

УДК 621.793.71

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

©Дерябкина Е. С.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464g@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проанализированы особенности формирования восстановительных покрытий на основе никеля, полученных газопламенным напылением совмещенным с механической обработкой щеточным инструментом на стальную основу. Показано, что механическая обработка создает на поверхности основы развернутый субмикрорельеф, обеспечивающий формирование надежной адгезионной связи между покрытием и основой. Применение щеточной обработки в процессе формирования покрытия обеспечит повышение их плотности, снижение пористости как в самом покрытии так и на границе покрытие – основа. Разрушение окисных пленок на отдельных частицах, в процессе формирования покрытия металлической щеткой обеспечивает сплавление металлических частиц и их соединение под действием сил Ван-дер-Ваальса, обеспечение повышения когезионной прочности покрытия.

Наблюдается увеличение твердости напыленного поверхностного слоя, снижение микротвердости подповерхностных слоев и увеличение твердости в более глубоких слоях покрытия. Появившиеся в покрытии мелкие частицы окислов играют роль дополнительных центров кристаллизации, обеспечивается мелкозернистая структура покрытия.

Механическая обработка щеточным инструментом предлагается как способ подготовки поверхности перед газопламенным нанесением покрытий и обработки слоев покрытия в процессе его формирования.

Ключевые слова: газопламенное напыление; механическая обработка; шероховатость; пористость; микротвердость; прочность сцепления.

Дерябкина Є. С. «Підвищення якості зміцнювальних покриттів».

Проанализовані особливості формування відновлювальних покриттів на основі нікелю, отриманих газополум'яним напилюванням поєднаним з механічною обробкою щітковим інструментом, на сталеву основу. Показано, що механічна обробка створює на поверхні основи розгорнутий субмікрорельєф, що забезпечує формування надійного адгезійного зв'язку між покриттям і основою. Застосування щіткової обробки в процесі формування покриття забезпечує підвищення їх щільності, зниження пористості як в самому покритті так і на межі покриття – основа. Руйнування окисних плівок на окремих частках, в процесі формування покриття металевою щіткою забезпечує сплав металевих часток і їх з'єднання під дією сил Ван-дер-Ваальса, забезпечення підвищення когезійної міцності покриття. Спостерігається збільшення твердості напиленого поверхневого шару, зниження микротвердості підповерхневих шарів і збільшення твердості в глибших шарах покриття. Дрібні частки оксидів, що з'явилися в покритті, грають роль додаткових центрів кристалізації, забезпечується дрібнозерниста структура покриття. Механічна обробка щітковим інструментом пропонується як спосіб підготовки поверхні перед газополум'яним нанесенням покриттів і обробки шарів покриття в процесі його формування.

Ключові слова: газополум'яне напилення; механічна обробка; шорсткість; пористість; микротвердість; міцність зчеплення.

Deryabkina E. “Increase of quality of strengthening coatings”.

The features of forming of the restoration coverages on the basis of nickel, got the flame spraying by a brush instrument combined with tooling on steel basis, are analyzed. It is shown that tooling creates unfolded microrelief on the surface of basis, providing forming of reliable adhesive bond between coverage and basis. Application of a brush treatment in the process of forming of coverage provides the increase of their closeness, decline of porosity as in coverage so on a border coverage is basis. Destruction of oxydic tapes on separate particles, in the process of forming of coverage a metallic brush provides the meltback of metallics and their connection under the action of forces of Van-der-Waals, providing of increase of cohesive durability of coverage. There is an increase in the hardness of the sprayed surface layer, a decrease in the microhardness of the subsurface layers, and an increase in hardness in the deeper layers of the coating. The fine particles of oxides appearing in the coating play the role of additional centers of crystallization, a fine-grained structure of the coating is provided. Mechanical treatment with a brush tool is proposed as a method of preparing the surface before gas flame coating and coating layers treatment during its formation.

Key words: gas-field spraying; mechanical treatment; roughness; porosity; microhardness; strength of steering.

