

ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ НАПЫЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Соков И.О., Куис Д.В., Ванюк Э.А., Лобко Д.Н., Серая А.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости поверхностей деталей машин актуально для различных отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, подвергающихся интенсивным нагрузкам и на замену которых ежегодно расходуются значительные средства.

В настоящее время известна большая группа материалов, обладающих высокими износостойкостью, коррозионной стойкостью и др. свойствами, но слабо вступающими во взаимодействие с основой. Из антифрикционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами известны баббиты, самофлюсующиеся сплавы на основе железа, никеля, меди и др. Но метод их нанесения достаточно трудоемкий и энергозатратный. Повышение долговечности деталей машин путем применения защитных покрытий позволяет значительно уменьшить затраты на изготовление запасных частей и ремонтные работы. При нанесении композиционных функциональных покрытий можно достигать в большинстве случаев многократного повышения ресурса быстроизнашивающихся деталей. Поэтому исследование и разработка новых материалов с применением нанокластерных компонентов и способов формирования покрытий из них, значительно расширяющих номенклатуру упрочняемых деталей за счет повышения прочности сцепления с основой и их физико-механических свойств, является актуальной задачей.

Для повышения физико-механических свойств газотермических покрытий перспективным является модифицирование их нанокластерными компонентами, в частности, модификация углерода – фуллерены.

Однако, несмотря на обнадеживающие результаты многих поисковых исследований, сейчас нет промышленных производств и технологий, в которых бы широко применялись фуллерены, т.к. они по-прежнему очень дороги и под словом фуллерен обычно имеют в виду чистый C_{60} и C_{70} , в крайнем случае, смесь фуллеренов, забывая о высших фуллеренах и других углеродных нанокластерных образованиях.

Поэтому, не менее интересным материалом, чем чистые фуллерены, является дуговая углеродная сажа. В такой саже кроме фуллеренов имеются другие нанокластерные углеродные структуры, так что такую сажу называют новым нанокластерным материалом.

Напыление представляет собой процесс нанесения покрытия на поверхность детали с помощью высокотемпературной скоростной струи, содержащей частицы порошка или капли расплавленного напыляемого материала, осаждающиеся на основном металле при ударном столкновении с его поверхностью.

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 изношен-

ные детали, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Покрытия на основе Ni – Cr – В – Si обладают высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически-активным средам, имеют достаточно высокую рабочую температуру.

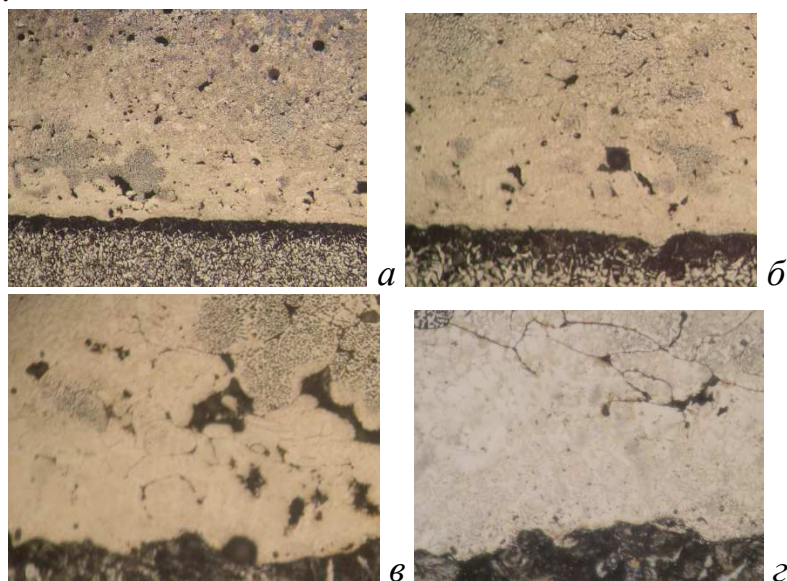
В данной работе предлагается применение метода формирования покрытий: газопламенное и плазменное напыление композиционных покрытий, модифицированных нанокремнеземными компонентами. Достоинством этих методов является возможность нанесения широкого спектра материалов с различными температурами плавления на поверхности различной сложности, формы и размеров.

