

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология автомобилестроения: учебник / А.Л. Карунин [и др.]; под ред. А.И. Дашенко. – Москва: Академический проект: Трикста, 2005. – 624 с.
2. Усков, В.П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей / В.П. Усков. – Брянск, 1998. – 589 с.
3. Какуевичкий, В.А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей / В.А. Какуевичкий. – Москва: Транспорт, 1993. – 176 с.
4. Иванов, В.П. Технология и оборудование восстановления деталей машин: учебник / В.П. Иванов. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 458 с.

Материал поступил в редакцию 16.10.2017

#### IVANOV V.P., VIGERINA T.V. Resursosberegajushchaja technology recovery cylinder blocks of automotive engines

The proportion of rejected blocks in the repair of engines can reach 20% due to the presence of various cracks, holes of walls, chips in the lugs holes and the wear of the bearings. The proposal resource processes to eliminate cracks, which allows to reduce the consumption of spare parts in 2–3 times, consumption of materials for coating – 2 times and labor costs for the normative quality restoration parts.

УДК 621.791.72

Калиниченко А.С., Мешкова В.В., Девойно О.Г.

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ НИКЕЛЬХРОМОВЫХ ПОРОШКОВ, СОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИЧЕСКУЮ ФАЗУ

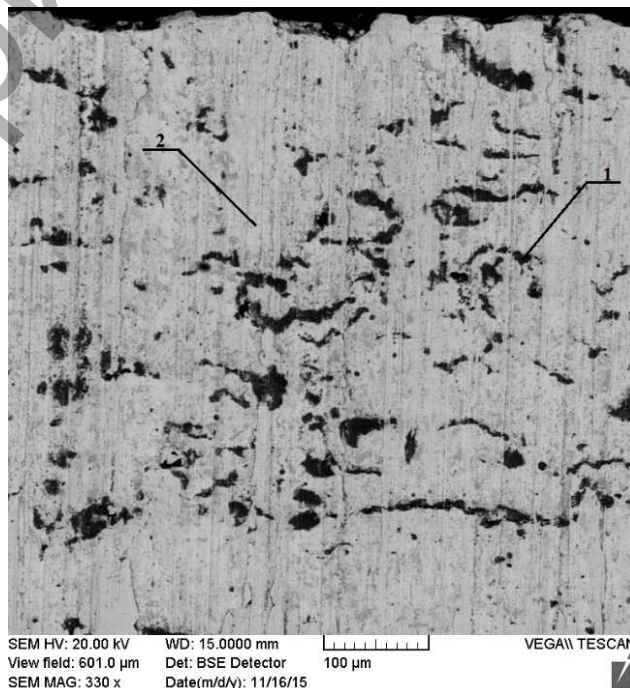
**Введение.** Повышение эксплуатационных характеристик поверхности деталей, работающих в условиях трения, является важной задачей современной науки и промышленности [1]. Одним из процессов, позволяющих эффективно восстанавливать изношенные поверхности, а также создавать износостойкие покрытия на новых деталях, является технология плазменного напыления. Для обеспечения стойкости деталей протяжных устройств в процессе эксплуатации требуется разработка технологии создания износостойких покрытий на рабочих поверхностях роликов, так как они подвергаются высоким удельным давлениям. Было предложено использовать технологию плазменного напыления покрытий, а в качестве материала покрытий использовалась механическая смесь порошков самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-ХН80СР4 (системы Ni-Fe-Cr-Si-B-C) с нейтральной оксидной керамикой  $Al_2O_3$ . Покрытия из самофлюсующихся сплавов рекомендуется применять для защиты поверхностей от износа при одновременном воздействии коррозионной среды и высоких температур с умеренными ударными нагрузками. Самофлюсующиеся сплавы обладают высокими эксплуатационными характеристиками, однако применение их ограничено высокой стоимостью. Для снижения стоимости обработки, а также для снижения схватывания медного провода с никелевой матрицей самофлюсующегося покрытия предложено использовать добавку нейтральной оксидной керамики  $Al_2O_3$  в количестве 15–30%. Толщина покрытия после плазменного напыления составила 0,8...1,1 мм.