1. Актуальность

Обеспечение долговечности деталей машин и механизмов при ремонте и техническом обслуживании, в первую очередь зависит от совершенствования процесса ремонта за счет внедрения прогрессивных методов восстановления и упрочнения деталей с учетом их конструктивно-технологических особенностей, сокращение его сроков, экономии материалов и снижения трудоемкости. Особенно это актуально для восстановления газопламенным напылением.

2. Постановка проблемы

Газопламенное напыление является одним из перспективных способов восстановления и упрочнения деталей машин [1]. Однако качественные параметры напыленных покрытий: низкая адгезионно-когезионная прочность и высокая пористость ограничивают их широкое применение и не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым к эксплуатационным характеристикам деталей машин, работающих в условиях интенсивных нагрузок [2, 3].

Исследования газопламенного напыления направлены на рациональное активирование процесса нанесения покрытий путем интегрирования его с другими технологиями. Интегрирование нескольких операций в одну комплексную, выполняемую на специальной установке или машине, нередко позволяют устранить недостатки, присущие традиционным технологиям нанесения восстановительных покрытий. Совмещение производственных операций может осуществляться одновременно во времени и пространстве. На основании выше сказанного поставлена задача разработки способа нанесения покрытий, позволяющего при минимальных дополнительных затратах обеспечить повышение прочности сцепления напыленных покрытий и снижение их пористости [4, 5].

3. Целью исследований является изучение влияния механической обработки щеточным инструментом на качество напыленных газопламенных покрытий.

4. Основной материал

Задача упрочнения деталей с помощью интегрирования двух прогрессивных технологических процессов весьма сложна вследствие различия их характера. Поэтому, даже частичное решение этой задачи на основе анализа и исследования основных закономерностей формирования свойств напыленных поверхностей, позволит эффективно управлять качеством упрочненных деталей.

На основании серии предварительно проведенных экспериментов, определены оптимальные значения параметров щеточной обработки (скорость вращения щетки 2100 об/мин – в процессе нанесения покрытия, 150 об/мин – для обработки поверхности под напыление; диаметр 0,8 мм и длина игл 40 мм при плотности расположения игл – 32 шт/см²) [6].

Щеточная обработка, согласно данным исследований, очищает поверхность от загрязнений и создает развернутый микропрофиль с требуемой шероховатостью, разрушает окисную пленку, образующуюся на поверхности основного металла. Появившиеся при этом мелкие частицы окислов играют роль дополнительных центров кристаллизации, в результате чего формирующийся переходной слой имеет мелкозернистое полиэдрическое строение, что обусловлено сверхбыстрой кристаллизацией, которая приводит к образованию большого количества краевых дефектов у зерен – вакансий и дислокаций.

Полученная шероховатость поверхности R_a 10-12 мкм (рис. 1) (при абразивоструйной обработке – 8-9 мкм) обеспечивает увеличение площади контакта основы с напыляемым покрытием и, как следствие, повышение адгезии поверхности основы и покрытия за счет роста механического взаимодействия. Прочность сцепления покрытия с основой увеличилась с 18-20 МПа при традиционном газопламенном напылении до 26,5 – 28 МПа – при интегрированном напылении [7].

В процессе газопламенного напыления покрытие образуется из отдельных расплавленных или близких к этому состоянию частиц, которые с высокой скоростью (40-50 м·с⁻¹) соударяются и наслаиваются на поверхность основы (причем в процессе напыления температура основы повысилась от комнатной – 20 °С до 150 °С). Покрытие представляет собой слоистую структуру образованную деформированными плоскими частицами. При движении напыляемых частиц в высокотемпературной газовой струе их поверхность окисляется. В результате каждая частица покрывается пленкой окислов, которая остается на границах частиц в покрытии и препятствует их сплавлению. При первом соприкосновении частиц напыляемого материала с основой в поверхностном слое возникает резкий градиент температур, обуславливающий большую скорость кристаллизации (C_k) формирующегося покрытия и явление переохлаждения, ведущее к образованию большого количества центров кристаллизации.

