

УДК 621.793.79

ПОРОШКОВЫЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

А. В. Собачкин, А. А. Ситников, В. И. Яковлев, А. П. Свиридов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В работе исследована морфология порошковой композиционной смеси, содержащей алюминий и углеродные структуры, после механической активации в планетарной шаровой мельнице. Установлено, что после 7 минут механообработки средний размер порошковых частиц составляет порядка 100 мкм, что является приемлемым для газодетонационного напыления. Элементный анализ показал, что окисления компонентов в процессе механической активации не происходит.

Ключевые слова: композиционный материал, алюминий, углерод, фуллерен, детонационно-газовое напыление.

POWDER ALUMINUM COMPOSITES FOR DETONATION-GAS SPRAYING OF COATINGS

A. V. Sobachkin, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, A. P. Sviridov

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

We have studied the morphology of the composite powder mixture, containing aluminum and carbon structures after mechanical activation in a planetary ball mill. It was found that after 7 minutes of mechanical activation, the average particle size of the powder particles is of the order of 100 μm , which is acceptable for gas-detonation spraying. Elemental analysis showed that oxidation of the components does not occur during mechanical activation.

Keywords: composite material, aluminum, carbon, fullerene, detonation-gas spraying.

При работе и эксплуатации машин существенная часть энергии теряется на трение, что приводит к значительным энергетическим и финансовым потерям. Процессы разрушения деталей машин в подавляющем большинстве случаев начинаются с поверхностных зон. В связи с этим, важное значение приобретают работы по созданию принципиально новых антифрикционных материалов, в том числе покрытий с антифрикционными свойствами, которые бы обеспечивали бесперебойную работу тяжелонагруженных изделий [1-3].

В настоящее время разработаны различные типы твердых износостойких покрытий на основе керамических и металлокерамических композиционных материалов. Однако, в условиях сухого трибологического контакта, такие покрытия имеют высокий коэффициент трения, что приводит к большим расходам энергии и нежелательному локальному нагреву в зоне контакта. Кроме того, при высоком коэффициенте трения резко возрастает износ пары трения [3].

Устранить недостатки применяемых в настоящее время материалов позволяет использование композиционных материалов с металлической матрицей, упрочненной высококомодульными армирующими частицами [4]. Наибольшее распространение получили алюмоматричные композиционные материалы, упрочненные частицами оксидов, карбидов, нитридов, волокнами графита, бора и т.п. По сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами композиционные материалы на их основе отличаются более высокими значениями удельной прочности и жесткости при сохранении или незначительном снижении электро- и теплопроводности, что обеспечивает им конкурентные преимущества в ряде отраслей науки и техники [5].

Известно, что при переходе к наноразмерному состоянию материалы приобретают особую структуру и проявляют уникальные физико-механические свойства, значительно превосходящие характеристики макро- и микро материалов. На сегодняшний день одним из распространенных способов создания

наноструктурных композиционных материалов являются методы механической активации, к преимуществам которой можно отнести возможность тонкого регулирования свойств, структуры и фазового состава материалов за счет изменения типа и концентрации упрочняющей фазы [6, 7].

Среди таких потенциальных упрочнителей, как наноразмерные оксиды, карбиды, нитриды, висцерсы и другие, особое положение занимают углеродные наноструктуры (УНС): фуллерены C_{60} , нанодиазмы и графены, свойства которых интенсивно исследуют в последние годы. Эти объекты обладают высокими значениями тепло- и электропроводности, сверхупругостью, что может обеспечить получение композиционных наноматериалов с уникальным комплексом физико-механических свойств [8].

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 [9, 10].

Таким образом, разработка методов получения алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных УНС, технологии нанесения покрытий из таких материалов и исследование структуры и свойств является актуальной задачей, представляющей научный и практический интерес [11, 12].

Целью данной работы является установление наиболее оптимального состава порошковой композиционной смеси (на основе алюминия и дисперсных углеродных структур), предназначенной для газодетонационного напыления покрытий антифрикционного назначения на примере поршня дизельного двигателя.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных материалов для получения порошковых композиционных смесей использовали порошок алюминия марки АД0, порошок углерода марки ПМ-15, порошкообразную суспензию, состоящую из фуллеренов C_{60} и ультрадисперсных алмазов в определенной пропорции. Фракционный состав всех исходных порошковых компонентов находился в пределах 40...100 мкм, фуллерен находился в наноструктурном состоянии (порядка 50 нм). Выбранные компоненты смешивались в требуемых соотношениях.

Полученная порошковая смесь подвергалась механической активации. Выбор данного способа воздействия на материалы обусловлен необходимостью создания композиционной порошковой смеси.

