



УДК 621.793.71

Поступила 10.05.2017

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗОНЫ СПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННО-Порошковой НАПЛАВКЕ ПОКРЫТИЯ ТИПА EuTroLoy 16006.04

FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE ZONE OF ALLOYING UNDER PLASMA-POWDER SURFACING OF COATS TYPE EuTroLoy 16006.04

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, В. В. ЗАХАРЕНКО, М. В. СПЕЦИАН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: panteleyenkofi@tut.by

F. I. PANTELEENKO, V. V. ZAKHARENKO, M. V. SPETSIAN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: panteleyenkofi@tut.by

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по нанесению покрытий порошком EuTroLoy 16006.04 с помощью плазменно-порошковой наплавки. Анализ макроструктуры позволил установить частичное отсутствие пор, несплавлений и трещин между подложкой и наплавленным слоем. Установлены различия в фазовом составе и в механических свойствах покрытий. В местах нанесения плазменно-порошковой наплавки выявлено повышение твердости.

The paper presents the results of experimental studies on the surface coating of powder EuTroLoy 16006.04 with the help of plasma-powder overlaying. Analysis of the macro-structure made it possible to establish a partial absence of pores, fusions and cracks between the sub-spoon and the deposited layer. Differences in the phase composition and in the mechanical properties of the coatings were established. In places of application of plasma-powder overlaying an increase in hardness has been revealed.

Ключевые слова. Изношенная поверхность, присадочные порошки, плазменно-порошковая наплавка, микроструктура, микротвердость.

Keywords. Worn surface, filler powders, plasma-powder surface adding, microstructure, microhardness.

На сегодняшний день в ведущих отраслях промышленности широкое распространение получило использование процесса наплавки различных сплавов на ответственные участки деталей машин. Процесс наплавки используется для увеличения износостойкости, жаропрочности и эксплуатационной стойкости поверхностей деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок, высоких температур и давлений, в абразивных и агрессивных средах, а также в целях замены дефицитных и дорогостоящих металлов. Возрастающие требования к эксплуатационным характеристикам наплавленного металла, а также к качеству наплавленных деталей машин и технологиям обусловили переход к новым материалам и способам наплавки, в частности, плазменно-порошковой [1–3]. Одним из малоизученных направлений в технологии наплавки является нанесение покрытий из кобальтовых сплавов и изучение их свойств. Многие свойства этих сплавов являются результатом аллотропного превращения кобальта в твердом растворе, усиливающего действие хрома и вольфрама при формировании карбидов в кобальтовой кристаллической решетке.

В настоящей статье авторами исследованы особенности структурообразования и свойства износостойкого покрытия, образуемого при помощи порошка *EuTroLoy 16006.04 (Stellite 6)*. Сплав на основе данного порошка обладает следующими отличительными свойствами: высокой устойчивостью к абразивному воздействию под давлением и при ударных нагрузках, устойчивостью к тепловому и коррозионному воздействию, низким коэффициентом скольжения по металлу, нечувствительностью к износу, яркостью и блеском. Химический состав и процентное содержание компонентов *EuTroLoy 16006.04*, а также их температуры кипения и плавления приведены в таблице. Каждый из легирующих элементов,



Рис. 1. Оборудование плазменно-порошковой наплавки компании Castolin Eutectic: 1 – блок управления, источник тока EuTronic GAP 2001 DC Touch Screen; 2 – охлаждающие устройства Cooling GAP; 3 – блок управления перемещения; 4 – деталь для наплавки; 5 – плазматрон GAP IMPA 100; 6 – горелка GAP E42; 7 – емкость для порошка; 8 – баллоны с газом

входящих в состав данного присадочного порошка, способствует обеспечению следующих свойств получаемого сплава: Cr – стабилизация поверхности и карбидообразование, W – твердорастворное упрочнение, Ni – стабилизация аустенита, C – образование карбидов и т. д. [4].

