

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ (ЧАСТИЦАМИ ФУЛЛЕРЕНОВОЙ САЖИ)**

**Босяков А.В.<sup>1</sup>, Ванюк Э.А.<sup>1</sup>, Соколов И.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Белорусский Национальный Технический Университет

<sup>2</sup> УО «Республиканский институт профессионального образования»

По мере повышения скоростей перемещения узлов и механизмов, увеличения их размеров и повышения производительности оборудования, их условия работы становятся более тяжелыми. Выход из строя оборудования происходит по причине износа деталей узлов трения.

Долговечность деталей с упрочняющими покрытиями повышается в несколько раз по сравнению с серийно изготовленными, а это обеспечивает высокую надежность и увеличивает срок эксплуатации машин и технологического оборудования. Повышение износостойкости и антифрикционных свойств поверхностей трения актуально для многих отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, на замену которых ежегодно расходуются огромные средства. В зависимости от назначения, все покрытия, получаемые с помощью газотермического напыления должны обладать рядом стандартных свойств, к которым относятся: прочность сцепления нанесенного слоя с деталью, твердость, износостойкость и жаростойкость, плотность и пористость, коррозионная стойкость.

Цель исследования заключается в том, чтобы понять, как влияет добавление нанокремниевых компонентов в защитные покрытия, на микротвёрдость поверхности.

Газотермическое напыление используется для получения износостойких, коррозионностойких, жаропрочных, теплоизоляционных и других покрытий. Газотермическое напыление определено как получение покрытия из нагретых и ускоренных с применением высокотемпературной газовой струи частиц напыляемого материала, при соударении которых с деталью или напыленным материалом происходит их соединение путем металлургического взаимодействия и механического сцепления [1].

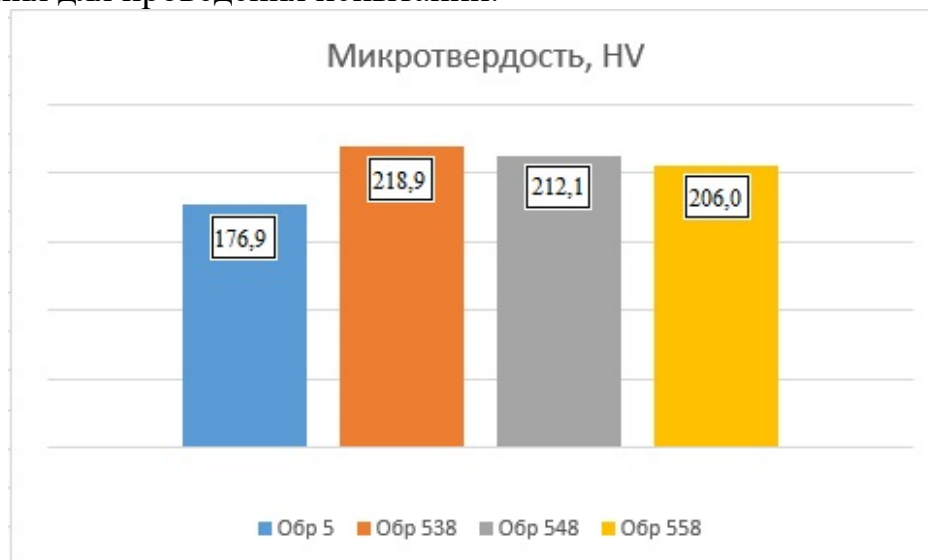
Производилось газотермическое напыление по предварительно подготовленной дробеструйной обработкой поверхности [3, 4]. Для газопламенного напыления порошков использовалась установка ТРУ-БПИ. [5]

Для измерений использовали твердомер Duramin Struers. Данное оборудование оснащено автоматическим нагружением индентора, выдержкой и разгрузкой, автоматическим тестированием нагрузок исключают отклонения в течении проведения измерений. Используемый твердомер представляет

современную технологию и соответствует действующим нормам и стандартам. Измерение микротвердости производилось по 25 точкам.

