

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ Al_2O_3

¹Т.Ю. Ратушная, ¹В.В. Савинкин, ¹А.А. Иванищев,
²А.В. Белый, ²Е.В. Ковальчук

¹Северо-Казахстанский государственный университет им. М.Козыбаева,
г. Петропавловск, Республика Казахстан

²Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

Исследованы физико-механические свойства и структура покрытия, полученного плазменным напылением с добавлением порошка диоксида алюминия. Изучен фазовый состав покрытий, формируемых при различных параметрах технологического процесса плазменного напыления и использованных композиционных материалах. Определены пути повышения эффективности технологического процесса плазменного восстановления.

Ключевые слова: плазменное напыление, металлография, физико-механические свойства, микротвердость

RESEARCH OF THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF COATINGS, GOT BY PLASMA SPRAYING WITH THE APPLICATION OF Al_2O_3

¹T.Y. Ratushnaya, ¹V.V. Savinkin, ¹A.A. Ivanichshev,
²A.V. Byeli, ²E.V. Kovalchuk

¹North Kazakhstan State University named after M.Kozybaev,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

²Physicotechnical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

The physical and mechanical properties and structure of the coating obtained by plasma spraying with the addition of aluminum dioxide powder, Al_2O_3 are researched. The phase composition of coatings formed according to various parameters of technological process of plasma spraying and used composite materials is researched. The parameters for increasing the efficiency of the plasma reduction process are determined.

Keywords: plasma spraying, metallography, physical and mechanical properties, microhardness

Актуальность исследований

Перспективным направлением совершенствования процессов газотермического напыления является разработка и применение композиционных покрытий с ультрадисперсными составляющими, способствующими повышению их физико-механических и эксплуатационных свойств (износостойкости, коррозионной и эрозионной стойкости, жаропрочности) [1,2]. Наиболее эффективным и технологичным способом получения таких покрытий является плазменное напыление композиционных порошков. При этом используются конгломерированные порошки из частиц различных фракций, в том числе ультрадисперсных, и плакированные порошки с нанокристаллическими пленками [3]. Исходными компонентами композиционных порошков в большинстве случаев являются композиции на основе смесей оксидов Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , SiO_2 с добавками легирующих элементов Mo, Nb, Ti, Al, Y [4].

Покрытия, напыленные с добавлением Al_2O_3 , применяются, как правило, для защиты деталей, работающих в тяжелых условиях, обеспечивая износостойкость во многих агрессивных и окислительных средах. Кроме того, порошки на основе оксида алюминия имеют невысокую стоимость, что определяет экономическую эффективность их применения. Однако, несмотря на достижения ученых в области нанесения высокопрочных упрочняющих и защитных покрытий, по-прежнему актуальными являются исследования зависимости формируемых структурных составляющих от параметров технологического процесса напыления и применяемых композиционных материалов.

Целью данной работы является исследование физико-механических свойств и структуры покрытия, полученного плазменным напылением с добавлением порошка диоксида алюминия Al_2O_3 .

Известно, что при напылении оксидных покрытий важным фактором, влияющим на качество полученного слоя и прочность его сцепления с основой, является диссоциация оксидов при нагреве [5,6]. Высокая пористость, низкие адгезионные свойства, отслаивание являются наиболее распространенными дефектами покрытия. Известны критерии (табл. 1), характеризующие качество поверхностей с покрытиями, полученными с использованием источников плазменной энергии [7,8].

Табл. 1

Основные показатели качества плазменных покрытий

Показатель	Значение показателя
Толщина покрытия, мм	$\leq 0,5-4,0$
Пористость покрытия, %	≤ 3
Прочность сцепления покрытия, МПа	≥ 80
Твердость покрытия, HRC	$\geq 75-80$
Растворение покрытия в основном металле, %	отсутствует
Относительная износостойкость, %	0,9

На достижение указанных характеристик определяющее влияние оказывают параметры технологического процесса восстановления и фракционный состав порошкового материала.

