

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-100-106

УДК 621.791.92

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА КАЧЕСТВО ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА**

**©Дерябкина Е.С.**

*Украинская инженерно-педагогическая академия*

### **Информация об авторе:**

**Дерябкина Евгения Станиславовна:** ORCID: 0000-0002-5531-0124, [itmzv@uipa.edu.ua](mailto:itmzv@uipa.edu.ua), кандидат технических наук, доцент кафедры интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Разработан интегрированный способ нанесения газопламенных покрытий, позволяющий совершенствовать технологический процесс восстановления цилиндрических поверхностей деталей с одновременным увеличением их ресурса за счет повышения качественных показателей напыленных покрытий. Щеточная обработка применена для обработки поверхности детали под нанесение покрытия и обработки напыляемых слоев в процессе формирования, что обеспечивает их микропластическую деформацию. Установлено, что технологическими факторами влияющими на прочность сцепления и пористость, твердость напыленного покрытия являются конструктивно-технологические параметры щетки.

Для получения обобщенной интегральной оценки качества предложено использовать среднее гармоническое оценок качества факторов: прочности сцепления, пористости и износостойкости. Выполненные сравнительные лабораторные исследования по двум технологиям: традиционной и интегрированной показали, что качество покрытия последней выше на 26%.

**Ключевые слова:** интегрированное газопламенное напыление, прочность сцепления, пористость, интегральная оценка качества.

**Дерябкина Е.С.** «Дослідження впливу способу нанесення покриттів на якість відновлених деталей засобів транспорту».

Розроблено інтегрований спосіб нанесення газополумєневих покриттів, що дозволяє удосконалити технологічний процес відновлення циліндричних поверхонь деталей з одночасним збільшенням їх ресурсу за рахунок підвищення якісних показників напилених покриттів. Щіткова обробка застосована для обробки поверхні деталі під нанесення покриття і обробки шарів, що напилюються, в процесі формування, що забезпечує їхню мікропластичну деформацію. Встановлено, що технологічними чинниками, які впливають на міцність зчеплення і пористість, твердість напиленого покриття є конструктивно-технологічні параметри щітки.

Для отримання узагальненої інтегральної оцінки якості запропоновано використовувати середнє гармонійне оцінок якості факторів: міцності зчеплення, пористості і зносостійкості. Виконані порівняльні лабораторні дослідження за двома технологіями: традиційній та інтегрований, показали, що якість покриття останньої вище на 26%.

Розроблено спосіб формування зносостійкого поверхні газополумєневим напиленням, інтегрованим з щіткової обробкою. Встановлено, що технологічними чинниками впливають на адгезійну і

когезійну міцність зчеплення напиляного покриття з основою є конструктивно-технологічні параметри щітки. Запропоновано використовувати узагальнену інтегральну оцінку якості напиляного покриття як середнє гармонійне оцінок якості факторів: міцності зчеплення, пористості і зносостійкості.

З метою забезпечення показників, що характеризують якість покриття, розроблений спосіб формування зносостійкого поверхні газополуменевим напиленням, інтегрується-ванним зі щіткової обробкою. На основі дослідження кінетики і механізму формування покриттів, а також теоретичної та експериментальної оцінки процесів, що протікають при щеточній обробці напилюються шарів, встановлено, що технологічними чинниками впливають на адгезійну і когезійну міцність зчеплення напиляного покриття з основою є конструктивно-технологічні параметри щітки. Отримані результати дозволяють рекомендувати інтегровану технологію газопламенного нанесення покриттів для відновлення і зміцнення деталей засобів транспорту типу вал.

**Ключові слова:** інтегроване газополуменеве напилювання, міцність зчеплення, пористість, інтегральна оцінка якості.

***Deryabkina E.*** «Study of the impact of the method of drawing the quality of restorative coatings».

An integrated method of application of gas-flame coatings has been developed, which allows to improve the technological process of restoration of cylindrical surfaces of parts with simultaneous increase of their resource due to the improvement of quality indicators of spray coatings. Brush treatment is used to process the surface of the part under the application of coating and treatment of the spraying layers during the formation process, which ensures their microplastic deformation. It is established that the technological factors that influence the strength of grip and porosity, hardness of the spray coating are the structural and technological parameters of the brush.

To obtain a generalized integrated quality assessment, it is proposed to use the average harmonic quality estimation of factors: bond strength, porosity and wear resistance. Comparative laboratory research performed on two technologies: traditional and integrated, showed that the quality of coverage of the latter is higher by 26%.

The method of forming a wear-resistant surface by gas-flame spraying, integrated with brush treatment has been developed. It was established that the technological factors influence the adhesion and cohesive bonding strength of the coating coating with the basis are structural and technological parameters of the brush. It is proposed to use a generalized integral assessment of the quality of the coating coating as an average harmonious quality assessment of the factors: bond strength, porosity and wear resistance.