Характеристики порошка EuTroLoy 16006.04 (Stellite 6)

Компоненты	Co	Cr	W	Ni	Mo	C	Si	Fe
Содержание компонентов, %	Основа	28,7	4,7	1,9	2,2	1,2	1,23	1,9
$T_{пл}, K$	1765	2150	3693	1728	2623	3600	1420	1539
$T_{кпп}, K$	3230	2946	5933	3073	4639	4200	2600	2900

Процесс наплавки осуществляли на стальной подложке (Сталь 45) толщиной 50 мм с помощью оборудования и дополнительных аксессуаров для процесса плазменно-порошковой наплавки (рис. 1) компании Castolin Eutectic (Польша), которая является мировым лидером по вопросам технического обслуживания, ремонта и защиты от износа деталей машин. Перед процессом наплавки порошок поверхность образцов была тщательно подготовлена с помощью шлиф-машинки. Процесс наплавки проводили при следующем режиме: ток – 120 А, скорость перемещения детали – 25 мм/с, расход порошка – 330 г/мин.

На прочность связи наплавленного порошка с подложкой влияют степень проплавления и характер диффузионных процессов, протекающих в приграничных участках наплавки, а также прочность сцепления покрытия с подложкой и отсутствие дефектов. Для таких исследований на отрезном станке из наплавленных образцов путем их разрезки по поперечному сечению были изготовлены миниатюрные образцы, которые впоследствии подвергали шлифовально-полировальной операции с помощью шлиф-листов и последующему травлению (реактив Гейна) [5].

Макро- и микроструктуру шлифов наплавленного порошком *EuTroLoy 16006.04* покрытия исследовали, используя современный металлографический комплекс на базе микроскопа МИ-1Т, с помощью которого можно исследовать объекты в отраженном темном и светлом полях в диапазоне увеличений 50–1500 (без иммерсионной среды). Помимо этого, оценивали толщину покрытия, степень проникновения защитного слоя в основной металл и дефектность. В результате были получены следующие данные (рис. 2, 3): покрытие обладает высокой травимостью; его толщина составляет в среднем 800 мкм; степень проникновения защитного слоя в подложку в местах начала и окончания наплаваемой дорожки равна 747 мкм, а на центральных участках – проплавление минимальное и равно 64 мкм; дефектность образца – незначительная, в основном в виде пор и несплавлений.

Микроструктура покрытия разбита на три характерные зоны (рис. 4): металл покрытия (1), переходный участок (2) и зона контакта с основным металлом (3). Начиная от зоны контакта с основным металлом, микроструктура покрытия формируется вытянутыми и столбчатыми дендритами. Затем она приоб-



Рис. 2. Макроструктура шлифа, x100

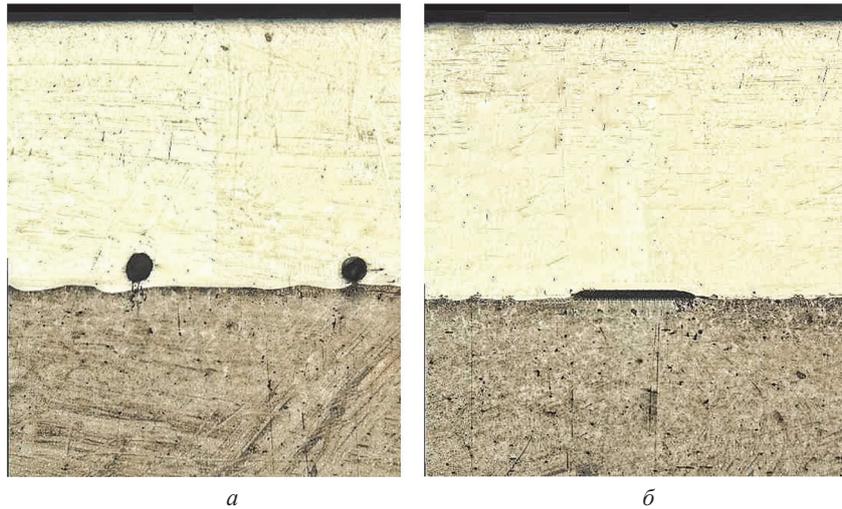


Рис. 3. Дефекты наплавленного покрытия порошком *EuTroLoy 16006.04*: а – микропора; б – микронесплавление. х200

