

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЩЕТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ, УЛУЧШАЮЩЕЙ УСЛОВИЯ ТРУДА, НА СВОЙСТВА НАПЫЛЯЕМОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ

Лузан С.О. д.т.н., проф., Кириенко Н.М. к.т.н., доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка*

*Установлено, что щеточная обработка повышает прочность сцепления газопламенного покрытия ПГ-10Н-01, снижает пористость и уровень остаточных напряжений растяжения, повышает его износостойкость. Определена зависимость скорости изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 от скорости вращения металлической щетки.*

Введение. 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 [1–4].

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].

Одним из путей решения этой проблемы – применение современных технологий нанесения защитных покрытий, таких как газопламенное и плазменное напыление.

Анализ публикаций и исследований. Анализ существующих методов газотермического нанесения покрытий показал, что все они имеют как достоинства, так и недостатки [5]. Одним из наиболее эффективных методов нанесения износостойких металлических покрытий на детали машин является газопламенное напыление. Основными его достоинствами являются компактность, простота и мобильность используемого оборудования, что позволяет производить работы по восстановлению или упрочнению деталей непосредственно у заказчика. Однако, наряду с достоинствами, способ имеет и недостатки: невысокую прочность сцепления покрытия с основой, достаточно высокий уровень остаточных напряжений, пористость, которые существенно

ограничивают область его применения.

Уменьшить или устранить указанные недостатки возможно путем совершенствования технологии нанесения покрытий, подготовки напыляемой поверхности и дополнительным воздействием на напыляемое покрытие, как в процессе напыления, так и после него.

Усовершенствованию способов газотермического напыления посвященные работы В.Н. Коржа, С.В. Петрова, А.Ф. Пузрякова, Ю.А. Харламова, К.А. Ющенко и других авторов [6-10].

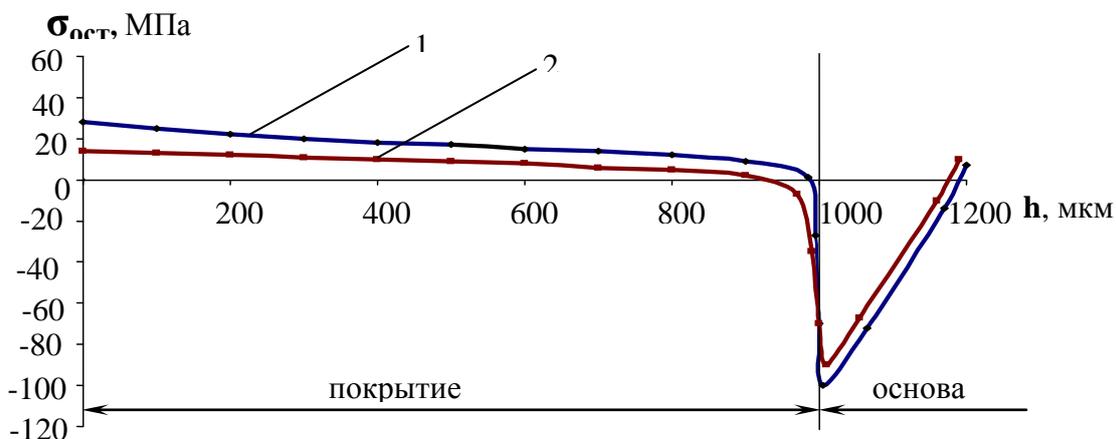
По данным исследований [11,12], износ поверхностей деталей тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин распределяется примерно следующим образом: цилиндрические – 52%; конические и сферические – 3%; шлицы – 3%; пазы, канавки, лыски – 5%; резьбы – 10%; плоские поверхности – 1%; зубья шестерен – 2%; профильные, фасонные поверхности – 1%; трещины и изломы – 9%; нарушения геометрической формы – 13%.

Необходимо отметить, что наибольшее число деталей (около 83%) имеет износ до 0,6 мм [12]. Из них износ до 0,1 мм – 52%, до 0,2 – 12%, до 0,3 – 10%, до 0,4 – 1%, до 0,5 – 5% и до 0,6 – 3%, что соответствует технологическим возможностям газопламенного способа нанесения покрытий.

Поэтому проблема повышения качества напыляемых покрытий, в том числе прочности сцепления и его износостойкости, является актуальной.