Выбор компонентов порошковой смеси обусловлен рядом факторов [13]:

- необходимостью обеспечить химическое сродство материала покрытия к материалу основы (поршня). Поскольку поршень изготавливается из силумина, то в качестве матрицы композиционной смеси логично выбрать алюминий.

- необходимостью обеспечить низкие коэффициенты трения в паре трения поршень-цилиндр. Для выполнения этого требования с учетом анализа современного состояния вопроса был выбран перспективный материал – фуллерен C_{60} .

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлена морфология смеси 90% Al + 10% C (об. %) после 7 минут механоактивационной обработки.

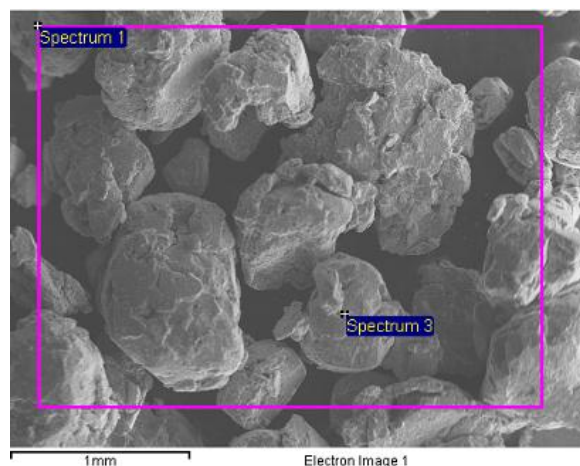


Рисунок 1 – Структура порошковой композиционной смеси состава 90% Al + 10% C (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки

Полученный механокompозит имеет выраженную слоистую структуру, при этом, отдельных частиц исходной шихты (алюминия и углерода) в составе композиционной порошковой смеси после механической активации не обнаружено. Средний размер получившихся частиц механокompозита составляет порядка 400 мкм.

Элементный состав данной смеси представлен в таблице 1.

ПОРОШКОВЫЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Таблица 1 – Энергодисперсионный анализ порошковой композиционной смеси состава 90% Al + 10% C (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки.

Спектр 1 (по площади, рис. 1)		Спектр 3 (в микроточке, рис. 1)	
Элемент	Весовой %	Элемент	Весовой %
C	15,45	C	17,71
Al	84,55	Al	82,29

Анализ элементного состава позволяет констатировать, что окисления алюминия в процессе механической обработки не происходит.

Отметим, что по среднему размеру полученная фракция является неприемлемой для газодетонационного напыления ввиду неравномерности процесса дозирования (из-за больших размеров частиц композиционной смеси) и, как следствие, невозможности обеспечения получения качественных покрытий [14, 15].

Поэтому, исходя из проведенного анализа морфологии механокомпозиата, можно сделать вывод о необходимости изменения процентного содержания компонентов в процессе подготовки механокомпозиатов с целью уменьшения средних размеров частиц композиционной порошковой смеси.

При изменении процентного содержания исходных компонентов в сторону увеличения содержания углерода удалось снизить средний размер получаемых частиц до 100 мкм, что является приемлемым для детонационного напыления (рис. 2).

Элементный состав композиционной смеси состава 70% Al + 30% C (об. %) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Энергодисперсионный анализ порошковой композиционной смеси состава 70% Al + 30% C (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки.

Спектр 1 (по площади, рис. 2)		Спектр 3 (в микроточке, рис. 2)	
Элемент	Весовой %	Элемент	Весовой %
C	32,99	C	24,48
Al	67,01	Al	75,52

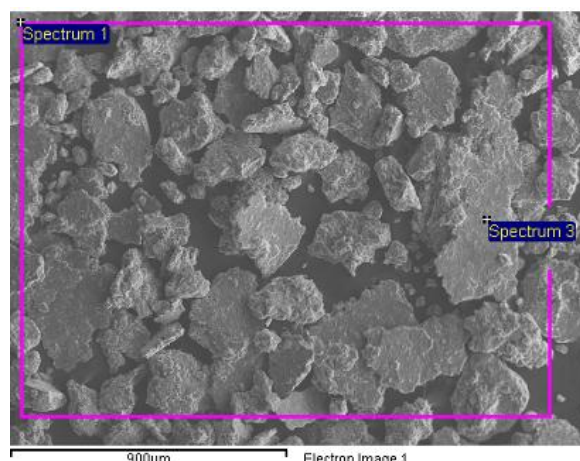


Рисунок 2 – Структура порошковой композиционной смеси состава 70% Al + 30% C (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки

Элементный анализ, как и в предыдущем случае, позволяет установить отсутствие окислов в композиционной порошковой смеси.

При увеличении времени механоактивации (при том же соотношении исходных компонентов в шихте) до 15 минут качественных изменений в морфологии композиционной смеси не обнаружено (рис. 3).