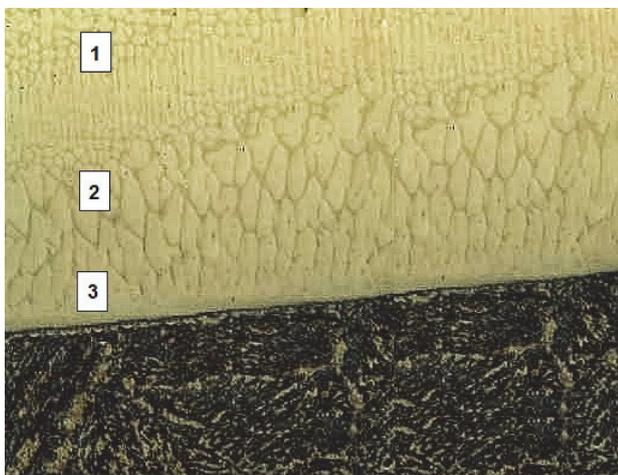


Рис. 4. Микроструктура шлифа, х1000

ретаает зерненное строение вплоть до наружной поверхности покрытия. Данное структурное изменение объясняется разницей температур при затвердевании.

Анализируя микроструктуру шлифа с покрытием *EuTroLoy 16006.04*, можно сделать вывод о его двухфазном строении, характерной особенностью которого, согласно [6, 7], является наличие светлых и темных участков. Темный участок состоит из интердендритов, образованных из эвтектики Co и Cr с карбидами и имеет фазу с высоким содержанием Cr. Светлый участок состоит из дендритов раствора на основе Co и является более пластичным и твердым составом. Такие элементы, как Cr и W, вступая в реакцию с углеродом (отвечает за износостойкость), образуют необходимые карбиды, которые отвечают за твердость, абразивную и коррозионную стойкость при высоких температурах.

На размер и форму карбидов особое влияние оказывает скорость их затвердевания, что впоследствии сказывается на твердости покрытия. Ввиду гетерогенной (неоднородной) природы некоторых покрытий величина твердости может зависеть от того, в какой части покрытия она была измерена. С целью определения показателя твердости рассматриваемых образцов были проведены испытания на микротвердость при помощи современного автоматизированного комплекса ПМТ-3М. Нагрузка на индентор составляла 200 г, время выдержки – 5 с.

В результате математико-статистического анализа [8] полученных экспериментальных значений $n = 60$ было установлено следующее. Структура покрытия в каждом из слоев достаточно однородна, о чем свидетельствует коэффициент вариации, равный $V \approx 7-8 < 10\%$. Для определения уровня взаимосвязи между расстоянием от поверхности образца (x) и твердостью (y) был вычислен коэффициент корреляции, величина которого составила $r_{xy} = 0,9 \rightarrow 1,0$, что говорит о высокой зависимости рассматриваемых величин. Наилучшим аппроксимирующим уравнением зависимости микротвердости от расстояния непосредственно в зоне наплавки является полиномиальная линия (коэффициент достоверности аппроксимации $R = 0,8993$). Таким образом, учитывая однородность рассматриваемой выборки, а также высокую корреляционную связь между рассматриваемыми величинами, при наличии установленного уравнения аппроксимации можно определить значение микротвердости в любой точке исследуемого образца [8]. Полученная микротвердость по шкале Виккерса показана на рис. 5.

Из рисунка видно, что с увеличением расстояния от ненаплавленной поверхности стального образца к зоне слияния с наплавленным покрытием твердость стали повышается от 230 до 261 НВ. Достигая зоны слияния подложки с покрытием (зона термического влияния), наблюдается резкий скачок показате-