Цель исследования. Установить влияние параметров щеточной обработки напыляемой поверхности детали и покрытия на его свойства: прочность сцепления покрытия с основой, пористость, уровень остаточных напряжений и износостойкость.

Результаты исследования. Результаты исследования распределения остаточных напряжений в газопламенном покрытии и стальной основе при использовании щеточной обработки ( $n=2100$  об/мин,  $N=3$  мм,  $d_i=0,8$  мм и  $l_i=40$  мм) показали, что уровень растягивающих остаточных напряжений в покрытии снизился. Например, в слое расположенном на расстоянии от поверхности основы 0,5 мм с 20 до 10 МПа (рис. 1).



1 – струйно-абразивная; 2 – щеточная обработки

Рис. 1 – Распределение остаточных напряжений в покрытии ПГ-10Н-01 и основе – сталь 45

Кроме того, влияние такой обработки распространяется и на переходную зону покрытие-подложка. В покрытии со стороны подложки величина напряжений сжатия снижается со 110 до 80 МПа, что объясняется пластической деформацией при обработке. Перераспределение и снижение напряжений приводит к существенному повышению прочности газотермического покрытия с 50 до 75 МПа. Повышение скорости обработки до 2100 об/мин способствует снижению максимальных напряжений растяжения в покрытии на 20–40 % (рис. 2).

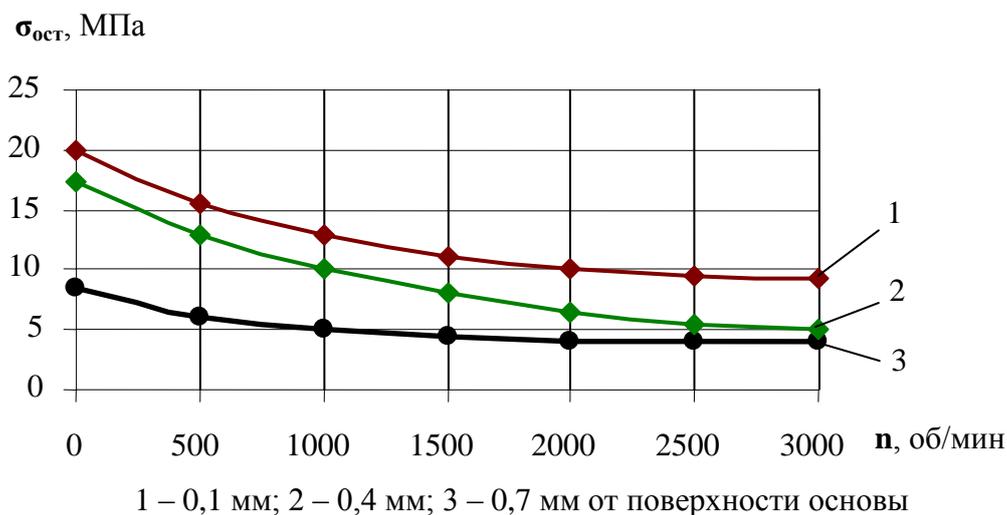


Рис. 2 – Изменение остаточных напряжений в покрытии ПГ-10Н-01 в зависимости от скорости вращения щетки при натяге 3 мм

Ранее проведенными исследованиями были установлены зависимости прочности сцепления покрытия от скорости вращения щетки и свободной длины игл (рис. 3) [13]. Из анализа рисунка видно, что есть точка максимума прочности сцепления покрытия с основой, зависящая от скорости вращения щетки и свободно длины игл, которая составляет 28 МПа.

Результаты исследований влияния скорости обработки и натяга на пористость представлены на рис. 4.

С увеличением натяга до 3 мм и скорости вращения щетки до 2100 об/мин пористость снижается, дальнейшее увеличение натяга приводит к изгибу игл, а увеличение скорости вращения приводит к зализыванию слоев. Максимальное уменьшение пористости покрытий с 18% до 8% наблюдается при  $N=3$ мм и  $n=2100$  об/мин (рис. 4).

В монографии [4] приведены результаты работы по нормированию скоростей изнашивания типовых деталей шасси колесных тракторов класса 30 кН. Однако, использовать имеющиеся сведения о скоростях изнашивания деталей, установленных на основе статистических данных по наработке, для оценки износостойкости напыляемых покрытий не представляется возможным, поскольку они не привязаны к определенной наработке машин, а представляют собой обобщенную характеристику, полученную на основе выборок с наработкой от 3,0 до 10,0 тыс. ч.