При анализе покрытия, нанесенного с применением щеточной обработки, поверхность раздела «покрытие – металлическая основа» характеризуется отсутствием скопления пор (рис. 2).

Образцы, напыленные по интегрированной технологии, имеют мелкозернистое строение. Структура таких покрытий представлена протяженными ламелями и достаточно упорядочена. Условия кристаллизации последующих слоев покрытия значительно отличаются от условий кристаллизации переходного слоя: практически отсутствует

Технологія машинобудування

переохлаждение, уменьшается температурный градиент. Поэтому следовало ожидать образование крупнозернистой структуры в покрытии за счет уменьшения скорости кристаллизации. Применение щеточной обработки в процессе формирования напыляемых слоев покрытия обеспечивает увеличение количества центров кристаллизации за счет разрушения окисных пленок на границах частиц в слоях покрытия и нарушающих целостность структуры покрытия, поэтому зерна в покрытии получаются более мелкие.

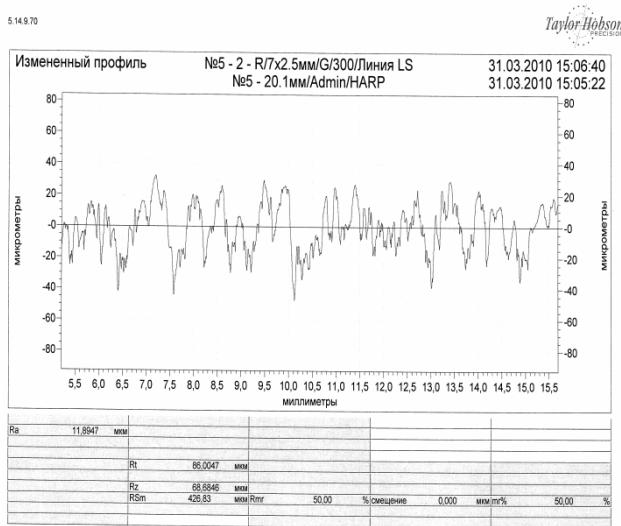


Рис. 1 – Профилограмма поверхности, обработанной щеточным инструментом: параметры высотные, мкм: $R_a=11,89$; $R_z=68,7$; $R_t=86,0$, шаговые, мкм: $S_m=426,83$, смешанные: $R_{mr}=50\%$



Рис. 2 – Структура газопламенных покрытий на основе сплава ПГ-10Н-01 на стали 45 с применением щеточной обработки (x130)

Металлографические исследования показали, как и предполагалось, в результате микропластического воздействия щеточной обработки, плотность напыленных покрытий заметно повысилась, остаточная пористость составила 8-10% (при традиционном напылении – 16-18%), причем поры имеют вытянутую форму и уменьшаются до размера 5-15 мкм (при традиционном напылении – поры 10 до 40 мкм), т. е. можно сказать происходит так называемое «залечивание» пор.

Определение твердости переходного слоя Н=50-330-367 показало, что она выше, чем у никеля – Н = 50-200-224, и может быть объяснено образованием большого количества дислокаций при бурно протекающем процессе кристаллизации, т.е. возникновением напряжений II-го рода. Причем при увеличении оборотов вращения щетки количество центров кристаллизации (\mathcal{C}_c) возрастает.

В целом микроструктура напыленного покрытия представляет собой гетерогенную многофазную систему, основу которой составляют вытянутые зерна никеля и зерна твердого раствора на основе никеля, имеющие вид более темных однородных участков. В структуре выявлены твердые составляющие, такие как тонкодисперсные карбидные и карбоборидные эвтектики, имеющие вид более светлых гладких участков микротвердостью 6800–8510 МПа, а микротвердость эвтектики розеточного типа составляет до 5000–5570 МПа. В металлической основе достаточно равномерно распределены мелкие карбиды хрома и бора

(по морфологии идентифицированы как $Me_3(CB)$), а также мелкие частицы оксидов, что подтверждено микрорентгеноспектральным анализом, замером микротвердости отдельных фаз в покрытии – 11000-13500 МПа, и согласуется с литературными данными.

