

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.793.74

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ*

Ю.С. ЧЁСОВ¹, Е.А. ЗВЕРЕВ², Н.В. ВАХРУШЕВ³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент. E-mail: chesov@ngs.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент. E-mail: egor_z@ngs.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры проектирования технологических машин. E-mail: vah_nikit@mail.ru

Совершенствование технологических машин и оборудования сопровождается ужесточением условий их эксплуатации. Вследствие тяжелых режимов нагружения детали механизмов часто выходят из строя по причине износа рабочих поверхностей. Таким образом, в настоящее время возникает насущная потребность в повышении физико-механических свойств поверхностей деталей. На практике это достигается различными методами поверхностного упрочнения, в том числе и путем плазменного нанесения износостойких покрытий. С целью повышения качества плазменных покрытий весьма перспективным направлением является формирование износостойких покрытий из многокомпонентных порошковых материалов. Существенным достоинством использования этого направления является возможность управления структурой в широком диапазоне путем использования порошковых композиций с различным химическим составом. Очевидно, что характер структуры плазменного покрытия предопределяет весь комплекс его физических, механических и эксплуатационных свойств. Поэтому целью настоящих исследований является изучение структуры одного из вариантов износостойких плазменных покрытий из двухкомпонентных порошковых механических смесей на основе оксидной керамики с различным содержанием никелевого и кобальтового порошков. В работе рассмотрено одно из наиболее перспективных направлений повышения качества износостойких плазменных покрытий за счет применения многокомпонентных механических смесей из различных порошковых материалов. Приведены типовые структуры плазменных покрытий из механических никель- и кобальтокерамической смесей и растровые снимки поверхностей напыленных покрытий. Результаты ис-

* Статья получена 3 февраля 2015 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2015 г. и в плановом периоде в 2013–2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

следования показали, что в покрытиях наблюдается взаимное обволакивание частиц порошковой смеси, а также низкая пористость. Однако в исследуемых покрытиях процентное содержание керамики заметно меньше, чем в исходной смеси, что объясняется эффектом сегрегации компонентов при плазменном напылении покрытия.

Ключевые слова: износостойкость, плазменное напыление, механические смеси, покрытие, структура, оксидная керамика, никелевый порошок, кобальтовый порошок

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-2-96-105

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большое разнообразие по функциональному назначению покрытий, особое место занимают покрытия, обеспечивающие высокий уровень износостойкости деталей. Это объясняется тем, что совершенствование технологических машин и оборудования сопровождается ужесточением условий их эксплуатации. Вследствие тяжелых режимов нагружения детали механизмов часто выходят из строя по причине износа рабочих поверхностей. Поэтому возникает насущная потребность в повышении физико-механических свойств поверхностных слоев деталей. На практике это достигается различными методами поверхностного упрочнения, в том числе и путем нанесения износостойких покрытий. В настоящее время в технологии машиностроения с целью обеспечения требуемого уровня качества покрытий и эксплуатационных свойств деталей машин (в первую очередь износостойкости и контактной выносливости) широко используются износостойкие плазменные покрытия, нанесенные из стандартных порошковых материалов [1–5]. Основными показателями, отражающими качество покрытий, являются адгезионная прочность (прочность сцепления покрытия с основой), когезионная прочность (прочность соединения частиц порошка между собой), твердость, пористость и размеры пор, а также знак и величина остаточных напряжений в слое.

К достоинствам плазменных покрытий можно отнести высокую производительность, хорошую управляемость процессом, простоту реализации технологии, относительно низкую себестоимость, а также возможность обработки деталей различной конфигурации и габаритов. К тому же сочетание покрытия, обладающего высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств, с пластичной, вязкой и трещиностойкой основой (что присуще дешевым маркам сталей) дает наибольший экономический эффект. Кроме того, очень часто возникает потребность в восстановлении изношенных деталей.

Однако, несмотря на все достоинства, присущие традиционной технологии нанесения плазменных покрытий из одноконтентных порошковых материалов, ей свойственны и недостатки, обусловленные нестабильностью показателей качества напыленного слоя: степень расплавленности порошкового материала, количество и размер пор, а также относительно невысокая адгезионная прочность.

Поэтому с целью повышения качества плазменных покрытий весьма перспективным направлением является формирование износостойких покрытий из многокомпонентных порошковых материалов. Одним из существенных достоинств использования этого направления является возможность управления структурой в широких пределах путем применения порошковых композиций с различным химическим составом.

Среди многообразия композиционных материалов – механические смеси различных металлов, плакированные, конгломерированные и другие порошковые материалы – следует отдать предпочтение порошкам первой группы. Это объясняется тем, что применение порошков в виде механических смесей является процессом технологически гораздо менее трудоемким, более дешевым и производительным. На данный момент в технической литературе приведены лишь общие рекомендуемые варианты возможных комбинаций исходных марок порошков, из которых образуются многокомпонентные механические смеси [6, 7]. Однако какие-либо сведения о методике нанесения покрытий и полученных результатах практически полностью отсутствуют.

