

УДК 621.793

О.О. Агафонова, Е.С. Русин**O.O. Agafonova, E.S. Rusin**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДАМИ НАНЕСЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ

THE IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS BY METHODS OF APPLICATION OF NANOSTRUCTURED COATINGS

Проведено металлографическое исследование поверхности алмазоподобных DLC-покрытий и порошковых покрытий состава WC–Co–Cr, определена микротвердость покрытий, а также проанализирован внешний вид покрытия и микроструктура. Проведены стендовые испытания в абразивных средах. Во время испытаний определена скорость износа и качество различных видов покрытий. На основании выполненных исследований составлен сравнительный анализ различных покрытий деталей машин.

Ключевые слова: наноструктурированные покрытия, алмазоподобные покрытия, высокоскоростное газопламенное напыление, абразивная среда, коррозия, износостойкость, твердосплавный материал, радиальная пара трения.

Metallographic study of the surface of the diamond-like DLC coating and powder coating composition of WC–Co–Cr, defined microhardness of the coatings, as well as analysis of appearance and microstructure. Bench tests in abrasive environments. During the tests determined the rate of wear and the quality of various types of coatings. On the basis of the research is composed of a comparative analysis of the various coating of machine parts.

Keywords: nanostructured coatings, diamond-like coatings, high-speed flame spraying, abrasive environment, corrosion, wearproof, carbide material, radial friction pair.

Обычные конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требованиям, предъявляемым к деталям машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях. Конструкционные материалы повышенного качества могут оказаться слишком дорогими для использования в массовом производстве. Возникающее затруднение снимается при получении на рабочей поверхности покрытий, способных обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики деталей. Большой выбор материалов, используемых

для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности (или комплекс свойств) для любых деталей современного машиностроения. Покрытия улучшают внешний вид, увеличивают адгезию, смачиваемость, стойкость к коррозии, износостойкость, электропроводность, стойкость к высоким температурам [1].

Для того чтобы подобрать подходящее покрытие, нужно привести несколько примеров, исследовать их в лаборатории, провести испытания в абразивной среде, а затем составить сравнительный анализ. Были выбраны следующие материалы исследования: алмазоподобное DLC-покрытие, покрытие из порошка WC–Co–Cr с последующей механической обработкой и без нее.

Высокопрочное углеродное покрытие DLC (рис. 1), полученное методом CVD (химическое паровое осаждение), состоит из атомов углерода, как с алмазными атомными связями, так и с графитоподобными. Первые связи обеспечивают пленке твердость алмаза, вторые — скольжение графита. Это открывает широчайшие возможности для использования DLC-покрытий в тех отраслях промышленности, где требуется увеличить прочность рабочего инструмента и снизить трение между деталями [2].

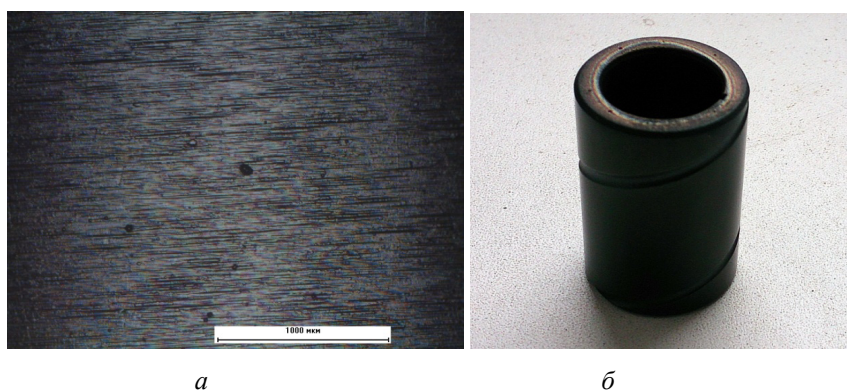


Рис. 1. DLC-покрытие: *а* – изображение, полученное с помощью металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51; *б* – защитная втулка материала 40X13 с DLC-покрытием

Покрытие WC–Co–Cr, нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления по типу оборудования керосин – кислород (HVOF, High Velocity Oxygen Fuel) представлено на рис. 2. Размер частиц покрытия лежит в пределах от 300 до 900 нм.

Для исследования внешнего вида покрытия проведен металлографический анализ материала. Результаты исследования показали, что DLC-покрытие имеет трещины и расслоения (рис. 3, *а*). Покрытие WC–Co–Cr

с последующей механической обработкой – сплошное, сколов, вспучиваний, расслоений и трещин не обнаружено (рис. 3, б). Микроструктура покрытия WC–Co–Cr без механической обработки аналогична структуре предыдущего покрытия (рис. 3, в).

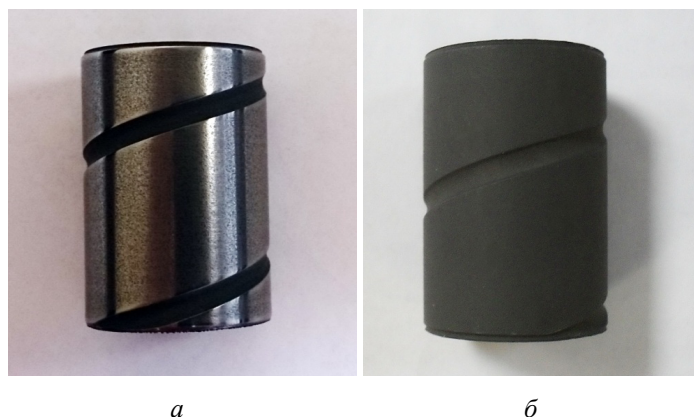


Рис. 2. Защитная втулка с покрытием WC–Co–Cr: *a* – с последующей механической обработкой; *б* – без механической обработки