Разрушение окисных пленок на отдельных частицах, в процессе формирования покрытия металлической щеткой обеспечивает сплавление металлических частиц и их соединение под действием сил Ван-дер-Ваальса.

Твердость покрытия оценивали микротвердостью на шлифах. Проводили послойное измерение микротвердости на ПМТ-3 при нагрузке 100г (рис. 3, а). В результате анализа данных эксперимента наблюдается рост микротвердости (на 10-15 %) при применении щеточной обработки, более равномерное распределение её по толщине покрытия, колебания значений по толщине не превышает 10 %. Эксплуатационные свойства восстановленных деталей определяются характером изменения твердости в ЗТВ и по глубине детали. Наблюдается скачок в твердости покрытий, напыленных по традиционной технологии (рис. 3, б, кривая 1), что может привести к появлению усталостных трещин и дефектов, снижающих в целом прочность детали. Высокая твердость ЗТВ обусловлена охлаждением и частичным диффузионным проникновением легирующих элементов (Cr и Ni) в поверхность детали. Действие механического фактора щеточной обработки (рис. 3, б кривая 2) обеспечивает более плавное снижение микротвердости от покрытия к основному металлу. Твердость покрытия обеспечивается наличием твердых фаз – карбидов хрома, боридов никеля. Наблюдаемое повышение твердости поверхностного слоя обеспечивается за счет уплотнения слоев и уменьшения количества пор при послойной обработке щеткою слоев покрытия.

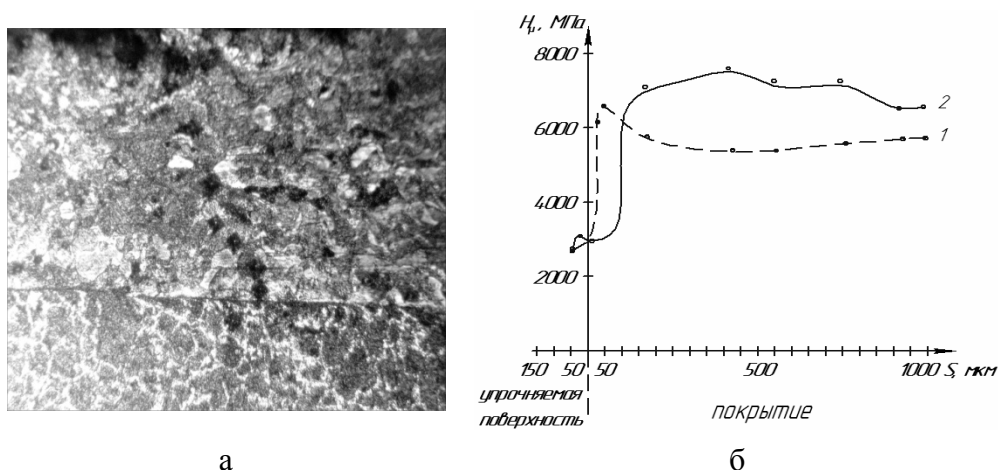


Рис. 3 – Измерение (а) и распределение микротвердости (б) по толщине напыленного покрытия ($\times 250$)

Выводы

1. Предложен способ интегрирования газопламенного напыления с механической обработкой вращающейся металлической щеткой.
2. Применение щеточной обработки для предварительной подготовки поверхности основы позволило получить шероховатость в пределах $R_a=10-12$ мкм.
3. Установлено, что применение щеточной обработки позволяет в среднем на 22 % увеличить адгезионно-когезионную прочность сцепления газопламенного покрытия с основой.

Технологія машинобудування

4. Металлографические исследования показали, что количество пор в покрытии снижается с 18 до 10 %.