Для определения влияния количества вводимых нанокремнеземных компонентов в рамках выполнения проекта поэтапно проводились работы по исследованию влияния добавок нанокремнеземных компонентов в количестве 5-10 % на структурное состояние и свойства образцов газотермических композиционных покрытий.

Методами световой и сканирующей микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом, методами измерения твердости было исследовано структурное состояние и показатели механических свойств образцов композиционных газотермических покрытий нанесенных плазменным способом с добавками до 10% фуллереновой сажи без оплавления и с оплавлением.

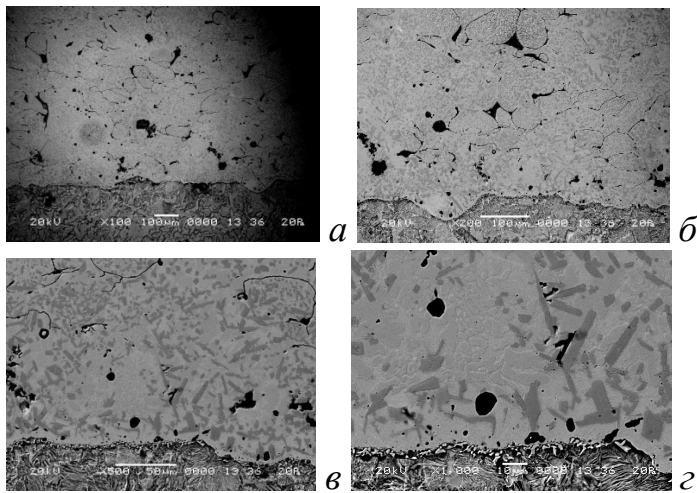
Результаты исследования микроструктуры и тонкой структуры исследуемых образцов в световом и сканирующем электронном микроскопе представлены на рисунках 1-2 (на примере одного образца).

Покрытия после напыления характеризуются гетерогенностью структуры как внутри отдельных частиц, так и по покрытию в целом, что обусловлено технологическими особенностями газотермического напыления (послойное формирование покрытия) и способом ввода модифицирующих нанокремнеземных компонентов (механическая смесь). Такая картина наблюдается при различных режимах напыления и вне зависимости от состава композиционных материалов. Пористость оплавленных покрытий \approx 1-3%, пористость неоплавленных покрытий \approx 5%.



a – $\times 50$; *б* – $\times 100$; *в* – $\times 200$; *z* – $\times 500$

Рисунок 1 – Микроструктура образца № 1Б

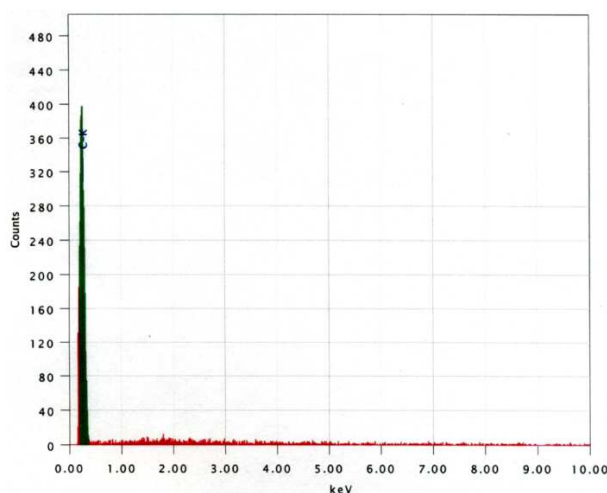


a – $\times 100$; *б* – $\times 200$; *в* – $\times 500$; *г* – $\times 1000$

Рисунок 2 – Микроструктура образца № 1Б

При этом исследования показали, что введение наноструктурированного углерода и самофлюсующихся порошков, позволило уменьшить пористость покрытий. Эти частицы в покрытиях выполняют роль уплотнителя при формировании покрытия и заполняют поры, что определено микрорентгеноспектральным анализом (рисунок 3), которые возникают при использовании «чистого» порошка. Оплавление обеспечивает диффузию углерода в подложку и тем самым формирование упрочненного переходного слоя.

