

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Лузан С.А., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*Исследована возможность интегрирования технологии газотермического напыления с методом электроискрового легирования для обеспечения повышения прочности сцепления покрытия с основой. Разработаны математические модели, позволяющие определить прочность сцепления покрытия из самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01 с основой из стали 45 в зависимости от мощности разряда и материала электрода.*

**Постановка проблемы.** Практика эксплуатации машин и оборудования подтверждает, что наиболее распространенной причиной их выхода из строя в 80 случаях из 100 является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей [1, 2].

Развитие конструкций машин происходит при постоянном стремлении к увеличению их производительности, что почти всегда сопровождается повышением механической и тепловой напряженности подвижных сопряжений деталей [1]. При этом ставятся задачи достижения высокой надежности и долговечности машины, снижения ее массы, сокращения расхода дефицитных материалов. Известно, что повышение долговечности машины даже в небольшой степени ведет к значительной экономии металла, уменьшению затрат на производство запасных деталей; сокращается число и объем ремонтов, а следовательно, увеличивается количество фактически работающих машин [1].

Поскольку при конструировании машин учитываются и экономические факторы производства и эксплуатации, конструктору необходимо проводить перспективный прогноз длительности использования данной машины с учетом продолжительности эксплуатации машин предшествующих моделей. В ряде случаев этот срок составляет 25 лет, а иногда и более, например, для автомобилей, тракторов, транспортных самолетов, металлообрабатывающих станков [3]. При выборе конструктивного решения необходимо учитывать предстоящие затраты не только на изготовление машины и ее отдельных узлов, но и на обслуживание и ремонт. Последние затраты при длительной эксплуатации машины во много раз больше стоимости ее изготовления. Поэтому проблема повышения срока эксплуатации изделий и деталей, особенно в тех случаях, где их замена или ремонт невозможен по выполнению требований техники безопасности, является актуальной. Одним из эффективных направлений решения этой проблемы – нанесение защитных покрытий газотермическими методами, в т. ч. газопламенным напылением.

**Анализ основных достижений и публикаций.** Конкурентные преимущества способов газотермического напыления заключаются в том, что эти технологии позволяют повысить качество выпускаемой продукции и одновременно обеспечить сохранение окружающей среды. Одна из таких технологий – газопламенное напыление - за последние 20 лет получила достаточно широкое применение в различных отраслях промышленности. В Германии в настоящее время работает более 2000 установок газотермического напыления, Китай за последние годы закупил около 500 установок по напылению защитных покрытий. Российские компании используют газотермические технологии напыления для упрочнения деталей оборудования, предназначенного для бурения, нефтедобычи и нефтепереработки, транспортировке нефти и газа, энергетики, деталей автотранспорта и авиации.

Американское Сварочное Общество проводило изучение антикоррозийной защиты, напыляя алюминиевые покрытия на углеродистую сталь. Исследования показали — алюминиевое покрытие толщиной 0,08-0,15 мм, обеспечивают полную антикоррозийную защиту металла-основы в течение 20 лет в морской воде и в жёсткой морской и промышленной атмосфере. Именно по этой причине метод напыления металлов применяется уже более 50 лет для напыления мостов, дымовых труб и деталей, более 20 лет для напыления прибрежных конструкций. В Северном море первым сооружением, которое было покрыто металлическим напылением, стало специализированное оборудование морских платформ, такое как балки сигнального факела, мостиковые перекрытия между платформами и запасные ступеньки, которое невозможно было безопасно заменять. Сейчас практически все детали и корпуса буровых платформ защищаются с помощью применения газопламенного напыления покрытий.

Вместе с тем, у газопламенных покрытий имеется недостаток – низкая прочность сцепления покрытия с основой, высокая пористость, что ограничивает область их применения.

**Формулировка целей статьи.** Установить возможность интегрирования технологии газотермического напыления с методом электроискрового легирования для обеспечения повышения прочности сцепления покрытия с основой. Разработать математические модели, позволяющие определять прочность сцепления покрытия из самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si со стальной основой в зависимости от мощности разряда при ЭИЛ.

**Основной материал.** Предварительно проведенные исследования зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от мощности разряда при ЭИЛ показали возможность получения шероховатости аналогичной при струйно-абразивной обработке, которая является наиболее распространенным способом подготовки напыляемой поверхности. На рис. 1 приведена профилограмма поверхности образцов из стали 45 после струйно-абразивной обработки электрокорундом марки 14А ТУ 2-036-704-79 зернистостью 0,8 мм. Шероховатость образцов со стали 45 составляет  $R_z$  8,0 мкм.