Для плазменного напыления использовалась установка УПУ-ЗД с плазматроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применялся азот. Расход газа – 3 м<sup>3</sup>/ч. Напряжение дуги 80 В, сила тока 410 А, объемный расход плазмообразующего газа ( $N_2$ ) G = 40...50 л/мин. Оксидная керамика  $Al_2O_3$  добавлялась в количестве 15, 20, 25 и 30%. Предварительно для повышения адгезии покрытия образцы грунтовались тонким слоем самофлюса. Покрытие наносилось в режиме наплавки (заготовка предварительно нагревалась до 800 °С) с оплавлением.

Ранее было установлено, что при содержании в смеси 25–30%  $Al_2O_3$  в покрытии наблюдается пористость и значительно повышается риск трещинообразования, что снижает физико-механические свойства, в частности, микротвердость [2]. Для повышения качества нанесенных слоев были отработаны технологические режимы, обеспечивающие формирование слоев без пористости и трещин.

Были проведены исследования химического состава получен-

ных покрытий. При получении покрытия с помощью вышеуказанной технологии существовала опасность «всплывания» частиц  $Al_2O_3$  на поверхность покрытия из-за значительной разницы удельных плотностей оксидной керамики и никелевой матрицы самофлюсующегося покрытия. Однако исследования структуры материала посредством СЭМ показали, что частицы  $Al_2O_3$  достаточно равномерно распределены в толще покрытия (рисунки 1, 2). Для детального рассмотрения структуры и последующего исследования фаз в покрытии проводился элементный анализ. Все покрытия имеют сходную структуру: темные участки – частицы  $Al_2O_3$ , светло-серые – никелевая эвтектика; темно-серые участки – соединения хрома.



1 – частица  $Al_2O_3$ ; 2 – матрица.

Рисунок 1 – Структура покрытия с содержанием  $Al_2O_3$  в смеси порошков 15%,  $\times 330$

Калиниченко Александр Сергеевич, д.т.н., доцент, заместитель проректора по научной работе Белорусского национального технического университета.

Девойно Олег Георгиевич, д.т.н., профессор, зав. НИИП плазменных и лазерных технологий Белорусского национального технического университета.

Мешкова Вера Валерьевна, мл. науч. сотр. НИИП плазменных и лазерных технологий Белорусского национального технического университета.

Беларусь, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65.

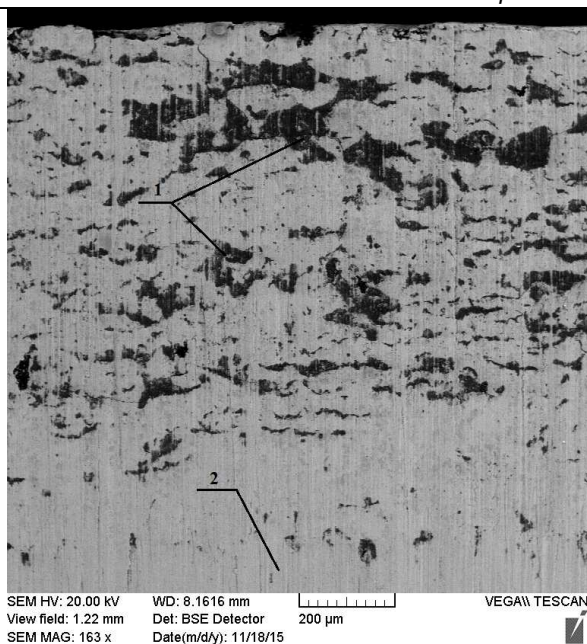


Рисунок 2 – Структура покрытия, содержащего 25%  $Al_2O_3$  в смеси порошков,  $\times 163$

Исследования триботехнических свойств производились на базе Белорусского национального технического университета и Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. Триботехнические испытания образцов с определением коэффициента трения проводились на автоматизированном трибометре АТВГП, оснащенный специально разработанным устройством для регистрации коэффициента трения. Оценка сопротивления контактному разрушению покрытий осуществлялась в условиях трения без смазочного материала (сухое трение). Результаты изменения коэффициентов трения в зависимости от количества циклов нагружения приведены на рисунке 3.