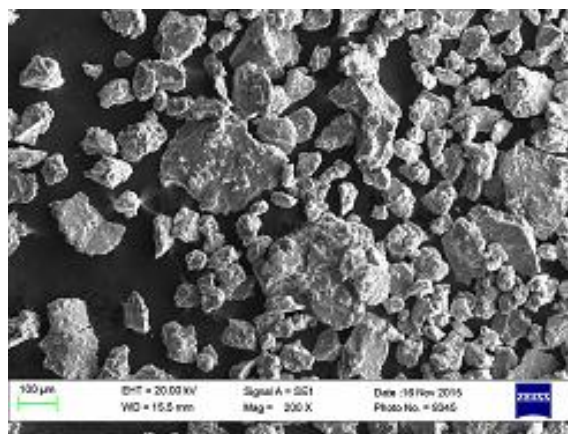


Рисунок 3 – Структура порошковой композиционной смеси состава 70% Al + 30% C (об. %), после 15 минут механоактивационной обработки

Таким образом, исходя из анализа морфологии и элементного состава механокомпозиата, рациональным временем механоактивации для создания композиционной смеси с содержанием 30 % об. углерода следует считать 7 минут.

В течение установленного на предыдущем этапе рационального времени механоактивационной обработки были проведены

исследования на других составах порошковой смеси. Морфология композиционной смеси с содержанием фуллерена C_{60} , вводимого в состав шихты вместо литейного углерода, представлена на рисунке 3.

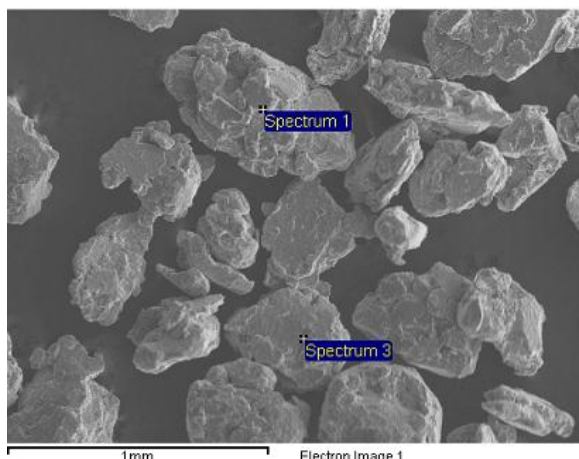


Рисунок 4 – Структура порошковой композиционной смеси состава 70% Al + 30% C_{60} (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки

В результате механической активации данной порошковой смеси также образуется композиционная смесь без присутствия частиц исходных компонентов.

Элементный состав смеси состава 70% Al + 30% C_{60} (об. %) представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Энергодисперсионный анализ порошковой композиционной смеси состава 70% Al + 30% C_{60} (об. %), после 7 минут механоактивационной обработки.

Спектр 1 (в микроточке, рис. 4)		Спектр 3 (в микроточке, рис. 4)	
Элемент	Весовой %	Элемент	Весовой %
C	22,74	C	19,21
Al	87,26	Al	80,79

Как и в случае механоактивации смеси «алюминий – углерод» (табл. 1, 2), в составе 70% Al + 30% C_{60} (об. %) после механической активации также не зафиксировано окислительных процессов.

Из анализа морфологии механокомпози- тов, полученных при различных временах механической активации и различного состава, были выделены наиболее перспективные составы для дальнейшего напыления и исследования [16-18]:

1) состав № 1: композиционная порошковая смесь 70% Al + 30% C_{60} после 7 минут механической активации;

2) состав № 2: композиционная порошковая смесь 70% Al + 30% C после 7 минут механической активации.

Выводы

1. Морфология смесей составов 70% Al + 30% C (об. %) и 70% Al + 30% C_{60} (об. %) после 7 минут механоактивационной обработки имеет выраженную слоистую структуру, частиц исходной шихты (алюминия и углерода) в составе композиционной порошковой смеси после механической активации не обнаружено. Средний размер получившихся частиц механокомпозиита составляет порядка 100...150 мкм, что является приемлемым для детонационного напыления.

2. Анализ элементного состава композиционных порошковых смесей позволяет констатировать, что окисления алюминия в процессе механической обработки не происходит.

3. С учетом морфологии и энергодисперсионного анализа механокомпози- тов, полученных при различных временах механической активации и различного состава, были выделены наиболее перспективные составы для дальнейшего напыления и исследования:

а) состав № 1: композиционная порошковая смесь 70% Al + 30% C_{60} после 7 минут механической активации;

б) состав № 2: композиционная порошковая смесь 70% Al + 30% C после 7 минут механической активации.