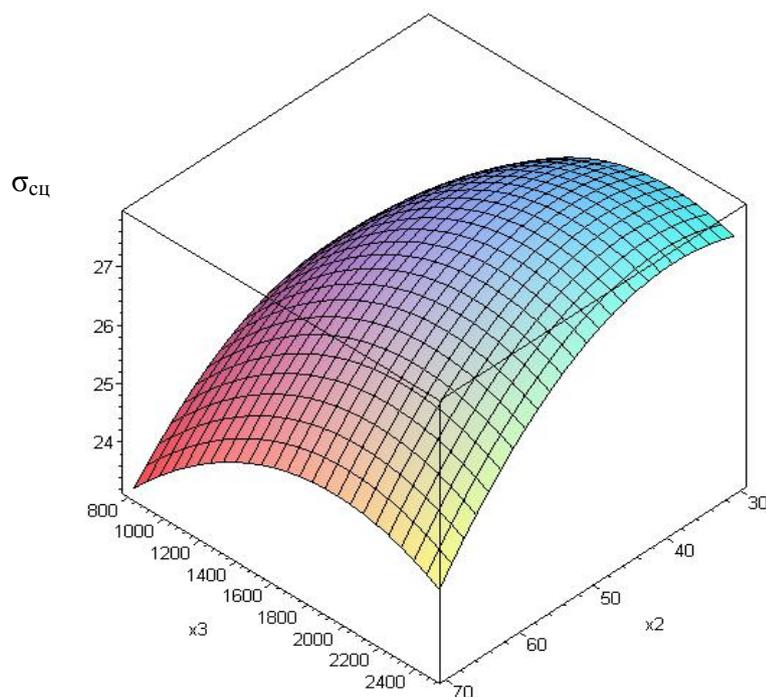


Рис. 3 – Зависимость прочности сцепления покрытия с основой от скорости вращения щётки  $x_3$  и свободной длины игл  $x_2$  при оптимальных значениях диаметра  $x_1=0,78$  мм и плотности расположения игл  $x_4=32$  шт/см<sup>2</sup>.

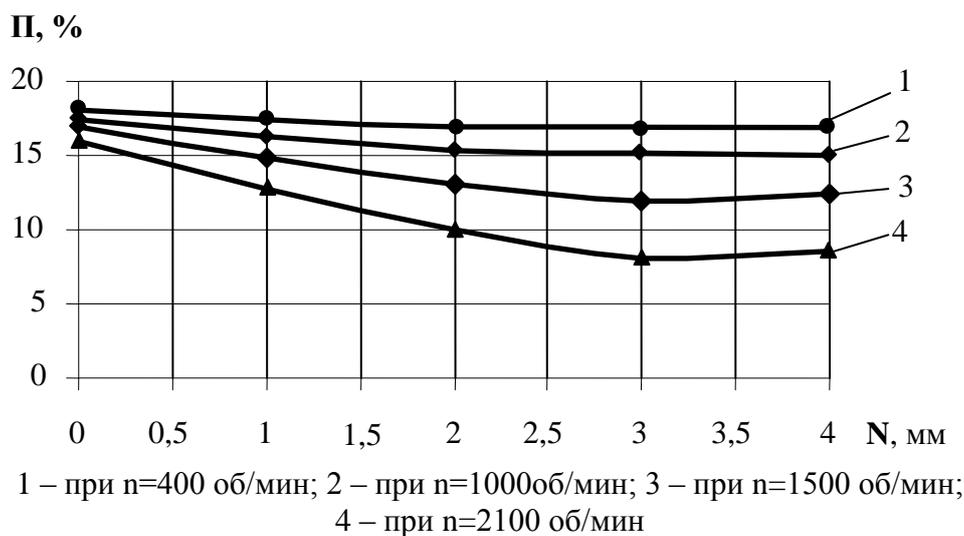


Рис. 4 – Влияние натяга и скорости вращения щетки на пористость газопламенного покрытия

Следует также отметить, что часть деталей машин работает под нагрузкой с перерывами и поэтому наработка этих деталей под нагрузкой значительно меньше наработки машины в целом. Оценка скоростей изнашивания, вычисленная по наработке машины, является условной и для таких деталей не может рассматриваться как характеристика фактической износостойкости рабочей поверхности детали.

