

увеличением жесткости ткани в диагональном направлении повышается анизотропия ее драпируемости (коэффициент корреляции  $r = 0,83$ ).

Доказано, что информации о жесткости тканей сложных структур не достаточно для прогнозирования их драпируемости, а применение 3D-сканирования с последующей обработкой результатов позволяет получить комплекс показателей, характеризующих драпируемость тканей, которые могут быть использованы для выбора рационального варианта заключительной отделки, в результате которой происходит их умягчение.

УДК 621.793

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

<sup>1</sup>Ванюк Э.А., <sup>1</sup>Соколов И.О., <sup>1</sup>Леванцевич М.А., <sup>2</sup>Газбан Задех Э.Х., <sup>3</sup>Куис Д.В.

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

<sup>2</sup>*ИЧПТУП «Бел Пека Пэйнт»*

*e-mail: ehsanghazbanzadeh@gmail.com*

<sup>3</sup>*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»*

**Summary.** *One of the main tasks in mechanical engineering is to reduce costs and increase the resource of parts of friction units. One of the ways to solve this problem is the application of thermal gas composite coatings. This research was carried out in the "Industrial research laboratory of plasma and laser technologies" (BNTU) to develop the technology for the introduction of nanocarbon components into self-fluxing alloys using thermal composite coatings. As a result, our work showed that the laser reflow of coatings with a 10% addition of nanocarbon components increases the microhardness up to 1.6 times, and also reduces the friction coefficient up to 5 times.*

В современном машиностроении постоянно повышаются требования к надежности и эффективности новых машин и механизмов, ресурсы работы которых во многом зависят от долговечности и безотказности разнообразных узлов трения. Такие узлы трения пытаются изготавливать из дорогостоящих легированных сталей, обработка которых энергозатратна (в Республике Беларусь такие детали являются статьей импорта).

Существуют различные способы повышения ресурса деталей машин в парах трения. Можно использовать втулки и вкладыши, которые участвуют в трибосопряжении с опорными поверхностями валов, однако, такие детали экономически не эффективно восстанавливать традиционными способами (наплавка, пластическая деформация, методы литья). Один из вариантов восстановления трибопары – изготовление новой детали, но здесь возникает дополнительная статья расхода на материал заготовки (отливки, поковок и прокат).

Одной из основных задач в машиностроении для научных работников, технологов и конструкторов является задача снижения затрат и повышение ресурса деталей узлов трения. Одним, если не основным, из способов решения этой задачи является нанесение газотермических композиционных покрытий (ГКП). Но и эта технология уже не новая и разработана еще в 80-х годах прошлого века, но в 90-х годах развитие этой технологии, на постсоветском пространстве, замедлилось. За рубежом данные технологии развивались стремительными темпами и на 2020 год все зарубежные установки снабжены программным обеспечением, что позволяет получать газотермические композиционные покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками (здесь значительную роль также имеют новые порошковые материалы). Поэтому для создания конкуренции на рынке, необходимо

усовершенствовать уже существующие порошковые материалы за счет внедрения новых композиционных материалов, в том числе наноматериалы, к таким материалам можно отнести и фуллерены.

В настоящий момент нет промышленных производств и технологий, в которых бы широко применялись фуллерены, в связи с тем, что они по-прежнему имеют высокую стоимость и под словом фуллерен обычно имеют в виду чистый  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , либо смесь фуллеренов, забывая о том, что есть высшие фуллерены и другие углеродные нанобразования. Интересным заменителем фуллеренам является дуговая углеродная сажа, которая является более дешевым материалом [1, стр. 245]. В такой саже кроме фуллеренов имеются другие нанокластерные углеродные структуры, так что такая сажа называется новым нанокластерным материалом [2, стр. 84].

На базе ОНИЛ «Плазменных и лазерных технологий» (БНТУ) разрабатываются технологии внедрения наноуглеродных компонентов в самофлюсующиеся сплавы и материалы для ГКП.

Проанализированы и выбраны методики и оборудование для подготовки образцов и проведения исследований. Изготовлены образцы, оснастка и приспособления для проведения исследований физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик композиционных покрытий при добавке наноуглеродных компонентов в покрытия системы Ni-Cr-B-Cr, производился анализ изменений структурных составляющих поверхностных слоев, на основании анализа проведенных исследований, выдвинуты предположения о влиянии наноуглеродных компонентов на физико-механические свойства ГКП.

Методами световой микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом, методами измерения микротвердости и триботехнических характеристик были исследованы структурное состояние и показатели механических и триботехнических свойств образцов с разработанными композиционными материалами (до 10% фуллереновой сажи), нанесенных газопламенным способом с лазерным оплавлением.