**Заключение.** Практически во всех случаях коэффициенты трения сначала линейно возрастают, потом начинают уменьшаться, зачастую превышая значения коэффициенты трения в чистом самофлюсе СР4 при тех же циклах нагружения. Это связано с методикой проведения испытаний: так как испытания проводились в условиях без смазки (самый жесткий режим), а в матрице покрытия присутствуют включения  $Al_2O_3$ , наблюдается «вырывание» частиц из

покрытия, чем и объясняется повышение коэффициентов трения на начальном этапе, соответствующем периоду приработки. Далее наблюдается тенденция к снижению коэффициентов трения.

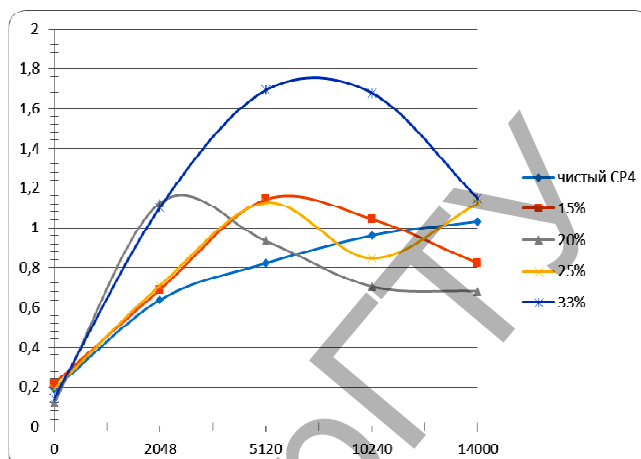


Рисунок 3 – Изменение коэффициентов трения в зависимости от количества циклов

На эксплуатационные характеристики покрытия это не будет оказывать заметного влияния, так как эксплуатируются детали в условиях трения со смазкой и контактируют с более мягким материалом – медью. Это подтверждается результатами испытаний на относительную износостойкость. Можно полагать, что данные покрытия будут обладать высокой износостойкостью, что делает их перспективными для тяжело нагруженных узлов трения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kotkunde, N. Review of laser cladding on steel / N. Kotkunde, H. Ojha // International J. of Multidiscipl. – Research & Advcs. in Engg. – IJMRAE. – Vol. 3. – No. II. – April 2011. – P. 25–34.
2. Калиниченко, А.С. Влияние содержания оксидной керамики на структуру и свойства никельхромовых плазменных покрытий / А.С. Калиниченко, О.Г. Девойно, В.В. Мешкова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов в 3 кн. – Кн. 2: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / Редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. – С. 171–174.

Материал поступил в редакцию 30.10.2017

#### KALINICHENKO A.S., MESHKOVA V.V., DEVOINO O.G. Wear resistance of composite coatings made of self-fluxing nickel-chromium powders containing a ceramic phase

The influence of structural features of coatings formed on steel specimens by means of plasma spraying of a mixture of nickel-chromium base powder and different percentage of oxide ceramics one on the coatings wear resistance is investigated.

УДК 539.3

Веремейчик А.И., Гарбачевский В.В., Сазонов М.И., Хвусевич В.М.

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ НОЖЕЙ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Введение.** В пищевой промышленности широко используются установки для измельчения пищевых продуктов. Производитель-

ность и ресурс этих установок определяется ножами, вращающимися с большой скоростью. Данная статья посвящена исследованию

Веремейчик Андрей Иванович, к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной механики Брестского государственного технического университета.  
Гарбачевский Виталий Владимирович, м.т.н., старший преподаватель кафедры прикладной механики Брестского государственного технического университета.

Сазонов Михаил Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладной механики Брестского государственного технического университета.

БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.