Поэтому сравнительную оценку износостойкости поверхности, напыленной газопламенным методом, производили по средней скорости изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 и стали 45.

Для определения средней скорости изнашивания напыленного покрытия были выполнены исследовательские работы по определению величины износа от наработки сопряжения. Сравнительные испытания по изнашиванию газопламенных покрытий проводили на машине трения типа МИ по схеме диск-колодка в среде индустриального масла марки И-20 при следующих режимах: средняя окружная скорость скольжения 0,42 м/с, удельное давление на колодку при нормальном механохимическом процессе изнашивания составляло 8,0 МПа, площадь поверхности трения 1,8 см<sup>2</sup>. Диски и колодки изготавливали из стали 45, покрытие напылялось на диск, колодки подвергались термообработке (закалка и отпуск) до твердости HRC 52. Оценку величины линейного износа производили по формуле

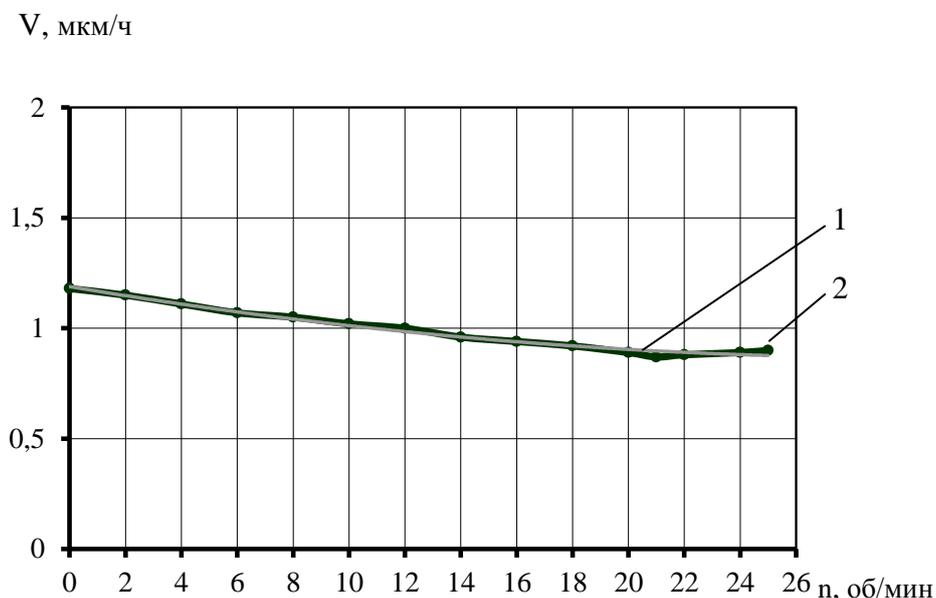
$$I = \frac{\Delta G}{\gamma \cdot F}, \quad (1)$$

где  $\Delta G$  – изменение массы образца при испытании, кг;

$\gamma$  – плотность изношенного материала, кг·м<sup>3</sup>;

$F$  – площадь контакта образцов, м<sup>2</sup>

На рис. 5 представлена зависимость скорости изнашивания газопламенного покрытия ПГ-10Н-01 от скорости вращения металлической щетки.



1 – аппроксимирующая, 2 – экспериментальная кривые

Рис.5 – Скорость изнашивания газопламенного покрытия ПГ-10Н-01 в зависимости от скорости вращения металлической щетки

Из анализа зависимости, представленной на рис. 5, видно, что щеточная обработка уменьшает скорость изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 в 1,35 по сравнению с покрытием, напыленным по традиционной технологии. Максимальное снижение скорости изнашивания достигается при скорости вращения щетки 2100 об/мин. Повышение износостойкости газопламенных

покрытий, напыленных с применением щёточной обработки, объясняется увеличением прочности сцепления, снижением его пористости и уровня напряжений растяжения.