Исследования показали, что внедрение наноструктурированного углерода снижает пористость покрытий. Микрорентгеноспектральный анализ установил 100% содержание углерода в порах покрытия, которые возникают в этом же порошке без добавок нануглерода. При добавке наноуглеродных компонентов, вероятно, такие частицы выполняют роль уплотнителя.

Исследования показали, что лазерное оплавление покрытий с 10% добавкой наноуглеродных компонентов повышают микротвердость у следующих покрытий: ПГ-СР4 (основной материал) - в 1,4 раза, ПР-Х4ГСР (основной материал) - в 1,3 раза и ПТ-ЮНХ16СР3 (основной материал) - в 1,6 раза.

Результаты исследований на коэффициент трения показали, что внедрение наноуглерода снижает коэффициент трения у образцов следующих композиционных покрытий: ПР-Х4ГСР (основной материал) - в 5 раз, ПГ-19М-01 (основной материал) - в 4,8 раза и ПТ-ЮНХ16СР3 (основной материал) - в 1,7 раза.

### *Литература*

1. С.Д. Куш, Н.С. Куюнко. Фуллереновая чернь: строение, свойства и применение // Журнал общей химии. 2011. Т.81 Вып. 2;
2. Е.А. Грузинская, В.А. Кескинов, М.В. Кескинова, К.Н. Семенов, Н.А. Чарыков. Фуллереновая сажа электродугового синтеза //НАНОСИСТЕМЫ: ФИЗИКА, ХИМИЯ МАТЕМАТИКА, 2012, 3 (6), С. 83-90.
3. Ефремов С. Ю. Повышение ресурса поршневых компрессионных колец при изготовлении сменно-запасных частей в судоремонте: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новгород, 2005. — 19 с.

4. О.П. Горелик, Г.А. Дюжев, Д.В. Новиков, В.М. Ойченко, Г.Н. Фурсей /Кластерная структура частиц фуллерерносодержащей сажи и порошка фуллеренов  $C_{60}$  // Журнал технической физики — 2000. — том 70. — вып. 11. Стр. 118-125.

5. В.Ф. Мастеров, / Физические свойства фуллеренов // Соровский образовательный журнал, — №1 — 1997. Стр. 92-99.

6. В.И. Бородин, В.А. Трухачева / Термическая устойчивость фуллеренов // Письма в ЖТФ, — 2004, — том 30, — вып. 14, Стр. 53-55.

7. Исакаев Э. Х., Гусев В. М., Мордынский В. Б. Повышение ресурса деталей с газотермическими покрытиями нефтепромышленного оборудования // Технология машиностроения. — 2008. — № 12. — С. 18-22.

УДК 621. 74

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОГНЕУПОРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

*ХОУ ЯБО, Николайчик Ю.А.*

*Белорусский национальный технический университет*

*e-mail: yuni@bntu.by; e-mail: houyabo@gmail.com.*

**Summery:** *This article shows the research results of new highly-refractory powder coatings technology which make possible to increase the efficiency to prevent of the cast defects formation and intend to use in foundry for produce high-quality castings.*

В литейном производстве невозможно переоценить важность и необходимость применения различного рода покрытий при получении качественных отливок. Хорошо известно, что использование различных видов покрытий позволяет создать на границе раздела «металл-форма» барьер с высоким термическим сопротивлением, который в свою очередь позволяет существенно снизить «тепловой удар», испытываемый литейной формой в периоды заливки ее расплавом и кристаллизации. Также известно, что такие «термические удары» вызывают образование различного рода дефектов поверхности отливок (пригар, просечки, ужимины, раковины и др.), в тоже время покрытия позволяют существенно уменьшить вероятность образования таких дефектов, а их компетентное применение полностью исключить. Традиционно в литейном производстве используются покрытия, которые в готовом представляют собой суспензии, включающие следующие основные составляющие: наполнитель, связующие, растворитель (вода или спирт) и различные вспомогательные добавки-модификаторы. После нанесения покрытия на поверхность литейной формы или стержня процесс создания защитного слоя заключается в переходе жидкообразной системы в твердое состояние в результате естественного или принудительного удаления растворителя. В этот период формируется прочность противопригарного покрытия.

В рамках настоящей работы выполнены исследования, направленные на разработку новой технологии получения и применения высокоогнеупорных порошковых покрытий, нанесение которых на литейную форму осуществляется электростатическими методами, а формирование прочности (отверждение) происходит за счет полимеризации при нагреве термореактивных смол (связующих) входящих в их состав.

Основные этапы исследований состояли в изучении способности покрытий формировать на поверхности стандартных образцов защитный слой необходимой толщины; исследовании и выявлении закономерностей формирования прочности высокоогнеупорных порошковых покрытий (на истирание); исследовании адгезионной способности высокоогнеупорных порошковых покрытий; разработке оптимальных режимов и параметров процесса нанесения (электростатической