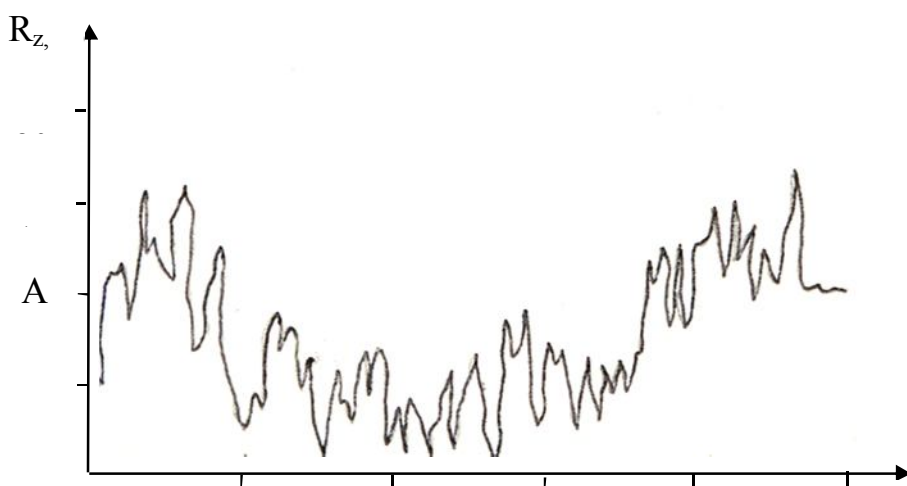


рис. 1. Профиль поверхности напыляемой поверхности по...

струйно-абразивной обработки электрокорундом зернистостью 0,8 мм.

Для создания шероховатости на напыляемой поверхности методом ЭИЛ применялись электроды, изготовленные из напыляемого материала ПГ-10Н-01 и нихрома Х20Н80, как близких по химическому составу. Это должно обеспечить формирование наиболее низкого уровня остаточных напряжений в переходной зоне покрытие-основа и основном слое покрытия и повысить прочность сцепления покрытия с основой.

Для проведения эксперимента были изготовлены цилиндрические образцы  $\varnothing 22$  мм,  $l=70$  мм из стали 45.

Измерение адгезионной прочности испытанием на сдвиг осуществляли на цилиндрических образцах из стали 45  $\varnothing 22$  мм,  $l=70$  мм с кольцевым участком покрытия.

Электроискровая обработка производилась до напыления покрытия и в процессе нанесения покрытия за счет смещения зон газопламенного напыления и электроискрового легирования на 1800. Мощность разряда при ЭИЛ составляла 100 Вт (в случае применения электрода из сплава ПГ-10Н-01) и 150 Вт при использовании нихромового электрода Х20Н80, что обеспечивало получение шероховатости напыляемой поверхности  $Rz 8,0$  мкм. Результаты измерения прочности сцепления приведены в табл. 1.

Полученные результаты подтверждают предположение, что ЭИЛ напыляемой поверхности материалом покрытия или близкого по химическому составу повышает прочность сцепления покрытия с основой по сравнению со струйно-абразивной обработкой на 43-56%

С целью получения возможности проектирования покрытия с заданной прочностью сцепления с основой были проведены исследования по определению зависимости прочности сцепления от мощности разряда при ЭИЛ, результаты представлены на рис. 2.

Анализируя характер экспериментальных кривых, можно сделать вывод, что с увеличением мощности разряда при ЭИЛ прочность сцепления покрытия

Таблица 1-Прочность сцепления покрытий ПГ-10Н-01 с основой - сталь 45

№ пп	Способ напыления покрытий	Прочность сцепления, МПа		
		Струйно-абразивная	Электрод ПГ-10Н-01	Электрод Х20Н80
1	Традиционный	23		
2	Интегрированный с ЭИЛ		36	33