In order to provide indicators that characterize the quality of the coating, a method of forming a wear-resistant surface by gas-flame spraying, an integrated-bath with a brush treatment is developed. On the basis of the study of kinetics and the mechanism of coating formation, as well as theoretical and experimental evaluation of the processes occurring when brushing the treated spray layers, it has been established that the technological factors affect the adhesion and cohesive bonding strength of the coating coating with the base are structural and technological parameters

brushes The obtained results of dosage-recommend to recommend an integrated technology of gas-fired coatings for the recovery and strengthening of parts of vehicles such as shaft.

**Key words:** integrated flame spraying, adhesion strength, porosity, integral quality assessment.

### **1. Постановка проблемы**

Качественные параметры газопламенных покрытий не всегда отвечают повышенным требованиям, предъявляемым к эксплуатационным характеристикам восстановленных деталей машин и средств транспорта, работающих в условиях интенсивных нагрузок.

Широкому применению газопламенного напыления препятствует низкая адгезионно-когезионная прочность напыленных покрытий и их высокая пористость. Исследования газопламенного напыления направлены на рациональное активирование процесса нанесения покрытий путем интегрирования его с другими технологиями. Повысить качество покрытий, по нашему мнению, возможно совмещением технологии газопламенного напыления с технологией щеточной обработки.

### **2. Анализ последних исследований**

Анализ работ по совмещению плазменного напыления с виброобработкой [1], как одного из физико-механических способов воздействия, показал перспективность ее использования при нанесении покрытий. Применительно к плазменному нанесению покрытий, при котором время кристаллизации напыляемых частиц  $10^{-7} \dots 10^{-4}$  с, влияние вибрации следует рассматривать с учетом ее воздействия на структуру напыленного материала. Приложение переменных напряжений, не превышающих предела усталости, позволяют обеспечить релаксацию напряжений. Комбинирование технологии электроэрозионного легирования с технологией поверхностного пластического деформирования позволяет сформировать поверхностные слои с высокой твердостью и износостойкостью, повышенной усталостной прочностью [2]. Электроискровое легирование с наложением ультразвука до 4-х раз увеличивает массоперенос, что позволяет формировать покрытия большой толщины.

Вместе с тем, в имеющихся на сегодняшний день работах отсутствует научно-техническая информация о влиянии способа восстановления на свойства покрытий в процессе эксплуатации, что делает задание исследований актуальным.

**3. Цель работы** - разработка способа нанесения покрытий, позволяющего при минимальных дополнительных затратах обеспечить повышение прочности сцепления напыленных покрытий и снижение его пористости.

### **4. Основной материал**

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан способ интегрированного газопламенного напыления [3]. Предлагается в процессе газопламенного порошкового напыления производить механическую обработку специальной металлической



обработке механической; обкатке роликом и т.п. Значительное снижение пористости после щеточной обработки слоев покрытия объясняется положительной ролью механического фактора, определяющего в условиях воздействия высоких температур развитие микропластических деформаций.

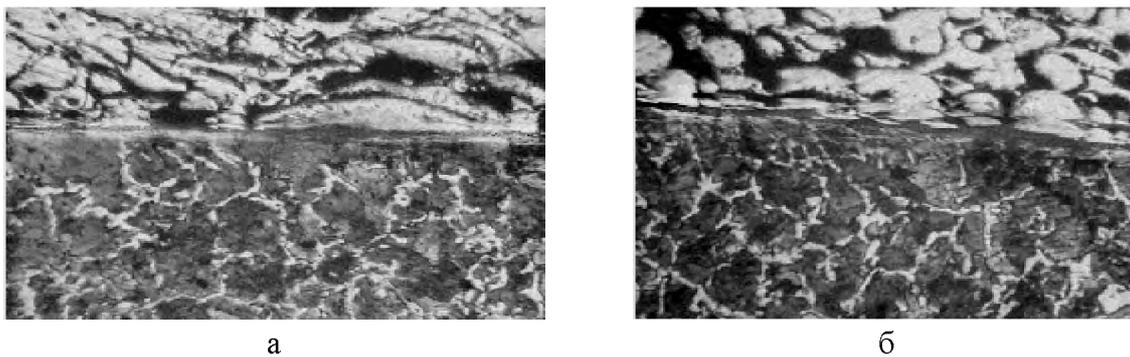
Минимальный интервал времени между активацией поверхности и взаимодействием ее с частицами напыляемого материала существенно ограничивает адсорбцию газов, паров и жидкостей, окисление и образования других твердых пленок на поверхности металла.

