

В результате существенно улучшаются физические, механические, технологические и эксплуатационные характеристики изделий [2]. Способ магнитной обработки инструмента, деталей машин и сборочных единиц, включающий воздействие импульсным магнитным полем с заданными параметрами напряженности, формы и длительности импульса, отличается тем, что предварительно осуществляют нанесение графита на рабочие поверхности изделия, затем проводят объемную МИО.

#### Список цитируемых источников

1. Курепин, М. О. Комбинированная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента / М. О. Курепин, А. Ю. Козлюк, А. Г. Овчаренко. — Технология машиностроения. — 2010. — № 9. — С. 26—29.
2. Способ магнитной обработки инструмента, деталей машин и сборочных единиц : пат. 2153006 Рос. Федерация : C21D1/04 / Б. В. Малыгин, А. К. Первов, В. К. Первов, П. П. Решетников, Х. З. Кавеев ; дата публ.: 20.07.2000.

УДК 621.795

**И. О. Сокоров<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, доцент, **Д. В. Куис<sup>2</sup>**, кандидат технических наук, доцент, **Д. Н. Лобко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ТВЕРДОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Введение.** В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и агрегатов автомобилей работает в тяжелых эксплуатационных условиях (при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках), серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих поверхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами, которые для Республики Беларусь являются статьей импорта, малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно с помощью нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности изношенных деталей.

Проблема повышения надежности машин и оборудования в условиях интенсификации производства и энерго- и ресурсосбережения ставит задачу создания новых технологических процессов и применения новых материалов.

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.

Для получения покрытий в настоящее время используют широкую гамму материалов: черные и цветные металлы, сплавы, керамика, композиционные материалы на различной основе. Выбор конкретного материала из столь широкой номенклатуры определяется как требуемыми эксплуатационными параметрами упрочняемой поверхности, так и экономическими соображениями. Как известно, при газотермическом нанесении покрытий затраты на материал обычно являются основной статьей расходов. Поэтому в настоящее время активно ведется разработка новых материалов, обладающих низкой стоимостью при высоком уровне обеспечиваемых свойств.

Для решения вопросов защиты поверхности деталей от абразивного, коррозионного, механического износа и износа при трении скольжения, высокотемпературной газовой коррозии, а также для ремонта с одновременным повышением эксплуатационных свойств поверхности нашли широкое применение защитные покрытия, наносимые различными методами газотермического напыления. С помощью напыления можно создавать надежную защиту поверхностей изготовленных деталей машин и крупных стальных конструкций. Кроме того, способы напыления позволяют восстанавливать дорогостоящие детали с относительно небольшими затратами материала, времени и денежных средств, что дает значительную экономию металла.

Особым случаем применения покрытий являются износостойкие покрытия системы Ni-Cr-B-Si, в том числе композиции из них. Такие покрытия позволяют не только увеличить ресурс работы машины и восстановить изношенные детали, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Покрытия на основе Ni-Cr-B-Si обладают высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически активным средам, имеют достаточно высокую рабочую температуру [1—4].

Наибольшее распространение в практике восстановительно-упрочняющих технологий получили самофлюсующиеся порошки. Самофлюсующимися их называют потому, что они могут быть оплавлены в окислительной или нейтральной атмосфере в плотное, беспористое покрытие благодаря раскисляющему действию бора, кремния и некоторых других элементов [1—4].

Выбор материалов для напыления является одним из важнейших этапов в процессе нанесения покрытия и производится в зависимости от свойств поверхности, которые нужно получить. Для обеспечения максимальной твердости и износостойкости при минимальной пористости покрытий наилучшими материалами для напыления являются самофлюсующиеся сплавы.

Использование современных конструкционных материалов обычно ограничивается тем, что увеличение прочности приводит к снижению пластичности. Данные по нанокompозитам показывают, что уменьшение структурных элементов и более глубокое изучение физики деформационных процессов, которые определяют пластичность наноструктурных материалов, могут привести к созданию новых типов материалов, сочетающих высокие прочность и пластичность.

**Основная часть.** Для исследования влияния нанокompозитных компонентов на свойства газотермических покрытий были выбраны материалы (образцы с нанокompозитными компонентами – «1+») (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Образцы из порошков самофлюсующихся сплавов

Номер образца	Марка порошка	Химический состав	Номер образца с углеродом (2%)
1	ПГ-СР4	Основа Ni; 13...17% Cr; 0,6...1% C; 3...5% Si; 2,5...4% B; 4% Fe	1+
2	ПР-БрОНСР	Основа Cu; 8% Sn; 5% Ni; 1% Si; 1% B	2+
3	ПН-НД-42	Основа Ni-Cu; 42,5% Cu; 0,2% C; 0,9% Si; 1% B; до 4% Fe	3+
4	ПР-Х4ГСР	Основа Fe; 3,8% Cr; 1,2% C; 2,5% Si; 2,2% B; 0,5% Cu	4+
5	ПГ-19М-01	Основа Cu; 4% Fe; 8,5...10,5% Al	5+
6	ПТ-ЮНХ16СР3	Основа Ni; 16% Cr; 0,7% C; 3,2% Si; 2,6% B; 1,2% Al	6+

Для измерений использовали твердомер DuraJet (рисунок 1) фирмы Struers (Дания, 2013 год ввода в эксплуатацию). Данное оборудование оснащено автоматическим нагружением индентора, выдержкой и разгрузкой, автоматическим тестированием нагрузок, которые исключают отклонения в течение проведения измерений. Используемый твердомер представляет современную технологию и соответствует действующим нормам и стандартам. Испытания проводились по стандартной методике. Использовался метод Роквелла (шкала В, С). Представим результаты испытаний твердости исследуемых образцов покрытий (рисунок 2).