5. Увеличение твердости напыленного поверхностного слоя (на 18-20 %), снижение микротвердости подповерхностных слоев и увеличение твердости в более глубоких слоях в процессе интегрированного газопламенного напыления происходит за счет образования большого количества дислокаций при бурно протекающем процессе кристаллизации. Появившиеся в покрытии мелкие частицы окислов играют роль дополнительных центров кристаллизации.

Список использованных источников:

1. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов // *Тяжелое машиностроение*. – 2000. – № 2. – С. 3-10.
2. Кершенбаум В. Я. Механотермическое формирование поверхностей трения / В. Я. Кершенбаум. – М. : Машиностроение. – 1987. – 232 с.
3. Лузан С. А. Совершенствование метода газопламенного нанесения покрытий / С. А. Лузан // *Современные технологии термообработки – в жизнь!* : сб. докл. VII Международной научно-технической конф. ОТТОМ (г. Харьков 24-28 апреля 2006 г.). – Харьков : ННЦ «ХФТИ», ИПЦ «Контраст», 2006. – С. 182-183.
4. Lawn B. R. Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics: The Median/Radial Crack System / B. R. Lawn, A.G. Evans, D. B. Marshall // *Journal American Ceramic Society* – 1980. – Vol. 63, N 9-10. – P. 574-581.
5. Технология восстановления и упрочнения наружных и внутренних поверхностей плазменным напылением / Г. М. Русев, В. В. Овсянников, С. М. Киселев, Н. Ф. Галиук // *Автоматическая сварка*. – 2000. – № 12. – С.61-62.
6. Полянский А. С. Определение оптимальной скорости обработки поверхности и параметров иглофрезы, обеспечивающих максимальную прочность сцепления газопламенных покрытий / А. С. Полянский, С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10. (Т.5). – С. 111-118.
7. Дерябкина Е. С. Сравнительная оценка качества различных технологий газопламенного напыления покрытий / Е. С. Дерябкина // *Вестник академии инженерных наук Украины*. – Киев, 2011. – Вып. 3. – С. 57-60.

References

1. Kharlamov, Iu 2000, 'Gazotermicheskoye napyleniye pokrytii i ekologichnost proizvodstva, ekspluatatsii i remonta mashin', *Tiazheloye mashinostroyeniye*, no. 2, pp. 3-10.
2. Kershenbaum, V 1987, *Mekhanotermicheskoye formirovaniye poverkhnostei treniia*, Mashinostroyeniye, Moskwa.
3. Luzan, S 2006, 'Sovershenstvovaniye metoda gazoplamnennogo naneseniia pokrytii', *Sovremennyye tekhnologii termoobrabotki – v zhizn!*, VII Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konf. OTTOM, Kharkiv, 24-28 April 2006, NNTc "KhFTI", IPTc "Kontrast", pp. 182-183.
4. Lawn, B, Evans, A & Marshall, D 1980, 'Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics: The Median/Radial Crack System', *Journal American Ceramic Society*, vol. 63, no. 9-10, pp. 574-581.
5. Rusev, G, Ovsianikov, V, Kiselev, S & Galiuk, N 2000, 'Tekhnologiiia vosstanovleniia i uprochneniia naruzhnykh i vnutrennykh poverkhnostei plazmennym napyleniem', *Avtomaticheskaia svarka*, no. 12, pp. 61-62.
6. Polianskii, A, Luzan, S & Deriabkina, E 2010, 'Opredeleniye optimalnoi skorosti obrabotki poverkhnosti i parametrov iglofrezы, obespechivaiushchikh maksimalnuiu prochnost scepheniia gazoplamnennykh pokrytii', *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu*, iss. 10, vol. 5, pp. 111-118.
7. Deriabkina, E 2011, 'Srvnitelnaia otenka kachestva razlichnykh tekhnologii gazoplamnennogo napyleniia pokrytii', *Vestnik akademii inzhenernykh nauk Ukrainy*, iss. 3, pp. 57-60.

Стаття надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.