УДК 621.793.79

ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЮБКИ ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Алексей Викторович Собачкин, магистрант, Владимир Иванович Яковлев, канд. техн. наук, доцент, Александр Андреевич Ситников, доктор техн. наук, профессор, Марина Владимировна Логинова, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, Сергей Геннадьевич Иванов, канд. техн. наук, зав. лаб., Антон Петрович Свиридов, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Поршень двигателя внутреннего сгорания – наиболее ответственная и специфичная деталь в современном двигателе, работающая в очень сложных условиях: например, перезагрузка достигает значений в 1500-2000g, а рабочая температура составляет 1800-2600 °С [1].

Анализ выполненных конструкций и теоретических наработок в области конструирования поршней ДВС показывает, что наиболее эффективным воздействием на режим трения этой детали обладают два конструкторско-технологических решения: профилирование юбки поршня и нанесение на нее антифрикционного покрытия [2, 3]. В последние годы на юбку поршней стали наносить покрытие типа Grafal, представляющее собой графит со специальным наполнителем и влияющее на износостойкость поршня, однако оно имеет целый ряд недостатков, таких как задир юбки на нерасчетных режимах, например при запуске и прогреве, когда условия смазки ухудшены [4].

Устранить недостатки применяемых материалов позволит использование композиционных материалов с металлической матрицей, упрочненной высокомодульными армирующими частицами [5]. Среди потенциальных наноразмерных упрочнителей особое положение занимают углеродные наноструктуры (УНС): фуллерены C_{60}, наноалмазы и графены, свойства которых интенсивно исследуют в последние годы [6, 7].

Перспективной технологией, позволяющей наносить разнообразные материалы на поверхности деталей, является детонационно-газовое напыление, к преимуществам которого относится высокая прочность сцепления покрытий с изделием, низкая пористость покрытия и незначительное термическое воздействие на напыляемую металлическую основу [8].

Таким образом, разработка технологии нанесения покрытий из алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных УНС, и исследование структуры и свойств является актуальной задачей, представляющей научный и практический интерес [9].

Целью работы является исследование особенностей структурного состояния газодетонационных покрытий из алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных углеродными дисперсными структурами.

Методика экспериментального исследования

В качестве матрицы композиционного материала был выбран алюминий марки АД0. В качестве упрочняющей фазы использовали литейный графит и суспензию, состоящую из фуллеренов C_{60} и ультрадисперсных алмазов (УДА). Покрытие наносилось на образцы из высококремнистого заэвектоидного алюминиевого сплава марки АК21М2,5Н2,5.

Газодетонационное напыление осуществлялось с помощью установки «Катунь М» на определенных режимах [10]. Исследования микроструктуры образцов проводилось на исследовательском оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m.

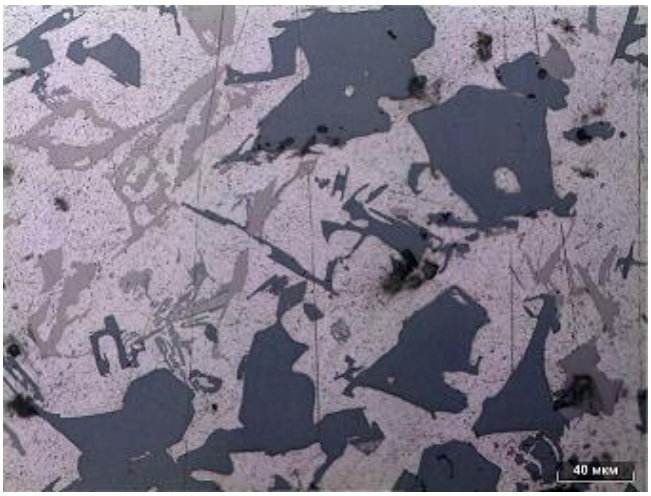
Результаты эксперимента и обсуждение

Газодетонационное напыление осуществлялось следующими составами, полученными в результате механоактивационной обработки:

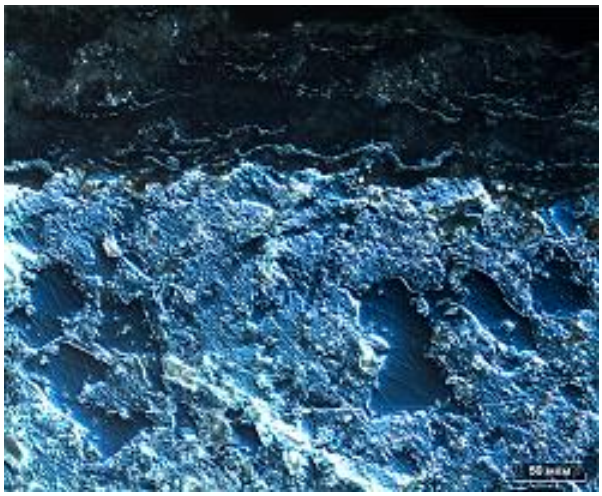
1) смесью 70% Al + 30% УДА + B_4C;

2) смесью 70% Al + 30% C + B_4C.