На основе анализа и теоретических исследований были выбраны материалы для формирования композиционных газотермических покрытий.

Изготовлены образцы для проведения исследований физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик композиционных покрытий, приспособления для проведения испытаний.



5 – покрытие из бронзы ПГ-19М-01 (основа Cu; 4% Fe; 8,5-10,5% Al) без добавок; 538 - покрытие из бронзы ПГ-19М-01 (основа Cu; 4% Fe; 8,5-10,5% Al) с добавкой масс. 0,1% фуллереновой сажи; 548 - покрытие из бронзы ПГ-19М-01 (основа Cu; 4% Fe; 8,5-10,5% Al) с добавкой масс. 0,5% фуллереновой сажи; 558 - покрытие из бронзы ПГ-19М-01 (основа Cu; 4% Fe; 8,5-10,5% Al) с добавкой масс. 1% фуллереновой сажи

Рисунок 1 – Гистограмма средних значений микротвердости образцов бронзы ПГ-19М-01

Результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимость микротвердости покрытий из бронзы ПГ-19М-01 от содержания нанокремниевых компонентов фуллереновой сажи, которая позволила установить повышение микротвердости в 1,24 раза у покрытий из бронзы ПГ-19М-01 с добавкой масс. 0,1% компонентов фуллереновой сажи, в 1,20 раза у покрытий из бронзы ПГ-19М-01 с добавкой масс. 0,5% компонентов фуллереновой сажи, в 1,17 раза у покрытий из бронзы ПГ-19М-01 с добавкой масс. 1% компонентов фуллереновой сажи.

1. Черноиванов В.И. и др. / Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Т. В. Бухаркина, Н. Г. Дигуров.. Химия природных энергоносителей и углеродных материалов / — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1999. — 195 с.

3. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672с.
4. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь [и др.]. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.
5. Газопламенное напыление и металлизация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecm-zink.ru/info/stati/gazoplammenoe-napylenie-i-metallizacziya.html>. Дата доступа: 30.10.2021.

**УДК 621.91.04**

## **АНАЛИЗ СХЕМ ТОЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ С РЕГУЛЯРНЫМ ПРОФИЛЕМ**

**Данилов А.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Традиционные схемы обработки некруглых цилиндрических и конических поверхностей с регулярным профилем основаны на сообщении инструменту (резцу, фрезе или др.) возвратно-поступательного движения, согласованного с вращением заготовки. Поэтому обработанная поверхность имеет регулярный профиль с равномерно расположенными по окружности выступами, количество которых равно отношению частот указанных движений. Недостатком таких схем обработки является наличие возвратно-поступательного движения инструмента, что отрицательно влияет на условия работы механизмов станка, точность и производительность обработки. В большей степени этот недостаток проявляется при некруглом точении призматическим резцом из-за совмещения движений профилирования и резания. Поэтому более эффективны схемы обработки поверхностей с регулярным профилем без возвратно-поступательного движения инструмента. К ним относится схема точения установленным с эксцентриситетом  $e$  относительно оси вращения круглым резцом (а.с. 982845 СССР), частота  $n_2$  вращения  $B_2$  которого (рисунок 1 а) в  $m$  раз больше частоты  $n_1$  вращения  $B_1$  заготовки  $I$ , где  $m$  – число выступов формируемого профиля, что ухудшает условия резания по сравнению с точением круглых поверхностей.

Указанное соотношение частот вращения заготовки и резца обуславливает повышенную скорость результирующего движения резания  $v$ , которая в рассматриваемой схеме равна геометрической сумме окружных скоростей вращения заготовки, тангенциального (вращательного) движения резца и движения подачи. Без учета (из-за малости) скорости движения подачи  $v = 2\pi n_1 \sqrt{r^2 + (m(R + e))^2}$  (1), где  $R$  – радиус круглого резца;  $r$  – радиус вписанной в формируемый профиль окружности, а расчетная частота вращения заготовки при заданной скорости резания  $v$  составляет