Выбор основных технологических режимов напыления

Исследования проведены на отработанных валах из стали 45 ТУ 655 РК-7 517 452-20-2000 с напылением подложки ПН70Ю30. Для восстановления служебных свойств деталей в СКГУ им. М. Козыбаева и ТОО «РЕМПЛАЗМА» (г. Петропавловск, Республика Казахстан) использована технология плазменного напыления с использованием многокомпонентной порошковой композиции [9].

Для реализации технологии использовалась смесь порошков на основе железа марки ПЖ40 и Al_2O_3 марки Г-00. Дисперсность порошков 40 мкм, соотношение составляющих 40 % - металл, 60 % - керамика. Технологический процесс включал подготовку поверхности детали механической обработкой перед наплавкой для устранения дефектных областей. Деталь перед наплавкой подверглась местному подогреву до температуры 200–300 °С. Сверхзвуковая газопорошковая наплавка производилась пропано-кислородной горелкой модели Н-3428, изготовленной по патенту РК №1276, на следующих технологических режимах:

- давление кислорода на входе в горелку, 0,9 МПа;
- давление пропана на входе в горелку, 0,12 МПа;
- расход кислорода, 750 л/ч;
- расход пропана, 700 л/ч;
- скорость частиц порошка в пламени горелки, 600–700 м/с;
- расход порошкового наплавочного сплава, 50г/мин;
- толщина наплавленного слоя, 2–3 мм.

Исследование микроструктуры и физико-механических свойств восстановленного образца

В Физико-техническом институте НАН Беларуси проведены металлографические и дюриметрические исследования 3-х образцов, вырезанных из отработанной детали, подвергнутой восстановлению путем плазменного напыления по описанному способу.

Подготовка образцов для исследований осуществлена на комплексе пробоподготовки марки SECOTOM-50. Микроструктурные исследования проведены на световом микроскопе ПЛАНАР МИ-1, в качестве травителя использован 20 % раствор серной кислоты. Микроструктура поверхностного слоя образцов до и после травления представлена на рис. 1. Измерение микротвердости проводилось в соответствии ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

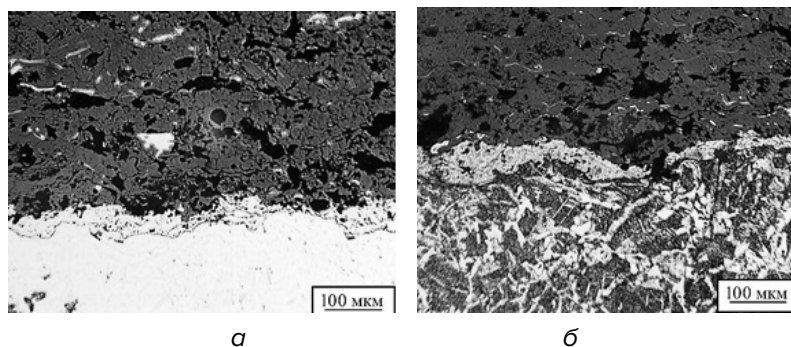


Рис. 1. Микроструктура образцов после плазменного напыления:
а – до травления, б – после травления

Образец 1. Макроанализ показал наличие пор на поверхности исследуемого образца и значительного количества инородных включений. Микроструктура напы-

ленного металла состоит из среднеигльчатого мартенсита и легированного феррита, выделившегося по границам первичных аустенитных зерен в процессе напыления (рис. 2). Толщина напыленного слоя 2–3 мм. На расстоянии 1,0–1,5 мм от границы сплавления структура основного металла состоит из смеси перлита и феррита. Микротвердость слоя уменьшается от границы сплавления вглубь образца с 1500 до 250 HV.

Образец 2. В результате визуального осмотра установлено наличие пор и инородных включений. Толщина напыленного слоя 1,8–2,0 мм. Микроструктура напыленного металла состоит из крупноигльчатого мартенсита и легированного феррита, околшовная зона основного металла - ледебурит). Цементитные включения, более крупные, чем в образце 1, встречаются на расстоянии 0,5–0,7 мм. Грубая игльчатая структура напыленного металла и величина зерна на уровне 4–5 балла ГОСТ 5639-82 свидетельствуют о некотором перегреве металла в процессе напыления.