Анализ результатов предварительных исследований влияния наноконпонентов на свойства покрытий показал, что необходимо проводить дальнейшие исследования для сопоставления изменения физико-механических свойств покрытий и их эксплуатационных характеристик, а также влияние массовой доли наноконпонентов как в исходных композициях, так и в полученных композиционных покрытиях на изменение их физико-механических свойств.



Element	mass%
C K	100.00
Total	100.00

Рисунок 3 – Типичный график зависимости Counts-keV по результатам микрорентгеноспектрального EDX анализа в точке с поверхности поры

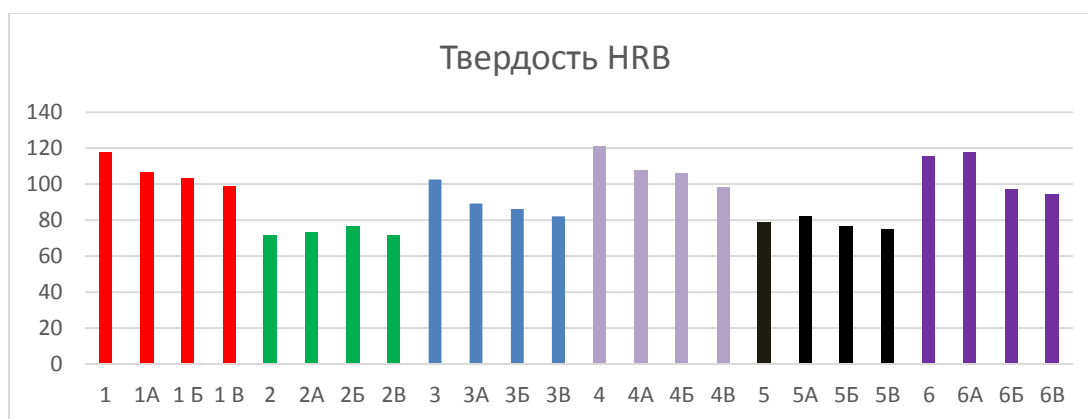


Рисунок 4 – Диаграмма результатов определения твердости образцов покрытий

Установлено, что структура покрытий после напыления характеризуется значительной неоднородностью как внутри отдельных частиц, так и по покрытию в целом. Такая картина наблюдается при различных режимах напыления и вне зависимости от состава композиции. Неравномерность структуры покрытий обусловлена двумя факторами. Во-первых, – неоднородностью исходных частиц, гомогенизация которых в процессе напыления находится в начальной стадии; во-вторых, – разными условиями их кристаллизации. Интенсивность теплоотвода зависит от пористости: частицы, окруженные порами, остывают медленнее, а пористость покрытия неравномерна.

Для плазменного напыления были получены следующие технологические параметры, обеспечивающие максимальную прочность сцепления и износостойкость (сила тока дуги – 240 – 250 А; напряжение – 80 – 85 В; дистанция напыления 170 – 180 мм; расход плазмообразующего газа – 3,0 – 3,5 м³/ч; расход порошка 1,5 – 2,5 кг/ч).

В результате проведенных исследований, определены составы композиционных покрытий, модифицированных нанокремнеземными компонентами, а также технология и режимы их формирования.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильюшенко и др. - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с.
2. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. - Мн.: Навука і тэхніка, 1996. - 375 с.
3. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло и др. – Мн.: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.
4. Кардаполова М.А., Спиридонов Н.В., Статкевич О.Н. Влияние режимов лазерной обработки на микроструктуру самофлюсующихся сплавов //Машиностроение. - Вып. 10. - Минск: Вышэйшая школа, 1984. - С. 120-123.