Список литературы

1. Sobachkin, A.V. Evaluation of wear resistance of products on the basis of mechanically activated materials / A.V. Sobachkin, A.A. Sitnikov, A.P. Sviridov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 698. – Р. 374–377.
2. Собачкин, А.В. Триботехнические свойства газодетонационных композиционных покрытий поршня двигателя внутреннего сгорания / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.И. Яковлев, А.П. Свиридов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 152–155.
3. Hogmark, S. Design and evaluation of tribological coatings / S. Hogmark, S. Jacobson, M. Larsson // Wear. – 2000. – V. 246. – Р. 20–33.
4. Собачкин, А.В. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 17–22.

ПОРОШКОВЫЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

5. Mitterer, C. Sputter-deposited Al–Au coatings / C. Mitterer, H. Lenhart, P.H. Mayrhofer, M. Kathrein // *Intermetallics*. – 2004. – Vol. 12. – P. 579–587.
6. Собачкин, А.В. Применение метода механостимулированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для создания многокомпонентных композиционных наплавочных материалов / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников // *Инновации в машиностроении : труды 4-й Международной научно-практической конференции*. – 2013. – С. 287–291.
7. Yakovlev, V.I. The obtaining of mechanically alloyed nanostructured layered composites and detonation coatings / V.I. Yakovlev, M.V. Loginova, A.V. Sobachkin, Ya. Dong, A.M. Guriev // *Effect of external influences on the strength and plasticity of metals and alloys : Book of the International seminar articles*. – 2015. – P. 108.
8. Wei, Q. Superhard diamond-like carbon: preparation, theory, and properties / Q. Wei, J. Narayan // *International Materials Reviews*. – 2000. – Vol. 45. – P. 133–164.
9. Собачкин, А.В. Газодетонационные покрытия юбки поршня двигателя внутреннего сгорания на основе алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, М.В. Логинова, С.Г. Иванов, А.П. Свиридов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2016. – № 7 (139). – С. 34–38.
10. Яковлев, В.И. Детонационное напыление покрытий из базальта / В.И. Яковлев, В.Н. Шабалин, А.В. Собачкин // *Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств : сборник научных трудов X международной научно-практической конференции*. – Барнаул, 2009. – С. 237–242.
11. Собачкин, А.В. Особенности формирования покрытий из алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала при газодетонационном напылении / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, М.В. Логинова, С.Г. Иванов, А.П. Свиридов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 444–449.
12. Собачкин, А.В. Антифрикционные газодетонационные покрытия поршня двигателя внутреннего сгорания на основе наноструктурированного композиционного материала / А.В. Собачкин, А.П. Свиридов, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, Р.В. Радионов // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. – 2016. – Т. 3. – № 2. – С. 67–73.
13. Собачкин, А.В. Оценка износостойкости изделий на основе механоактивированных материалов / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, А.П. Свиридов // *Электротехника. Энергетика. Машиностроение : сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых*. – 2014. – С. 248–251.
14. Yakovleva, N.A. The research of characteristics of powder dispenser of detonation unit "Katun-M" / N.A. Yakovleva, V.I. Yakovlev, A.V. Sobachkin, M.V. Loginova, Sh. Mei, A.M. Guriev // *Effect of external influences on the strength and plasticity of metals and alloys : Book of the International seminar articles*. – 2015. – С. 101–102.
15. Ситников, А.А. Определение скорости и температуры частиц алюмоматричного композиционного материала в двухфазном детонационно-газовом потоке / А.А. Ситников, А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, М.В. Логинова, Н.А. Макарова, А.П. Свиридов // *Ползуновский вестник*. – 2014. – № 4-2. – С. 207–210.
16. Собачкин, А.В. Детонационные покрытия на основе алюмоматричного композиционного материала для юбки поршня двигателя внутреннего сгорания / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, М.В. Логинова, С.Г. Иванов, А.П. Свиридов // *Упрочняющие технологии и функциональные покрытия в машиностроении : сборник трудов Всероссийской молодежной научно-практической школы*. – 2015. – С. 12.
17. Собачкин, А.В. Исследование параметров частиц алюмоматричного композиционного материала при газодетонационном напылении / А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.И. Яковлев, А.П. Свиридов, Н.А. Яковлева // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2015. – № 2. – С. 391–395.
18. Собачкин, А.В. Антифрикционные и износостойкие свойства газодетонационных покрытий из алюмоматричного композиционного материала на поршне двигателя внутреннего сгорания / А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, А.П. Свиридов // *Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции*. Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. – 2016. – С. 185–187.

Собачкин Алексей Викторович – к.т.н., с.н.с.
ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,

E-mail: anicpt@rambler.ru;

Ситников Александр Андреевич – д.т.н., профессор, директор ИТЦ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,

E-mail: sitalan@mail.ru;

Яковлев Владимир Иванович – к.т.н., доцент кафедры НТТС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,

E-mail: anicpt@rambler.ru;

Свиридов Антон Петрович – аспирант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,

E-mail: anicpt@rambler.ru