Рисунок 1 — Твердомер DuraJet

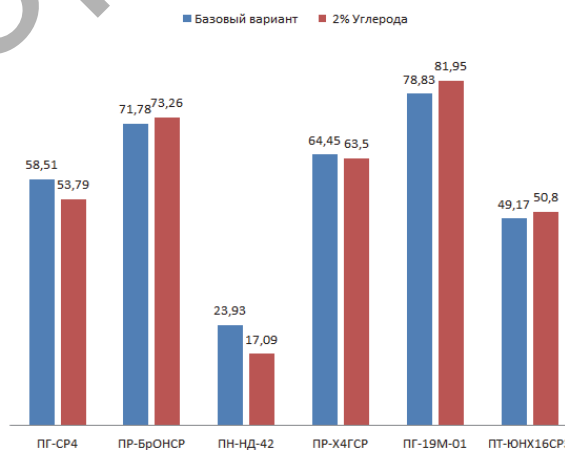


Рисунок 2 — Диаграмма результатов определения твердости экспериментальных образцов

**Заключение.** Как видно из диаграммы, у образца под маркой порошка ПН-НД-42 самый низкий показатель твердости, который был определен по шкале *HRB*. Материал используется для напыления и наплавки покрытий, стойких против коррозии, к изнашиванию трением и абразивными частицами. Установлено, что введение 2% фуллеренсодержащей сажи в состав покрытий на основе меди повышает твердость в среднем на 5 единиц *HR*. Однако во всех остальных случаях твердость не снижается либо снижается незначительно (в среднем на 5 единиц *HR*). Вероятно, это связано с присутствием углерода в структуре покрытия в свободном виде, что, в свою очередь, предполагает повышение антифрикционных свойств.

#### Список цитируемых источников

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П. А. Витязь [и др.]. — Минск : Беларус. навука, 1998. — 583 с.
2. Ивашико, В. С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В. С. Ивашико, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. — Минск : Навука і тэхніка, 1996. — 375 с.
3. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь [и др.]. — Минск : Навука і тэхніка, 1993. — 295 с.
4. Кардаполова, М. А. Влияние режимов лазерной обработки на микроструктуру самофлюсующихся сплавов / М. А. Кардаполова, Н. В. Спиридонов, О. Н. Статкевич // Машиностроение. — Вып. 10. — Минск : Выш. шк., 1984. — С. 120—123.

УДК 621.795

**И. О. Соколов<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, доцент, **Д. В. Куис<sup>2</sup>**, кандидат технических наук, доцент,  
**Д. Н. Лобко<sup>1</sup>**, **С. А. Гуринович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Введение.** Борьба с изнашиванием и коррозией осложнена тем, что использование объемно-легированных материалов, являвшееся в последнее столетие основным способом решения этой задачи, становится все более проблематичным из-за истощения запасов легирующих элементов. Кроме того, по мере развития и совершенствования техники постоянно растут требования к орудиям труда и условиям их эксплуатации (повышение скоростей, температуры, нагрузок, агрессивности среды, уменьшение массы и др.). Применение традиционных конструкционных материалов уже не в состоянии в ряде случаев удовлетворить комплекс этих требований. В связи с этим экономически и технически целесообразно развивать принципиально новый подход к выбору материалов уже на стадии проектирования. Механическая прочность детали гарантируется за счет применения одного материала, а специальные свойства поверхности обеспечиваются сплошным или локальным формированием на ней тонких слоев других материалов-покрытий. В результате обеспечивается повышенная долговечность детали, сочетающаяся с экономией легирующих элементов, удешевлением изделий.

Вышесказанное объясняет возрастающий интерес к проблеме защитных покрытий, определяет значение разработки и практического применения технологии покрытий различного назначения в современных условиях.

**Основная часть.** Для проводимых исследований в качестве порошковых материалов были выбраны зарекомендовавшие себя марки порошков ПГ-СР4, ПР-БрОНСР, ПН-НД42, ПР-Х4ГСР, ПГ-19М-01, ПТ-ЮНХ16СР3 как базовые, влияние модифицирующих наноконпонентов оценивалось за счет добавления в базовые порошковые материалы наноконпонентов (1...2%) механическим перемешиванием.

Исследование фазового состава и определение параметров тонкой структуры проводилось на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (рисунок 1).

Представим результаты фазового состава всех исследуемых композиций с наложением линий рентгенограмм образцов с наноконпонентами на базовые образцы (рисунок 2). Красная шкала показывает результаты образцов с наноконпонентами, а черная — исходных образцов.



Рисунок 1 — Рентгеновский дифрактометр D8 Advance (“Bruker”, Германия)

Исследование влияния наноконпонентов на изменение фазового состава изучаемых покрытий позволило установить, что введение 2% наноконпонентов в состав композиционных порошков, использованных для модификации покрытий, не может привести к рентгеноструктурным изменениям, учитывая то, что чувствительность рентгеноструктурного метода — на уровне 5%.

На формирование структуры покрытий существенно влияют режимы термической обработки (оплавления). Если покрытие не прогрето, тогда напыленный порошок не успевает проплавляться, микроструктура его характеризуется высокой пористостью, большинство частиц сохраняет исходную структуру. Визуальный контроль температуры при оплавлении не позволяет строго выдерживать режимы оплавления. Перегрев может приводить к росту зерен боридов, которые разрастаются в виде разветвленных розеток, укрупнению зерен карбидов, входящих в состав эвтектик, к увеличению структурной неоднородности покрытия хрома, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных свойствах.