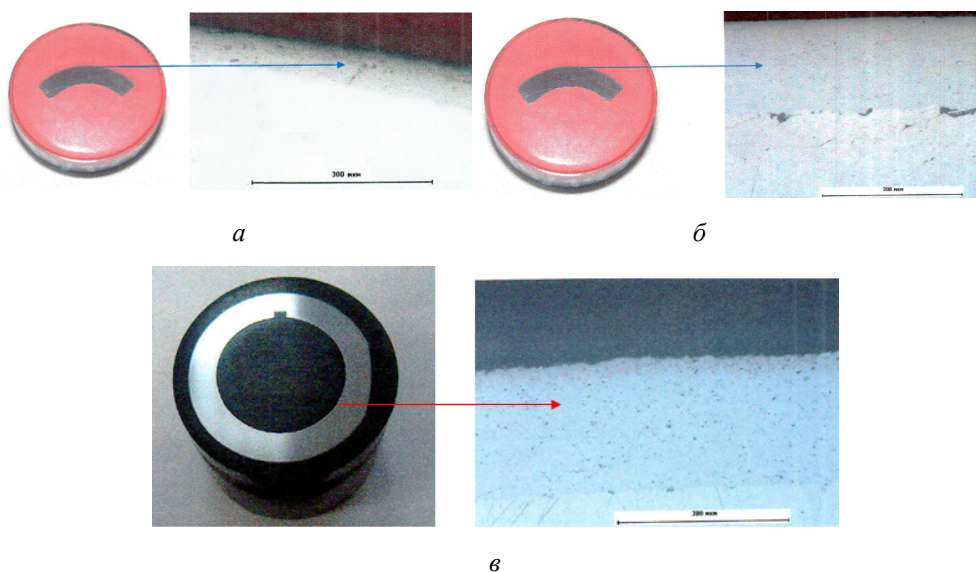


Рис. 3. Внешний вид образцов для исследований и покрытия при увеличении $\times 200$: *a* – DLC-покрытие; *б* – покрытие WC–Co–Cr с последующей механической обработкой; *в* – покрытие WC–Co–Cr без механической обработки

В табл. 1 приведены характеристики покрытия, полученные при анализе образцов.

Таблица 1

Характеристика покрытий

Покрытие	Ra , мкм	Толщина покрытия, мкм	Микротвердость, HV	Пористость, %
DLC (алмазоподобное)	$0,70 \pm 0,22$	45–50	1390	0,5–1,0
WC–Co–Cr (с механической обработкой)	$0,86 \pm 0,22$	209–222	1123	0,5–1,0
WC–Co–Cr (без обработки)	$1,74 \pm 0,48$	210–247	1070	0,5–1,0

Испытания деталей с покрытиями проводились в абразивной среде на стенде абразивных испытаний радиальных пар трения. Работу деталей с покрытиями сравнивали с работой изделия из твердосплавного материала ВК8 (табл. 2–4).

Таблица 2

Скорость износа DLC-покрытия

Материал	D , мм		Средняя скорость износа, мм/ч
	0 ч	20 ч	
DLC	27,89	27,79	$5 \cdot 10^{-3}$
ВК8	24,89	24,88	$5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3

Скорость износа покрытия WC–Co–Cr с механической обработкой

Материал	D , мм					Средняя скорость износа, мм/ч
	0 ч	10 ч	20 ч	30 ч	40 ч	
WC–Co–Cr	24,88	24,88	24,86	24,85	24,84	$1 \cdot 10^{-3}$
ВК8	24,88	24,88	24,87	24,87	24,86	$5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 4

Скорость износа покрытия WC–Co–Cr без механической обработки

Материал	D , мм				Средняя скорость износа, мм/ч
	0 ч	10 ч	20 ч	30 ч	
ВК8	24,88	24,88	24,86	24,86	$6,67 \cdot 10^{-4}$
WC–Co–Cr	24,88	24,88	24,86	24,84	$1,66 \cdot 10^{-3}$

Покрытие DLC за 20 ч испытаний было сильно изношено, скорость износа алмазоподобного покрытия выше в 10 раз, чем для твердосплавной детали. Скорость износа покрытия WC–Co–Cr без механической обработки выше в 2,5 раза, чем у BK8. Таким образом, покрытие WC–Co–Cr с последующей механической обработкой наиболее подходит для работы в условиях абразивной среды. Скорость износа в сравнении со скоростью износа твердосплавной втулки выше в 2 раза. Изделие с таким покрытием является хорошей альтернативой для замены дорогостоящих цельных твердосплавных деталей.

Применение покрытия обеспечивает незначительный расход материала и высокие характеристики поверхности детали. Несомненно, данные покрытия не могут полностью заменить изделия из твердосплавного материала. Так, скорость износа деталей с покрытием выше скорости износа изделий из BK8. Но в силу дороговизны карбида вольфрама необходимо продолжать работы по выбору технологии, которая могла бы создать замену этому материалу.

Список литературы

1. Зенин Б.С., Овечкин Б.Б. Современные технологии модифицирования поверхности и нанесения покрытий: учеб. пособие. – Томск, 2008. – 75 с.
2. Высокопрочное углеродное покрытие [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tydexoptics.com/ru/materials/coatings/dlccoatings/> (дата обращения: 01.03.2015).

Получено 10.04.2015

Агафонова Ольга Олеговна – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. МТН-14-1м, e-mail: oo.agafonova@mail.ru.

Русин Евгений Сергеевич – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: evgenirusin@yandex.ru.