Очевидно, что характер структуры покрытия закономерно предопределяет весь комплекс его физико-механических и эксплуатационных свойств. Поэтому целью настоящих исследований является изучение структуры одного из вариантов износостойких плазменных покрытий на основе двухкомпонентных порошков из никель- и кобальтокерамических механических смесей.

1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

При реализации поставленной задачи был проведен широкий круг исследований.

Базовыми для механических смесей были приняты стандартные порошки [6, 7]. Основным компонентом смесей служила оксидная керамика марки М28. В качестве связующих компонентов были использованы порошковые материалы на основе никеля марки ПГ-12Н-01 и кобальта марки ПГН-ВЗК. Предварительные исследования показали [8, 9], что с позиции износостойкости покрытий наиболее рациональными по процентному содержанию являются смеси, содержащие 80 % основной фракции и 20 % связующей компоненты. Приготовление механических смесей из порошков разных металлов является одной из важнейших операций технологического процесса нанесения плазменных износостойких покрытий. Ее назначение – обеспечение однородности смеси. На практике данная операция реализуется путем механического перемешивания в специальных мельницах.

Нанесение плазменных покрытий на образцы производили на установке «Киев-7» плазмотроном ПУН-8 мощностью 40 кВт.

В качестве образцов применялись тонкостенные втулки, изготовленные из стали 20 с наружным и внутренним диаметром соответственно 25 мм и 15 мм, длиной 12 мм [10]. Процесс напыления осуществляли за счет поступательного перемещения плазмотрона и вращения оправки с образцами. Заготовки предварительно подвергались процессу струйно-абразивной очистки частицами из электрокорунда. Образцы обрабатывались при одинаковых условиях, что позволило получить поверхности заготовок с шероховатостью в пределах $R_z = 60 \dots 80$ мкм. Режимы напыления были приняты следующими: величина тока дуги плазмотрона 120...180 А; напряжение 150...160 В; расход плазмобразующего газа (воздуха) 0,9...1,2 л/мин; дистанция напыления 110 мм; скорость перемещения плазмотрона 250 мм/мин; частота вращения оправки с образцами 150...200 об/мин. Толщина слоя покрытия выдерживалась в пределах 600...630 мкм.

Металлографические исследования структуры выполняли на оптическом и растровом электронных микроскопах моделей соответственно *NIKONEclipseMA100* и *EVO 50 XVPCarlZeiss*. Шлифы готовили по стандартной технологии, основанной на механическом шлифовании и полировании образцов [11].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 и 2 приведены структуры и снимки поверхностей плазменных покрытий соответственно из никелькерамической и кобальтокерамической механических смесей.

Анализируя полученные изображения структур многокомпонентных покрытий, следует отметить, что закономерности их формирования по своей природе аналогичны механизму формирования однокомпонентных плазменных покрытий. Покрытие образуется путем наслоения расплавленных частиц порошков, деформирующихся при соударении с основой, или деформированными ранее частицами. На фотографиях структуры отчетливо видна переходная граница между покрытием и основой. Кроме того, на снимках ярко выражены границы между отдельными компонентами смесей. Светлые частицы являются составляющими никелевого и кобальтового порошков, серые частицы – оксидная керамика. В целом наблюдается взаимное обволакивание частиц порошков и низкая пористость. Причем никелькерамической смеси присуще равномерное распределение порошков, а в кобальтокерамической композиции эта закономерность не просматривается, хотя характер поверхности этого покрытия подобен характеру никелькерамической смеси.

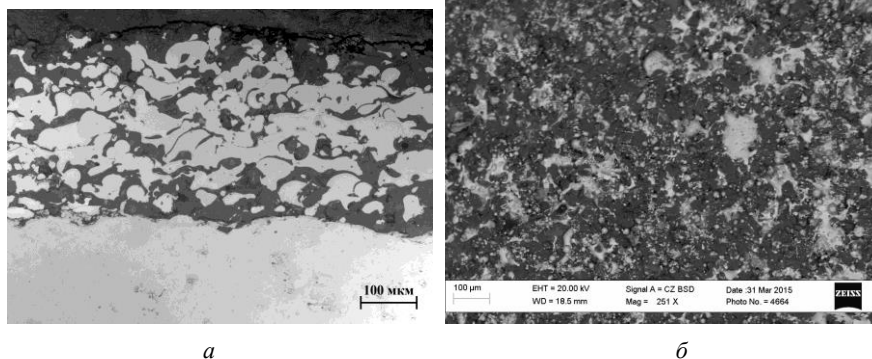


Рис. 1. Плазменные покрытия из никелькерамической смеси:

a – структура; *б* – снимок поверхности

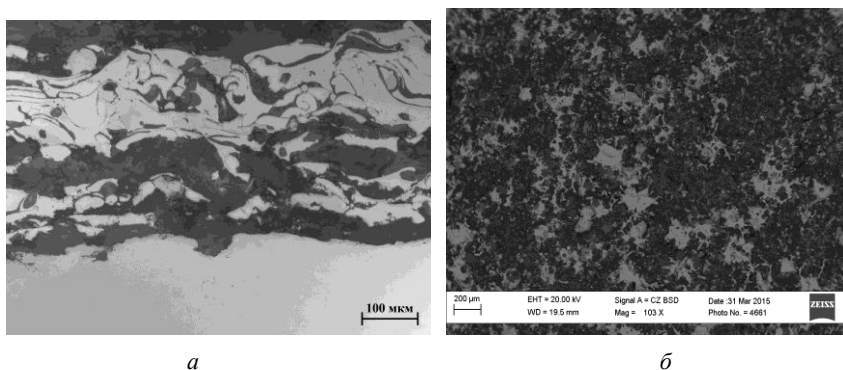


Рис. 2. Плазменные покрытия из кобальтокерамической смеси:

a – структура; *б* – снимок поверхности

Следует также отметить, что в многокомпонентных покрытиях процентное содержание керамики заметно меньше, чем в исходной смеси, что объясняется эффектом сегрегации компонентов при плазменном напылении покрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование многокомпонентных порошковых материалов является весьма перспективным направлением с целью получения покрытий с более высоким уровнем качества слоя, поскольку они наследуют достоинства каждого из исходных порошков. Однако их промышленное использование потребует проведения целого комплекса технологических, металлографических и иных исследований, в том числе с поиском наиболее рационального процентного соотношения механической смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Исследование износостойкости покрытий, нанесенных методом плазменного напыления // Научный вестник НГТУ. – 2008. – № 3 (32). – С. 175–181.
2. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Влияние технологических факторов плазменного напыления на свойства покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009. – № 3 (44). – С. 15–17.
3. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Структура плазменных износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 1 (46). – С. 14–18.
4. Исследование свойств износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 при плазменном напылении / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.Л. Прокопьев, А.С. Ваганов, Н.В. Антохина, А.В. Плохов // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: материалы 12 международной научно-практической конференции, 13–16 апреля 2010 г.: в 2 ч. – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2010. – Ч. 1. – С. 201–207.
5. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Методика нанесения плазменных износостойких покрытий // Научный вестник НГТУ. – 2014. – № 2 (55). – С. 156–165.
6. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
7. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.
8. Сравнительные испытания износостойких плазменных покрытий сформированных на базе механических смесей из различных порошковых матери-

алов / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов // Инновации в машиностроении – основа технического развития России: материалы VI международной научно-технической конференции, 23–26 сентября 2014 г. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 211–215.

9. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В. Технологическое обеспечение качества плазменных покрытий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 1 (54). – С. 10–13.

10. Исследование процессов предварительной механической обработки под напыление газотермических покрытий / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, П.В. Трегубчак, Н.В. Вахрушев // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – № 1. – С. 90–95.

11. Структура износостойких плазменных покрытий из никель-керамической смеси / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.В. Плотникова, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов, И.В. Бандюров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 405–409.

Чёсов Юрий Степанович, доцент кафедры проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – плазменное напыление износостойких покрытий. Имеет более 124 публикаций. E-mail: chesov@ngs.ru

Зверев Егор Александрович, доцент кафедры проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – плазменное напыление износостойких покрытий. Имеет 54 публикации. E-mail: egor_z@ngs.ru

Вахрушев Никита Викторович, аспирант кафедры проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – плазменное напыление износостойких покрытий. Имеет 12 публикаций. E-mail: vah_nikit@mail.ru

Investigation of the structure of wear-resistant plasma coatings of mechanical mixtures*

Yu.S. Chesov¹, E.A. Zverev², N.V. Vakhrushev³

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, associate professor. E-mail: chesov@ngs.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, associate professor. E-mail: egor_z@ngs.ru

³ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, postgraduate student. E-mail: vah_nikit@mail.ru