В результате аппроксимации экспериментальной кривой, получили теоретическую зависимость скорости изнашивания ( $V$ ) покрытия ПГ-10Н-01 от скорости вращения металлической щетки ( $n$ ), которая представляет полиномиальную функцию второй степени:

$$V_1 = 0,0003n^2 - 0,0211n + 1,1887, \quad (2)$$

Полученное уравнение позволяет прогнозировать скорость изнашивания газопламенных покрытий ПГ-10Н-01, напыленных газопламенным способом с применением щёточной обработкой и соответственно определять толщину покрытия, обеспечивающую заданный ресурс детали [14].

**Выводы.** На основе исследований влияния параметров щеточной обработки напыляемой поверхности детали и покрытия на его свойства определено, что щеточная обработка повышает прочность сцепления газопламенного покрытия ПГ-10Н-01, снижает пористость и уровень остаточных напряжений растяжения, повышает его износостойкость.

Установлена теоретическая зависимость скорости изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 от скорости щеточной обработки, что позволяет определить необходимую толщину покрытия, обеспечивающую заданный ресурс.

## Список литературы

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): [учебник] / Гаркунов Д. Н. – М. : МСХА, 2002. – 632 с.
2. Хебды М., Теоретические основы. Справочник по триботехнике в трех томах / М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1989. – Т. 1. – 400 с.
3. Чичинадзе А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Чичинадзе А. В. – М. : Центр «Наука и техника», 1995. – 284 с.
4. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов / Кухтов В. Г. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 292 с.
5. Лузан С.А. Совершенствование метода газопламенного нанесения покрытий // Сборник докладов 7-ой Международной конференции ОТТОМ-7. Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. Том III. - Харьков: ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст», 2006. – С. 182-183.
6. Харламов Ю. А. Перспективы развития технологии газотермического напыления / Ю. А. Харламов, Н. А. Будагьянц // Сборник докладов 3-й Международной конференции ОТТОМ-3 «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов». Часть 2. –

- Харьков : ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст». – 2002. – С. 125-133.
7. Інженерія поверхні: підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. - Київ: Наукова думка, 2007. – 559 с.
  8. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: / А. Ф. Пузряков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 360 с.
  9. Петров С. В. Повышение качества плазменных покрытий. / С. В. Петров // Сварочное производство. – 2005. - № 5. - С. 48-50, 63, 64.
  10. Тодоров П. П. Технология плазменного напыления деталей тракторов с применением воздуха / П. П. Тодоров, С. А. Лузан // Технологические системы. – 2001. – № 1. – С. 5-7.
  11. Шамко В. К. Технология ремонта деталей сельскохозяйственной техники Шамко В. К., Гуревич В. Л., Захаренко Г. Д. – Минск: Урожай, 1988. – 152 с.
  12. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Воловик Е. Л. – М. : Колос, 1981. – 351 с.
  13. Полянский А.С., Лузан С.А., Дерябкина Е.С. Определение оптимальной скорости обработки поверхности и параметров иглофрезы, обеспечивающих максимальную прочность сцепления газопламенных покрытий // Зб. наук. праць "Праці Таврійського державного агротехнологічного університету". Вип. 10: Том 5. - 2010. - С. 111-118.
  14. Лузан С.О. Нормування швидкості зношування і методика визначення товщини відновлювального покриття деталей засобів транспорту / С.О. Лузан // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 139. – С. 51-57.

## **Анотація**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЩІТКОВОЇ ОБРОБКИ, ЯКА ПОЛІПШУЄ УМОВИ ПРАЦІ, НА ВЛАСТИВОСТІ НАПИЛЮВАНОВОГО ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ**

Лузан С. О. д. т. н., проф., Кірієнко М.М. к.т.н., доц.

*Встановлено, що щіткова обробка підвищує міцність зчеплення газополуменового покриття ПГ-10Н-01, знижує пористість і рівень залишкових напружень розтягу, підвищує його зносостійкість. Визначено залежність швидкості зношування покриття ПГ-10Н-01 від швидкості обертання металеві щітки.*

## **Abstract**

### **THE STUDY OF THE INFLUENCE THE BRUSH HANDLE, IMPROVING WORKING CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF SPRAYED WEAR RESISTANT COATING**

Luzan S. d.t.s., prof., Kiriienko N. k.t.s., dos.

*It is established that the brush treatment increases the adhesion strength of gasoflame coating PG-10N-01, reduces porosity and level of residual tensile stresses, increases its durability. Determined the dependence of the wear rate of the coating PG-10N-01 from speed metal brush.*