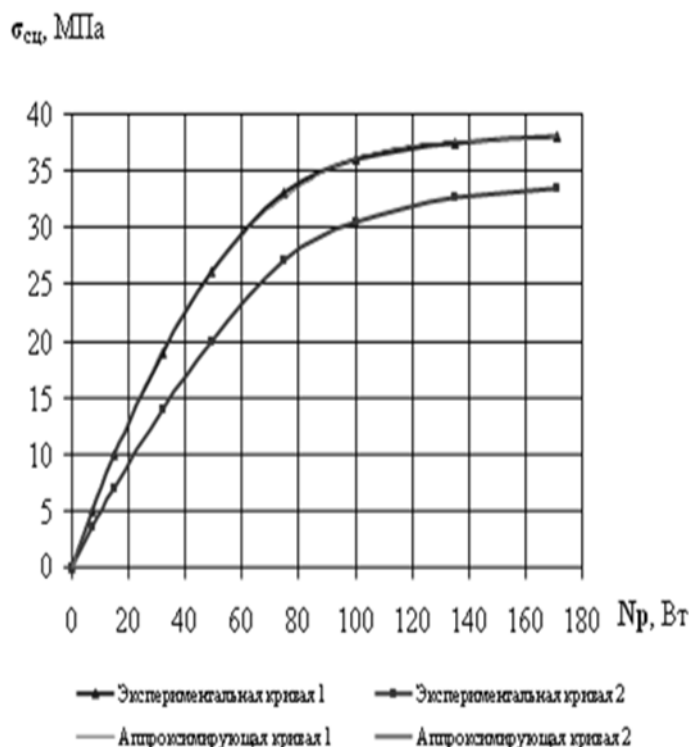


Рис. 2. Прочность сцепления покрытия ПГ-10Н-01 с основой

из стали 45 в зависимости от мощности разряда при ЭИЛ материалами:

1 – ПГ-10Н-01; 2 – нихром Х20Н80

с основой повышается. Характер повышения прочности сцепления у покрытия при использовании в качестве материалов катода сплава ПГ-10Н-01 и нихрома Х20Н80 одинаковый. Более высокая прочность сцепления покрытия ПГ-10Н-01 с основой из стали 45 обеспечивается при применении электрода, изготовленного из материала покрытия ПГ-10Н-01.

Аппроксимируя экспериментальные зависимости, получили следующие уравнения, которые представляют собой полиномиальные функции третьей степени

$$\sigma_{сц1} = 1 \cdot 10^{-5} N_p^3 - 0,005 N_p^2 + 0,746 N_p - 0,022 \quad (1)$$

$$\sigma_{cy2} = 4 \cdot 10^{-6} N_p^3 - 0,003 N_p^2 + 0,535 N_p - 0,183 \quad (2)$$

Коэффициенты корреляции составляют  $R_1^2 = 0,9999$  и  $R_2^2 = 0,9995$ . Полученные теоретические зависимости (4.63, 4.64) представляют собой математические модели прочности сцепления покрытия ПГ-10Н-01 с основой из стали 45 в зависимости от мощности разряда при ЭИЛ электродами из сплава ПГ-10Н-01 и нихрома Х20Н80.

Учитывая, что напыляемый порошок марки ПГ-10Н-01 является представителем группы порошковых материалов из самофлюсующихся сплавов, можно предположить, что и для других порошковых материалов этой группы зависимость прочности сцепления от мощности разряда будет аналогичной. Тогда, обобщая выражения (1-2), получим следующее уравнение

$$\sigma_{\tilde{n}\tilde{o}} = \hat{A}_1 N_p^3 - \hat{A}_1 N_p^2 + C_1 N_p - \hat{E}_1 \quad (3)$$

где:  $A_1, B_1, C_1, K_1$  – постоянные для данного материала покрытия, основы и электрода.

Полученное выражение (3) представляет собой математическую модель прочности сцепления покрытия системы Ni-Cr-B-Si с основой из стали в зависимости от мощности разряда при ЭИЛ.

Также были проведены исследования влияния ЭИЛ на микротвердость напыленных покрытий. Для исследования микротвердости покрытий был определен их фазовый состав на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 в медном излучении ( $\lambda_{Cu}$ ) с графитовым монохроматором. Рентгенограмму снимали с вращением образцов в интервале двойных углов от 32 до 1000 при напряжении 30 кВ и токе на трубке 30 мА. Скорость развертки составляла 4 град/мин, скорость движения диаграммной ленты 1800 мм/ч. Установлен фазовый состав напыленных покрытий - твердый раствор на основе Ni, Ni3B и Ni.

Исследование микротвердости напыленных покрытий проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г. В табл. 2 представлена средняя микротвердость покрытий по измерению твердостей основных фаз.