Структура исходного образца представляет собой эвтектику, содержащую первичную фазу (предположительно, кремний), равномерно распределённую в алюминиевой матрице с небольшим содержанием дополнительной фазы в виде игл (рисунок 1, а). Дендритная структура не проявляется из-за термообработки сплава.



а)



б)

Рисунок 1 – Структура образца:
а) исходный (сплав АК21М2,5Н2,5), светлое поле,
б) напыленный составом 70% Al + 30% УДА + B_4C, круговая поляризация

При нанесении покрытия первого состава, содержащего 70% Al + 30% УДА + B_4C, методом ДГН в результате интенсивных пластических деформаций происходит выпадение в основном металле дополнительной фазы, имеющей

более темный оттенок по сравнению с матрицей. Строение дополнительной фазы – преимущественно пластинчатое, однако встречаются и островковые формы в количестве порядка 16%. Само напыленное покрытие имеет характерную слоистую структуру со светлыми границами между слоями, содержащими повышенное количество алюминия (рисунок 1, б).

При нанесении покрытия второго состава, содержащего 70% Al + 30% C + B_4C, методом ДГН в результате интенсивных пластических деформаций и других процессов происходит переформирование первичной фазы – она приобретает игольчатый вид, крупные кристаллы ее исчезают плоть до глубины 0,5 мм от поверхности. На глубине более 0,5 мм от поверхности первичная фаза сохраняется и приобретает вид более правильных многоугольников, а также содержит меньше дефектов. Строение дополнительной фазы – преимущественно пластинчатое, однако встречаются и ее формы в виде дендритов количестве порядка 4-5%. Напыленное покрытие в данном случае более равномерное.

Выводы

Экспериментально подтверждено, что добавление в исходную смесь карбида бора способствует протеканию процессов аморфизации структуры композиционного материала, что может благоприятно сказаться в дальнейшем на свойствах изделия с покрытием из таких материалов. Оптические исследования показали, что напыленное детонационно-газовым способом покрытие имеет характерную слоистую структуру.

Список литературы

1. Лобанов В.К., Чуйкова Е.В. Выбор технологии изготовления поршней ДВС / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2007. № 12. С. 10-12.
2. Макаров А.Р., Смирнов С.В., Осокин С.В., Пятов И.С., Врублевская Ю.И., Финкельберг Л.А. Конструкционные материалы для поршней ДВС // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2013. Т. 1. № 1 (15). С. 118-125.
3. Агеев А.Г. Обзор конструкций и технологий, обеспечивающих снижение трения и изнашивания поршней современных ДВС // Молодежный научно-технический вестник. 2013. № 8. С. 16.
4. Хрулев А. Современные поршни // Автомобиль и сервис. 2007. № 11. С. 21-23.
5. Чернышова Т.А. и др. Литые дисперсно-упрочненные алюмоматричные композиционные материалы: изготовление, свойства, применение : монография / Ульяновск, 2012.
6. Deng C., Zhang X., Wang D., Lin Q., Li A. Preparation and characterization of carbon nanotubes/aluminum matrix composites // Materials Letters. 2007. T. 61. № 8-9. P. 1725-1728.

7. Евдокимов И.А., Чернышова Т.А., Пивоваров Г.И., Быков П.А., Иванов Л.А., Ваганов В.Е. Трибологические свойства алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных углеродными наноструктурами // Физика и химия обработки материалов. 2013. № 5. С. 58-65.

8. Собачкин А.В., Попова А.А., Назаров И.В. Структура и свойства газодетонационных покрытий различного функционального назначения на основе порошков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 16-22.

9. Sobachkin A. V., Sitnikov A. A., Sviridov A. Evaluation of wear resistance of products on the basis of mechanically activated materials // Applied Mechanics and Materials. Vol. 698 (2015) P. 374-377.

10. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Макарова Н.А., Свиридов А.П. Определение скорости и температуры частиц алюмоматричного композиционного материала в двухфазном детонационно-газовом потоке // Ползуновский вестник. 2014. Т. 2. № 4. С. 207-210.