Применение щеточной обработки для подготовки поверхности под напыление и слоев покрытия при нанесении покрытия позволяет существенно сократить время поступления обработанного участка в зону напыления. При диаметральной расположении щетки и газопламенной горелки указанное время можно рассчитать по выражению:

$$t = \frac{30}{n_0}, \quad (1)$$

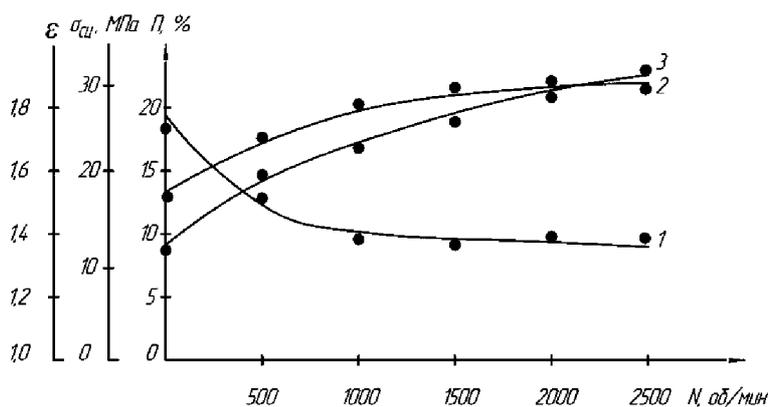
где  $t$  – время, через которое обработанный щеткой участок поступит в зону напыления, с;  
 $n_0$  – количество оборотов напыляемой детали, об/мин.

При напылении деталей диаметром от 20 до 200 мм количество оборотов  $n_0$  должны составлять 287-29 об/мин, для обеспечения скорости поверхности в зоне напыления 300 мм/с. Тогда время, через которое обработанная поверхность поступит в зону напыления, рассчитанное по формуле (1), составит лишь 0,1- 1,0 с. Известно, что толщина оксидной пленки на железе и его сплавах составляет 50-100 Å, а время образования окисной пленки составляет  $2,4 \cdot 10^{-9}$  секунды при давлении 760 мм. рт. ст. Применение обработки металлической щеткою взамен традиционной струйной обработки абразивом позволяет выдвинуть гипотезу об уменьшении толщины окисной пленки на поверхности основы из-за короткого промежутка времени между обработкой и поступлением ее в зону напыления, что в свою очередь облегчает процесс очистки поверхности за счет ударного давления  $p_u$  напыляемых частиц и улучшает физический контакт материалов частицы и основы. Таким образом, применение механической обработки для обработки поверхности основы и слоев в процессе напыления покрытия обеспечивает снятие окислов [4]. Физическая сущность предлагаемого способа повышения качества газопламенных напыляемых покрытий состоит в следующем: иглы активируют дислокационный механизм. Число дислокаций увеличивается за счет создания точечных дефектов; за счет микропластической деформации, создаваемой при щеточной обработке слоев, в напыленном покрытии создается наклеп на глубину 0,1-0,15 мм [35], и, как следствие, повышается твердость покрытия на 15-20%; управляя скоростью вращения щетки, можно варьировать прочность сцепления покрытия с основой и его пористость. Иглы деформируют поверхность металла за счет сил сдвига, в результате уплотнения слоев происходит снижение пористости, что обеспечивает увеличение плотности покрытия и, соответственно, его износостойкости (рис.3). В качестве основных управляемых факторов, определяющих качество покрытия, выделим технологические параметры щетки, скорость её вращения, натяг. Эффективное использование предлагаемой технологии основано на возможности нанесения покрытий с заданными свойствами. Несмотря на недостаточную изученность явлений происходящих на поверхности и отсутствие расчетных методов конструирования интегрированной технологии практическое преимущество ее очевидно.



**Рис.3** - Структура напыленных покрытий из сплава ПГ-10Н-01 на стали 45(х130) без щеточной обработки (а) и со щеточной обработкой (б): при подготовке поверхности ( $n_1=150$  об/мин) и в процессе напыления ( $n_2=2100$  об/мин) при  $N=3$  мм,  $d_n=0,8$  мм,  $I_n=40$  мм.

При газопламенном напылении одними из основных свойств, характеризующих качество покрытий являются – прочность сцепления  $\sigma_{сч}$ , износ  $\Delta$  и пористость  $\Omega$ . По результатам исследований: при традиционном газопламенном напылении  $\sigma_{сч1} = 20$  МПа,  $\Delta_1 = 0,08$  мм,  $\Omega_1 = 18\%$ , при интегрированном нанесении покрытий:  $\sigma_{сч2} = 26,8$  МПа,  $\Delta_2 = 0,045$  мм,  $\Omega_2 = 10\%$  (рис.4).