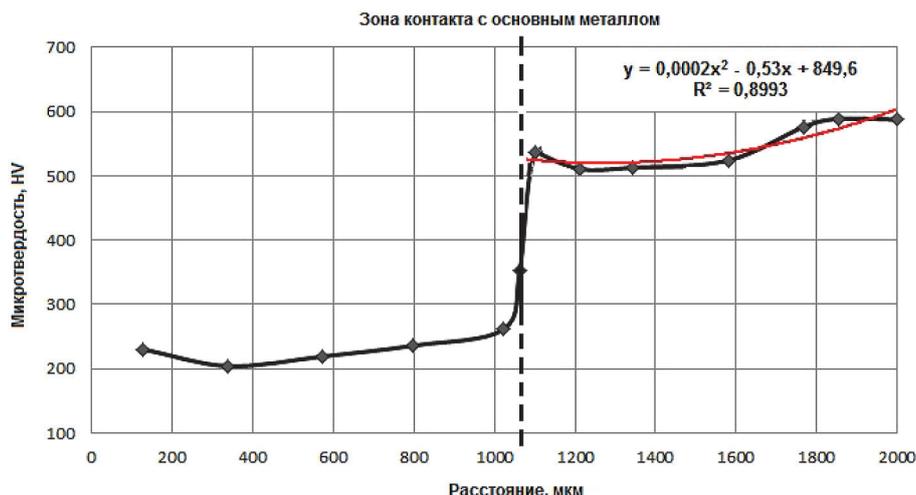


Рис. 5. Характеристика микротвердости образцов

ля твердости, что объясняется минимальной зоной термического влияния и отсутствием примеси компонентов Стали 45 и наплавляемого покрытия. Твердость покрытия вблизи зоны термического влияния составляет 536 HV, а максимальная твердость у его наружной поверхности стабильна и составляет 603–604 HV. Таким образом, твердость исходной Стали 45 благодаря применению плазменно-порошковой наплавки возросла в 2,5 раза, в связи с чем можно предполагать, что износостойкие характеристики в целом увеличатся.

Выводы

По результатам комплексного исследования покрытия (макро- и микроструктура, твердость, величина проплавления, дефектность, толщина покрытия) на основе порошка *EuTroLoy 16006.04* установлено, что плазменно-порошковая наплавка обеспечивает высокое качество и однородность наплавленного металла. Применение данной наплавки имеет однородное покрытие и характеризуется неразбавленной сталью. При этом твердость наплавляемого покрытия в 2,5 раза превышает твердость основного металла.

Литература

1. Пантелеенко Ф. И. Восстановление деталей машин: Справ. / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов. М.: Машиностроение, 2003.
2. Капралов Е. В. и др. Структура и свойства композиционных износостойких наплавов на сталь. Новокузнецк: СибГИУ, 2014.
3. Степанова Е. И. Износо- и коррозионностойкие сплавы для нефтегазовой промышленности / Е. И. Степанова // Арматуростроение. 2007. № 1. С. 40–44.
4. Бабичев А. П. и др. Физические величины: Справ. М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Худокормова Р. Н. Материаловедение / Р. Н. Худокормова, Ф. И. Пантелеенко, Д. А. Худокормов. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014.
6. Deng H. Influence of coating thickness and temperature on mechanical properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating / H. Deng, H. Shi, S. Tsuruoka // Surface & coatings technol, 2010. No. 325. P. 3927–3934.
7. Gholipour A. Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17–4PH stainless steel / A. Gholipour, M. Shamina, F. Ashrafizadeh // J. Alloys Compd. 2011. No. 509. P. 4905–4909.
8. Браунли К. А. Статистические исследования в производстве / Пер. с англ. В. А. Говоркова. М.: Печат. двор в Лгр., 1949.

References

1. Panteleenko F. I., Lyalyakin V. P., Ivanov V. P., Konstantinov V. M. *Vosstanovlenie detalej mashin* [Restoration of machine parts: a Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003.
2. Kapralov E. V. et al. *Struktura i svoystva kompozitsionnykh iznosostojkikh naplavoov na stal'* [Structure and properties of composite wear-resistant surfacing on steel]. Novokuzneck, SibGIU Publ., 2014.
3. Stepanova E. I. *Iznoso- i korrozionnostojkie splavy dlya neftegazovoj promyshlennosti* [Wear and corrosion resistant alloys for oil and gas industry]. *Armaturostroenie = The valve Industry magazine*, 2007, no. 1, pp. 40–44.
4. Babichev A. P. et al. *Fizicheskie velichin* [Physical magnitudes]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991.
5. Hudokormova R. N., Panteleenko F. I., Hudokormov D. A. *Materialovedenie* [Materials science]. Minsk, Novoe znanie Publ.; Moscow, INFRA-M Publ., 2014.
6. Deng H., Shi H., Tsuruoka S. Influence of coating thickness and temperature on mechanical properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating. *Surface & coatings technol*, 2010. No. 325, pp. 3927–3934.
7. Gholipour A. Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17–4PH stainless steel / Gholipour A., Shamina, M., Ashrafizadeh F. *J. Alloys Compd.* 2011, no. 509, pp. 4905–4909.
8. Braunli K. A. *Statisticheskie issledovaniya v proizvodstve* [Statistical studies in the production]. Moscow, Pechat. dvor v Lgr. Publ., 1949.