Таблица 2-Средняя микротвердость покрытий ПГ-10Н-01

№ п/п	Способ напыления покрытий	Средняя микротвердость покрытия, Н100
1	По традиционной технологии	810
2	Интегрированный с ЭИЛ	832

Измерение пористости напыленных покрытий, которые выполнялись по общепринятой методике гидростатическим взвешиванием (ГОСТ 18893-73), показало снижение с 9–12% при традиционном напылении до 4,3-6,2% при газопламенном напылении интегрированным с ЭИЛ.

Металлографические исследования свидетельствуют об улучшении контакта покрытия с основой при подготовке поверхности ЭИЛ, поскольку пористость на границе раздела покрытие-подложка практически отсутствует.

Полученные результаты увеличения прочности сцепления покрытия с основой, микротвердости, снижения пористости свидетельствуют об изменении структуры напыляемого материала, сопровождающееся улучшением его механических характеристик. Эти изменения в структуре покрытия и переходной зоне покрытие-основа происходят в результате дополнительного за счет электроискровой обработки пластического деформирования напыляемого покрытия.

### **Выводы**

1. Интегрирование технологии газопламенного напыления с электроискровым легированием повышают качество напыленных покрытий.

2. Разработанные математические модели позволяют определить прочность сцепления покрытия из самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01 с основой из стали 45 в зависимости от мощности разряда и материала электрода. Также предложена математическая модель прочности сцепления покрытия системы Ni-Cr-B-Si со стальной основой в зависимости от мощности разряда при ЭИЛ.

### **Список использованных источников**

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): Учебник / Гаркунов Д.Н. – М.: “Издательство МСХА”, 2002. - 632 с.
2. Хебды М., Чичинадзе А.В. Теоретические основы. Том 1, Справочник по триботехнике в трех томах / М. Хебды, А.В. Чичинадзе. - М. : Машиностроение, 1989. – 400 с.
3. Кугель Р.В. Основные задачи проблемы надежности машин / Р.В. Кугель // Вестник машиностроения. – 1981. - № 11. - С. 49-55.

### **Анотація**

## **ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІ ГАЗОПОЛУМ'ЯНОГО НАПИЛЕННЯ З ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ**

Лузан С.А.

*Досліджена можливість інтеграції технології газотермічного напилення з методом електроіскрового легування для забезпечення підвищення міцності зчеплення покриття з основою. Розроблені математичні моделі, що дозволяють визначити міцність зчеплення покриття із сплавом ПГ-10Н-01, що самофлюсується, з основою зі сталі 45 залежно від потужності розряду і матеріалу електроду.*

## Abstract

### INTEGRATE TECHNOLOGY GASOFLAME EVAPORATIONS WITH ELECTROSPARK LEGION FOR ENSURING THE SAFE USAGE PRODUCT

S.Luzan

*The Explored possibility to integrated technologies gasothermal evaporations with method electrospark legion for provision of increasing to toughness of the traction of the covering with base. Development mathematical models, allowing define toughness of the traction of the coating from itselfgumboil alloy PG-10N-01 with base from steel 45 depending on powers of the discharge and material of the electrode.*

УДК 662. 636.

### МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИБОРУ ТИПУ І ТИПОРОЗМІРУ МЕХАНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВА ДЛЯ ГАЗОФІКОВАНИХ ДВИГУНІВ

Дьяконов О.В., інж.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Проведено багатокритеріальний аналіз запропонованого обладнання для підготовки палива та завантаження його в газогенератор.*

В процесі природного прорідження в різних типах екосистеми, особливо лісових, відбувається накопичення мертвих органічних залишків. Так для листяних і широколистяних лісів загальна річна кількість опадання становить 50-70 ц/га, проте в окремих випадках, наприклад, в осикових лісах, кількість опадання значно вища і досягає 130 ц/га, що пояснюється вмістом значної кількості саме деревних залишків – так званий відпад – неліквідна деревина, стовбури, великі гілки. Не можна допускати, щоб корисна сировина спалювалась або згнивала. Все це теж необхідно використовувати як паливо.

Ми проаналізували основні способи утилізації відходів деревообробки та лісозаготівлі – безпосереднє спалювання з отриманням теплової енергії і газифікацію з виробленням електричної і теплової енергії. Сучасні газогенератори виявилися ефективнішими не лише з точки зору отримання енергії, а й впливу на навколишнє середовище. Отримання електроенергії в установках безпосереднього спалювання відходів не має практичної цінності через низький ККД та низку інших проблем. Газогенератори дають досить ефективне паливо для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), двигунів Стерлінга або невеликих турбін, які забезпечують досить високу рентабельність вироблення електроенергії.