лазерное излучение фокусировалось вглубь материала (отрицательное значение f), на его поверхности (f=0) и над ней (положительное значение f). Например, в случае если f=±20 диаметр пятна на поверхности составлял приблизительно 2 мм. Наплавка осуществлялась в защитной атмосфере гелия, подававшегося через сопло, расход газа составил 5 л/мин.

С помощью излучения CO₂-лазера (длина волны 10.6 мкм) порошковая смесь 40% WC – 60% (Ni-Cr-B-Si) наплавлялась на подложку из нержавеющей стали (12X18H10T) толщиной 5 мм. Толщина нанесенного слоя порошковой смеси во всех экспериментах оставалась постоянной и составляла 1,5 мм.

На рис.1 представлены шлифы поперечного сечения единичных треков выполненных разных режимах фокусировки (рис.1.а – f=-20, рис.1.б – f=0, рис.1.в – f=+20). Остальные параметры режима наплавки оставались постоянными: мощность Q = 1 кВт, скорость V = 1 м/мин.

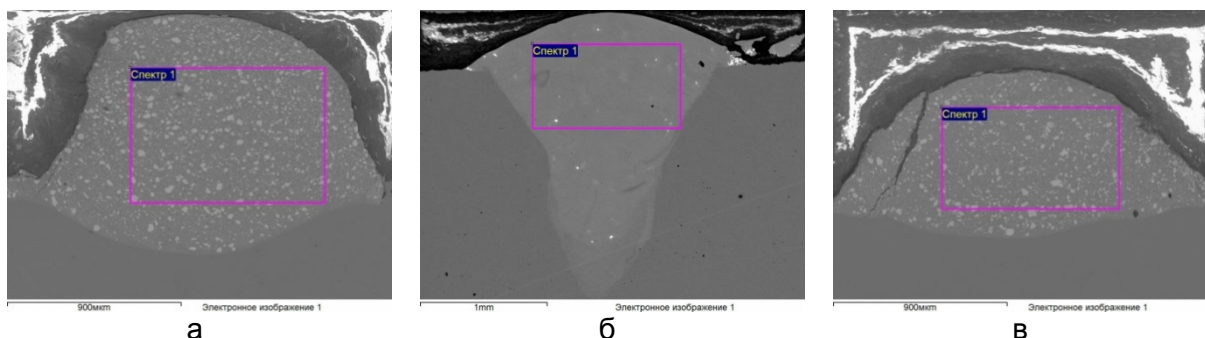


Рисунок 1 - EDS изображение единичных треков при разных режимах фокусировки (а – $f=-20$, б – $f=0$, в – $f=+20$)

Исследование микроструктуры проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Zeiss EVO MA 15, оснащенного двумя детекторами: детектором обратно рассеянных электронов, позволяющим определять фазовый состав, и детектором вторичных электронов, предназначенным для анализа микрорельефа поверхности. Кроме того, для оценки состава покрытия использовался энергодисперсионный рентгеновский спектрометр Oxford Instruments X-Max 80 mm².

Определен химический состав единичных треков. В табл.1 представлено содержание различных элементов для треков, показанных на рис.1 ($f=-20, 0, +20$). Видно, что при $f=\pm 20$ содержание вольфрама W приблизительно одинаковое. Однако, при сравнении с режимом $f=0$, концентрация вольфрама отличается в три раза.

Таблица 1

| Элемент | Режим фокусировки $f=-20$ | | Режим фокусировки $f=0$ | | Режим фокусировки $f=+20$ | |
|----------|---------------------------|-----------|-------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| | Весовой % | Атомный % | Весовой % | Атомный % | Весовой % | Атомный % |
| C K | 4.92 | 24.11 | 5.32 | 20.97 | 5.03 | 23.73 |
| W M | 33.20 | 10.62 | 11.34 | 2.92 | 29.05 | 8.96 |
| Cr K | 9.66 | 10.92 | 14.22 | 12.95 | 10.41 | 11.35 |
| Fe K | 7.44 | 7.83 | 45.92 | 38.93 | 8.14 | 8.27 |
| Ni K | 43.28 | 43.34 | 18.81 | 15.17 | 45.59 | 44.04 |
| Si, Al K | 1.5 | 3.18 | 4.39 | 9.05 | 1.79 | 3.64 |

Определим микротвердость наплавленных металлокерамических треков. Измерения проводились по Виккерсу на микротвердомере Wilson Hardness Group Tukon1102 с нагрузкой 100 г. Получено, что для представленных выше образцов, минимальная микротвердость в случае, когда концентрация вольфрама минимальна ($f=0$) и равняется 484,4 HV0.1. Для режима фокусировки $f=-20$ и $f=+20$ микротвердость 850,4 HV0.1 и 831,5 HV0.1 соответственно.