Improvement of technological machines and equipment is accompanied by a tightening of the conditions of their operation. The machine parts work under severe conditions and often break down due to wear of the working surfaces. Thus, currently there is an urgent need to improve the physical-mechanical properties of the detail surfaces. In practice, this is achieved by various methods of surface hardening, including the plasma deposition of wear-resistant coatings. The formation of wear-resistant coatings of multi-component powder materials is a very promising method for improving the quality of plasma coatings. The important advantage of the use of this method is the ability to control the structure in a wide range by using the powder composites with different chemical composition. Obviously, the nature of the plasma coating structure predetermines the all complex of its physical, mechanical and operational properties. Therefore, the aim of this research is the structure investigation of one of the variants of wear-resistant plasma coatings of mechanical two-component powder mixtures based on the oxide ceramic with different contents of nickel and cobalt powders. One of the most promising ways for improving the quality of wear-resistant plasma coatings through the application of multi-component mechanical mixtures of different powder materials has been considered in this work. The typical plasma coating structures of mechanical nickel- and cobalt-ceramic mixtures and the raster scans of sprayed coating surfaces are shown. Research results shown, that the mutual enveloping of the powder mixture particles and low porosity are observed in the coatings. However, the percentage content of the ceramic in the coatings noticeably less than in the initial mixture due to the effect of component segregation during plasma spraying of coating.

Keywords: wear-resistance, plasma spraying, mechanical mixtures, coating, structure, oxide ceramic, nickel powder, cobalt powder

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-2-96-105

REFERENCES

1. Chesov Yu.S., Zverev E.A. Issledovanie iznosostoikosti pokrytii, nanesennykh metodom plazmennogo napyleniya [Research of wear-resistance of the coatings received by the method of plasma spraying]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo*

* Received 3 February 2015.

The work was performed with financial support of the project which is carried out under a grant of the RFFI in 2015 and in planning period in 2013-2015. (Project number 13-08-01102 A "Design and research development of technological installation for plasma machining of machine parts").

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university, 2008, no. 3 (32), pp. 175–181.

2. Chesov Yu.S., Zverev E.A. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov plazmennogo napyleniya na svoystva pokrytii iz poroshkovogo materiala marki PG-S27 [Influence of technology factors of plasma spraying on properties of powder coatings of mark PG-S27]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2009, no. 3 (44), pp. 15–17.

3. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Plokhov A.V. Struktura plazmennyykh iznosostoikikh pokrytii iz poroshkovogo materiala marki PG-S27 [Structure of plasma wear-resistant coatings of powdered PG-S27 type material]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2010, no. 1 (46), pp. 14–18.

4. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Prokop'ev N.L., Vaganov A.S., Antokhina N.V., Plokhov A.V. [Research of properties of plasma-sprayed wear-resistant coatings of the PG-S27 powder]. *Resursosberegayushchie tekhnologii remonta, vostanovleniya i uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki ot nano- do makrourovnya. Materialy 12 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 13–16 aprelya 2010 g. V 2 ch. [Resource-Saving Technologies of Repair, Restoration and Strengthening of Machine Parts, Mechanisms, Equipment, Tools and Production Tools from the Nano to Macro Level. Proceedings of 12th International Scientific and Practical Conference], St. Petersburg, 13–16 April 2010, pt. 1, pp. 201–207.

5. Chesov Yu.S., Zverev E.A. Metodika nanoseniya plazmennyykh iznosostoikikh pokrytii [Technique of wear-resistant plasma coating spraying]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 2 (55), pp. 156–165.

6. Puzryakov A.F. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii plazmennogo napyleniya* [Theoretical foundations of plasma spray technology]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 357 p.

7. Borisov Yu.S., Kharlamov Yu.A., Sidorenko S.L., Ardatovskaya E.N. *Gazotermicheskie pokrytiya iz poroshkovykh materialov: spravochnik* [Gas-Thermal coatings of powder materials: guide]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 544 p.

8. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Vaganov A.S. [Comparative tests of wear-resistant plasma coatings formed on the basis of mechanical mixtures of different powder materials]. *Innovatsii v mashinostroenii – osnova tekhnicheskogo razvitiya Rossii. Materialy VI mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 23–26 sentyabrya 2014 g. [Innovations in mechanical engineering – a basis of technical development of Russia. Proceedings of VI International Scientific and Technical Conference], Barnaul, Russia, 23–26 September 2014, pp. 211–215.

9. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Tregubchak P.V. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva plazmennyykh pokrytii [Technological assurance of quality of plasma coatings]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2012, no. 1 (54), pp. 10–13.

10. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Tregubchak P.V., Vakhrushev N.V. Issledovanie protsessov predvaritel'noi mekhanicheskoi obrabotki pod napylenie gazotermicheskikh pokrytii [Research of mechanical preprocessing necessary for spraying of gas-thermal coatings]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii – Actual Problems in Machine Building*, 2014, no. 1, pp. 90–95.

11. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Plotnikova N.V., Vakhrushev N.V., Vaganov A.S., Bandyurov I.V. Struktura iznosostoikikh plazmennyykh pokrytii iz nikel'keramicheskoi smesi [The structure of wear-resistant plasma coatings based on the nickel-ceramic mixture]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii – Actual Problems in Machine Building*, 2015, no. 2, pp. 405–409.