Проведенные исследования образцов 1 и 2 свидетельствует о перегреве металла в процессе напыления и необходимости корректировки технологических режимов в направлении уменьшения погонной энергии или изменения состав порошка подложки.

Образец 3. В результате визуального осмотра наблюдаются пористость напыленного металла. Толщина напыленного слоя 1,8–2,5 мм, микроструктура «мелкозернистый перлит + феррит». Микротвердость напыленного металла составляет 1300–1460 HV, ближе к границе сплавления микротвердость несколько повышается и достигает 1470–1550 HV. Отличительной особенностью напыленного металла данного образца является наличие непроплавленных участков, что говорит о недостаточной энергии, сообщенной металлу при напылении.

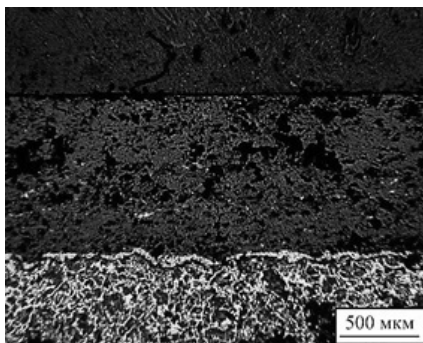
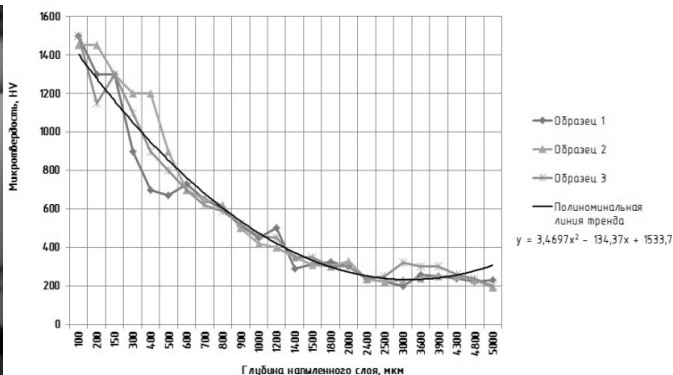


Рис. 2. Микроструктура плазменного напыления с Al_2O_3



а



б

Рис. 3. Результаты измерения микротвердости образцов
а – процесс измерения, б – результаты измерений

ДюрOMETрическими исследованиями установлено, что в околошовной зоне термического влияния образца 2 микротвердость отдельных структурных составляющих напыленного металла находится в пределах 1200–1450 HV (рис. 3). Микротвердость основного металла плавно уменьшается от границы сплавления вглубь образца от 1450 HV до 300 HV (перлит). Характер изменения микротвердости вглубь от околошовной зоны к основе свидетельствует о локальном термодинамическом воздействии и о возможности управлять процессом минимизации концентрации внутренних напряжений в структуре материала. Установлена эмпирическая зависимость микротвердости (y), HV от глубины проплавления (x): $y = 3,4697x^2 - 134,37x + 1533,7$.

Заклучение

Проведено исследование процесса восстановления изношенной поверхности образцов из стали 45 методом плазменного нанесения порошковой смеси, содержащей оксид алюминия. Выполнен металлографический анализ формирующихся слоев, по результатам которого определен оптимальный фазовый состав покрытия. Полученные результаты позволяют обоснованно выбрать технологические и температурные режимы для получения покрытий с заданными физико-механическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, И.В. Формирование плазменных покрытий при использовании плакированных и ультрадисперсных керамических порошков / И.В. Смирнов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2011, Серія Машинобудування №61. – С. 117–122
2. Андриевский, Р. А. Концепция и современные проблемы нанотехнологий / Р. А. Андриевский // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева). – 2002 – т. XLVI – №5.
3. Состояние и перспективы создания композиционных порошков и покрытий с наноразмерными ингредиентами // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин / Ф. И. Пантелеенко [и др.]. – Минск.УП «Технопринт». – 2003. – С. 14–15.
4. Зенкин, Н. А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий / Н. А. Зенкин, В. И. Копылов. – Киев: Голов. спеціаліз. ред. літ. мовами нац. меншин України, 2002. – 272 с.
5. Роль границ раздела при формировании сплэтов и структуры покрытий / О. П. Солоненко [и др.] // Физическая мезомеханика 2 1–2 1999.– С.123–140
6. Study of the Porosity in Plasma-Sprayed Alumina through an Innovative Three-Dimensional Simulation of the Coating Buildup / S. Beauvais [et al.] // Metallurgical and materials transactions.– November 2008.– Volume 39A – P. 2711–2724
7. Влияние керамических нанодисперсий на форму сплэтов при плазменном напылении подслоев теплозащитных покрытий / О. П. Солоненко [и др.] // Материалы Второй Всероссийской конференции по наноматериалам «НАНО 2007». – Новосибирск. –2007. – 235 с.
8. Восстановление деталей энергетического оборудования с использованием плазменного напыления / В.В. Блохин [и др.] // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Часть 1. Материалы 9-й международной практической конференции. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 37 – 41.
9. Плазменное покрытие металлов. Патент №2158, Республика Казахстан

