

### Список ссылок

1. Курдюмов В.Я. Ремонт строительных машин методами сварки и наплавки / В.Я.Курдюмов, В.П. Рязанов - М.: Стройиздат, 1973. – 231 с.
2. Терегулов Н.Г. Лазерные технологии на машиностроительном заводе / Н.Г. Терегулов, Б.К. Соколов, Г. Варбанов, Б.С. Малышев, М.И. Неганов, Е.Ю. Ерофеев– Уфа, 1993. – 264 с.
3. Шелягин В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев. // Автомат. сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
4. Маркашова Л.И. Сварные соединения сложнолегированных алюминий-литиевых сплавов. Структура и эксплуатационные свойства / Л.И. Маркашова, О. С. Кушнарера // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. № 64, – Днепропетровск, ПГАСА, 2012. – С. 75 – 80.

УДК 621.81:621.337

**Бердникова Е.Н., канд. техн. наук, старший научн. сотрудник**  
**Кушнарера О.С. канд. техн. наук**  
**Половецкий Е.В. канд. техн. наук, старший научн. сотрудник**  
**Титков Е.П. млад. науч. сотрудник**  
**Еремеева Л. Т. ведущ. инж-техн.**

Институт электросварки им. Е.О. Патона, г. Киев, omberdnikova@gmail.com

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ

Актуальной задачей является повышение надежности и долговечности изделий, эксплуатационные характеристики, которых определяются свойствами их рабочих поверхностей и позволяют использовать их для работы в экстремальных условиях (высокие температура и давление, интенсивный износ трением, знакопеременные нагрузки и т.д.).

В работе проведены исследования структуры и свойств целого ряда композиционных покрытий ( $Al_2O_3-Al$ ;  $ZrSiO_4$ ;  $Ni-Cr-Si$ ;  $WC-Co-Cr$ ;  $Cr_3C_2-NiCr$ ;  $Cr_3C_2-TaC-NiCr$ ;  $Al_2O_3-Ti$ ), нанесенных на различные материалы подложек (сталь, медь, алюминий, титан), полученных на различных режимах детонационного напыления [1 - 4].

Исследования структуры полученных покрытий (микротвердости, объемной доли пор, фазового состава, распределения дисперсных фаз, характера зеренной, субзеренной, дислокационной структур и др.) проводили на всех структурных уровнях (от зеренного до дислокационного) с применением комплексного методического подхода, включающего световую микроскопию (Versamet-2, Япония; Leco-M400, США), аналитическую растровую электронную микроскопию (Philips SEM-515, Нидерланды), рентгеноструктурный фазовый анализ (ДРОН-УМ1), а также просвечивающую микродифракционную электронную микроскопию (JEM-200CX, фирмы «JEOL» с ускоряющим напряжением 200кВ, Япония).

В результате исследования влияния используемых технологических режимов на структурно-фазовые изменения обрабатываемых поверхностей, показано следующее.

При различных режимах поверхностной обработки установлены существенные изменения:

- на 20...30% микротвёрдости обрабатываемых поверхностных слоев;
- состава, объемной доли (изменение в 1,5...2 раза), измельчения (от 0,2...1,1 мкм до 0,01...0,5 мкм) и распределения упрочняющих фаз;
- степени диспергирования (в 1,2...3 раза) зеренной и субзеренной структуры матричной основы;

- характера распределения плотности дислокаций (градиенты по плотности дислокаций (в 1,8...2 раза)  $\Delta\rho$ : от  $\rho \sim (7...8) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$  до  $\rho \sim (3...4) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ).

Аналитическими оценками свойств формирующихся поверхностей установлен конкретный вклад всех структурных параметров в изменение прочности и трещиностойкости исследуемых покрытий. Показано, что наибольший вклад в интегральное упрочнение покрытий вносят: дисперсные частицы фазовых выделений (дисперсионное упрочнение по Оровану до 60%) в матрице покрытий; формирование субструктуры (субзеренное упрочнение до 20%) при равномерном распределении плотности дислокаций (дислокационное упрочнение до 15%).

Установлено, что высокий уровень механических свойств и трещиностойкость новых покрытий обеспечиваются за счет оптимального структурно-фазового состава: мелкозернистой зеренной и субзеренной структуры при равномерном распределении упрочняющих фаз и дислокационной плотности. При этом повышению трещиностойкости покрытий способствует отсутствие протяженных структурных зон дислокационных скоплений - концентраторов локальных внутренних напряжений.

#### Список ссылок

1. Влияние структуры на свойства покрытий из механических смесей порошков  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и Al (или Ti), полученных методом многокамерного детонационного напыления / Маркашова Л.И., Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Бердникова Е.Н., Кушнарева О.С., Е.В. Половецкий, Титков Е.П. // Автоматическая сварка. – 2017. – №9. – С.33-39. DOI: 10.15407/as2017.09.05
2. Влияние структуры на трещиностойкость металлокерамических покрытий при детонационном напылении / Л.И. Маркашова, Ю.Н. Тюрин, О.В. Колисниченко, Е.Н. Бердникова, Е.В. Половецкий, Е.П. Титков // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения. – 2018. – Вып. 104. – С.188-193.
3. Effect of Nano-Structured Factors on the Properties of the Coatings Produced by Detonation Spraying Method / L. Markashova, Yu. Tyurin, O. Berdnikova, O. Kolisnichenko, I. Polovetskyi, Ye. Titkov. // Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. A.D. Pogrebnyak, V. Novosad (Eds.). – Singapore: Springer, 2019. – P. 109-117. DOI: 10.1007/978-981-13-6133-3\_11.
4. Berdnikova O. Effect of Structures on the Strength, Fracture Toughness, Crack Resistance of Welded Joints of High-Strength Steels and Composite Coatings / O. Berdnikova // International Institute of Welding. –2018. Doc. X-1921-18. – 10P.

UDK 621.793.6

**Kruglyak I. V. associate professor, PhD in technical sciences**  
Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe, seredabp@ukr.net

## TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF CHROME DIFFUSION COATINGS IN COMPOSITE MEDIA

**Introduction** The operational characteristics of many products - wear resistance, corrosion resistance, reflectivity, heat resistance and others - are determined by the surface properties. To obtain high structural strength characteristics of surface layers, various coating methods are often used to protect the base material from external influences, increase the service life of parts and reduce the cost of repairing worn equipment. The chromium plating process is an effective method of increasing the reliability and durability of machine parts, tools and technological equipment due to the creation of chrome layers on the surface of the machined parts having a unique set of physicochemical properties.

In this paper, we consider the technology of the formation of functional coatings on structural materials using composite saturating media.

However, all known powder methods are energy intensive and time consuming. In this regard, the development of new composite saturating media is an urgent development of new