На рис.2 представлена зависимость параметра микротвердости от режима фокусировки ($-20 < f < +20$). Видно, что минимальная микротвердость достигается при $f=-3$, а затем симметрично возрастает. На рис.3 показано изменение микротвердости в зависимости от концентрации вольфрама W. Видно, что данная зависимость имеет линейный вид и возрастает.

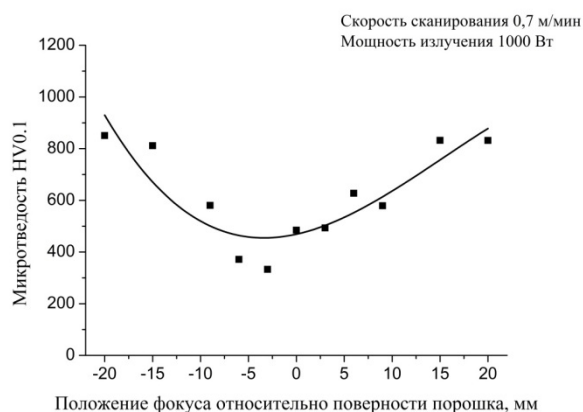


Рисунок 2 - Микротвердость единичных треков в зависимости от положения фокуса

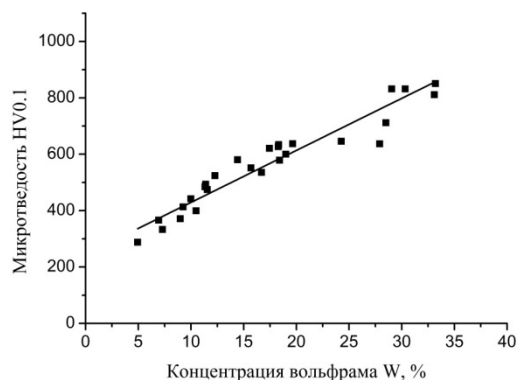


Рисунок 3 - Микротвердость единичных треков в зависимости от концентрации вольфрама

Выводы

Исследовано влияние режимов воздействия лазерного излучения на микроструктуру и микротвердость металлокерамических треков WC-NiCrBSi. Показано, что режим фокусировки $f=\pm 20$ характеризуется максимальным содержанием вольфрама и наибольшим значением микротвердости. Получено, что наплавленная металлокерамическая структура обладает в 4 – 5 раза большим значением микротвердости 850,4 HV0.1, по сравнению с подложкой 178 HV0.1. Определено, что изменение микротвердости в зависимости от концентрации вольфрама имеет линейный вид и возрастает.

Благодарность.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №16-19-10300.

Литература

1. Davydova A., Domashenkov A., Sova A., et al. Selective laser melting of boron carbide particles coated by a cobalt-based metal layer, J. Materials Process. Technol., V. 229, P.361–366 (2016).
2. Фомин В.М., Голышев А.А., Косарев В.Ф. и др., Создание гетерогенных материалов на основе порошков В4С и Ni методом холодного газодинамического напыления с последующим послойным лазерным воздействием, Прикладная механика и техническая физика, Т. 58, №5, С. 218– 227 (2017).
3. Li G. J., Li J., Luo X., Effects of high temperature treatment on microstructure and mechanical properties of laser-clad NiCrBSi/WC coatings on titanium alloy substrate, Materials Characterization, 98, P. 83–92 (2014).
4. Голышев А.А., Маликов А.Г., Оришич А.М., Шулятьев В.Б., Высококачественная лазерная резка нержавеющей стали в атмосфере инертного газа с помощью волоконного иттербиевого и СО2-лазеров, Квантовая электроника, Т.44, №3, С. 233-238 (2014).