**Рис.4** - Влияние скорости вращения щетки на пористость напыленных покрытий(1), прочность сцепления(2), относительную износостойкость(3).

Если в качестве интегрального показателя качества взять среднее значение величин, среднее геометрическое и среднее гармоническое качеств, то при традиционном газопламенном напылении получим  $I_{1сч1}=0,7165$ ,  $I_{1\Delta1}=0,6966$ ,  $I_{1\Omega1}=0,6757$ . Соответствующие значения для интегрированного газопламенного напыления следующие:  $I_{1сч2} = 0,9631$ ,  $I_{2\Delta2} = 0,9626$ ,  $I_{3\Omega3} = 0,9621$ . Среднее гармоническое есть осторожная оценка качества изделия. Из сравнения по качеству двух покрытий с одинаковыми требованиями по качеству, следует, что предложенная технология газопламенного напыления с применением механической обработки вращающейся щеткою увеличивает интегральный показатель качества покрытия на 26%.

### Выводы

С целью обеспечения показателей, характеризующих качество покрытия, разработан способ формирования износостойкой поверхности газопламенным напылением, интегриро-

Разработан метод интегральной оценки качества, применение которого позволило определить качество покрытий и технологию, лучшую по параметрам качества напыленного покрытия. Интегральной оценкой качества предлагается такая характеристика как среднее гармоническое факторов качества:

$$I = \frac{m}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{K_j}}, \quad (2)$$

где  $m$  - количество факторов входящих в интегральную оценку.

ванним со щеточной обработкой. На основе исследования кинетики и механизма формирования покрытий, а также теоретической и экспериментальной оценки процессов, протекающих при щеточной обработке напыляемых слоев, установлено, что технологическими факторами влияющими на адгезионную и когезионную прочность сцепления напыленного покрытия с основой являются конструктивно-технологические параметры щетки. Для оценки качества факторов, определяющих качество напыленного покрытия, предложено использовать обобщенную интегральную оценку качества как среднее гармоническое оценок качества факторов: прочности сцепления, пористости и износостойкости. Полученные результаты позволяют рекомендовать интегрированную технологию газопламенного нанесения покрытий для восстановления и упрочнения деталей средств транспорта типа вал.

**Список використаних джерел:**

1. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А. Ф. Пузряков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 360 с.
2. Технология восстановления и упрочнения наружных и внутренних поверхностей плазменным напылением / Г. М. Русев, В. В. Овсянников, С. М. Киселев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 61-62.
3. Пат. 44994 Україна, МПК(2009) C23C4/00. Спосіб напилювання газотермічного порошкового покриття / Лузан С. О., Дерябкіна Е. С. ; заявник та патентовласник УПА. – № u200904703 ; заявл. 12.05.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 3 с.
4. Полянский А. С. Обоснование возможности подготовки поверхности металлическими щетками для газотермического напыления покрытий / А. С. Полянский, С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // Пр. Тавр. держ. агро-технол. ун-ту. – Вып. 11, Т.1. – Мелитополь : ТДАТУ, 2011. – С. 34-42.
5. Robert Eriksson, " Thermal Barrier Coatings – Durability Assessment and Life Prediction," Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No.1527, August-2013.
6. S. Matthews and B. James, " Review of Thermal Spray Coating Applications in the Steel Industry:Part I— Hardware in Steel Making to the Continuous Annealing Process," Journal of Thermal Spray Technology, Volume 19(6),December 2010,pp.1267.

**References**

1. Puzryakov, AF 2003, Teoreticheskie osnovy tehnologii plazmennogo napylenija, Izdatelstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta imeni N. Je. Baumana, Moskva.
2. Rusev, GM et al. 2000, 'Tehnologija vosstanovlenija i uprochnenija naruzhnyh i vnutrennih poverhnostej plazmennym napyleniem', Avtomaticheskaja svarka, no. 12, pp. 61-62.
3. Luzan, SO & Deriabkina, ES 2009, Sposib napyliuvannia hazotermichnoho poroshkovoho pokryttia, UA Patent 44994.
4. Poljanskij, AS, Luzan, SA & Derjabkina, ES 2011, 'Obosnovanie vozmozhnosti podgotovki poverhnosti metallichesкими shhetkami dlja gazotermicheskogo napylenija pokrytij', Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, Melitopol, iss. 11, vol. 1, pp. 34-42.
5. Robert Eriksson, " Thermal Barrier Coatings – Durability Assessment and Life Prediction," Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No.1527, August-2013.
6. S. Matthews and B. James, " Review of Thermal Spray Coating Applications in the Steel Industry:Part I— Hardware in Steel Making to the Continuous Annealing Process," Journal of Thermal Spray Technology, Volume 19(6),December 2010,pp.1267.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2019 р.