REFERENCES

1. Smirnov I.V. Formirovanie plazmennyh pokrytij pri ispol'zovanii plakirovannyh i ul'tradispersnyh keramicheskikh poroshkov [Formation of plasma coatings using clad and ultrafine ceramic powders] / News of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". 2011, Seriya Mashinobuduvannya №61. - pp. 117–122 (in Russian)
2. Andrievsky R.A. Konceptsiya i sovremennye problemy nanotekhnologij [The Concept and Modern Problems of Nanotechnology] Ross. chem. j. (Zh.M., D. of Mendeleyev Chemical Society of the Russian Federation). - 2002 Vol. XLVI, №5. (in Russian)
3. Panteleenko F.I., Lovshenko F.G., Rogachev A.V., etc. Sostoyanie i perspektivy sozdaniya kompozitsionnyh poroshkov i pokrytij s nanorazmernymi ingredientami [State and perspectives of creating composite powders and coatings with nanoscale ingredients] // Materials, technologies and equipment for hardening and restoring machine parts. Minsk.UP "Technoprint". 2003. pp. 14–15. (in Russian)

4. Zenkin N.A., Kopylov V.I. Povyshenie ehkspluatatsionnykh harakteristik kompozitsionnykh materialov putem optimizatsii uprochnyayushchikh tekhnologiy [Increase of performance characteristics of composite materials by optimization of reinforcing technologies]. Kiev, Menshin of Ukraine.2002, p.272 (in Russian)
5. Solonenko O.P., Smirnov A.V., Klimenov V.A., Butov V.G., Ivanov Yu. F. Rol' granic razdela pri formirovani splehtov i struktury pokrytij [The role of interfaces in the formation of spllices and the structure of coatings] // Physical mesomechanics 2 1–2 1999. - pp.123–140 (in Russian)
6. Beauvais S., Guipont V., Jeandin M., Jeulin D., Robisson A., Saenger R. Study of the Porosity in Plasma-Sprayed Alumina through an Innovative Three-Dimensional Simulation of the Coating Buildup // Metallurgical and materials transactions. November 2008. Volume 39A, pp. 2711–2724
7. Solonenko O.P., Poluboyarov V.A., Lapin A.E. et al. Vliyanie keramicheskikh nanodispersij na formu splehtov pri plazmennom napylenii podsloev teplozashchitnykh pokrytij [Influence of ceramic nanodispersions on the shape of splits during plasma deposition of sublayers of heat-shielding coatings]. Proceedings of the Second All-Russian Conference on Nanomaterials "NANO 2007". - Novosibirsk. -2007. –p. 23c. (in Russian)
8. Blokhin V.V., Kiselev L.A., Zhakupov G.A., Savinkin V.V. Vosstanovlenie detalej ehnergeticheskogo oborudovaniya s ispol'zovaniem plazmennogo napyleniya [Restoration of the details of power equipment using plasma spraying] // Technologies of repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment. Part 1. Materials of the 9th international practical conference. St. Petersburg 2007. pp. 37 - 41. (in Russian)
9. Plasma coating of metals. Patent N°21589, Republic Of Kazakhstan.

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 04.05.18