

Благодаря снижению трудоемкости металлорежущего оборудования, уменьшению размера заготовки на 54,5 %, подбору оборудования для полугорячей объемной штамповки исходя из проведенного моделирования операции выдавливания и полученного графика усилия обработки заготовки, будет достигнута ежегодная экономия металла в 22 тонны.

УДК 621.793

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БРОНЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

*Босяков А. В., Ванюк Э. А., Сокоров И. О.*

*1 – Белорусский национальный технический университет*

*e-mail: eduard.vanyuk@gmail.com*

*2 – УО «Республиканский институт профессионального образования»*

*e-mail: sokorov@yandex.ru*

**Summary.** *The article analyzes the results of studies of microhardness of gas-thermal composite coatings based on bronze modified with nanocarbon components, in connection with which the hypothesis was put forward that modification of composite coatings with graphite and nanocarbon components can improve their physical and mechanical properties.*

В современном промышленном мире все больше узлов и агрегатов машин и механизмов работают в условиях постоянно возрастающих скоростей и нагрузок, которые ужесточают требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности, к свойствам рабочих поверхностей деталей.

Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами ограничено, т. к. они являются импортными для нашей страны и малоэффективными из-за высокой стоимости. Одним из важнейших путей решения этой задачи является нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности изношенных деталей.

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.

С помощью напыления можно создавать надежную защиту поверхностей деталей машин и конструкций. Кроме того, способы напыления позволяют восстанавливать дорогостоящие детали с относительно небольшими затратами материала, времени и денежных средств, что дает значительный экономический эффект.

Целью работы является исследование микротвердости газотермических композиционных покрытий на основе бронзы, модифицированных нанокремнеземными компонентами.

Газотермическое напыление используется для получения износостойких, коррозионноустойчивых, жаропрочных, теплоизоляционных и других покрытий.

Газотермические методы формирования покрытий заключаются в нагреве исходного материала покрытия до жидкого или пластичного состояния и его распылении газовой струей. Напыляемый материал поступает на обрабатываемую поверхность в виде потока жидких капель или пластифицированных частиц, которые при соударении закрепляются на поверхности детали, образуя покрытие. Достоинством этих методов является возможность нанесения широкого спектра материалов с различными температурами плавления на поверхности различной сложности, формы и размеров [1].

В работе проанализированы современные нанокремнеземные материалы (Конструкционные наноматериалы; Аллотропные модификации углерода; Аморфный углерод; Фуллереноподобные материалы; Фуллерены и фуллериты, Дуговая фуллеренсодержа-

щая сажа как новый углеродный материал; Фуллереновая чернь; Углеродные нанотрубки и графеновые нановолокна; Наноалмазы) [2].

Выбраны методики и оборудования для подготовки образцов и проведения исследований. Подготовка поверхности перед напылением производилась дробеструйной обработкой [3, 4]. Для газопламенного напыления порошков использовалась установка ТРУ–2.1.Р [5].

Для измерений использовали твердомер DuraJet фирмы Struers (Дания, 2013 год ввода в эксплуатацию). Данное оборудование оснащено автоматическим нагружением индентора, выдержкой и разгрузкой, автоматическим тестированием нагрузок, которые исключают отклонения в течении проведения измерений. Используемый твердомер представляет современную технологию и соответствует действующим нормам и стандартам.

Измерение микротвердости производилось по 25 точкам. Результаты определения микротвердости приведены на графиках.

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.

Проанализированы результаты экспериментальных исследований микротвердости в зависимости от процентного содержания графита и наноуглеродных компонентов. При добавлении 0,1 % графита микротвердость образца увеличилась в 1,17 раза, при добавлении 0,5 % увеличилась в 1,37 раза, а при 1 % – в 1,23 раза. При добавлении 0,1 % наноуглеродных компонентов микротвердость образца увеличилась в 1,23 раза, при добавлении 0,5 % увеличилась в 1,2 раза, а при 1 % – в 1,17 раза.

Установлено, что введение наноуглеродных компонентов, а также графита повышает микротвердость у образцов относительно покрытий без модифицирующих компонентов. Также стоит отметить, что при добавлении графита микротвердость становится более высокой, чем при добавлении наноуглеродных компонентов.

#### **Список использованных источников**

1. Ремонт автомобилей. Практический курс / Серия «Библиотека автомобилиста». – Ростов н/Д: «Феникс», 2004. – 512 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. – 672 с.
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/gazoplammennoe-napylenie-i-metallizacziya.html>. Дата доступа: 30.10.2021.