

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОКОМПАНЕНТНОГО МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА И ПОКРЫТИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ*

И.В. НАЗАРОВ, аспирант

А.В. СОБАЧКИН, аспирант

В.И. ЯКОВЛЕВ, канд. техн. наук, доцент

*А.А. СИТНИКОВ, доктор техн. наук, профессор
(АЛТГТУ им. И. И. Ползунова, г. Барнаул)*

Д.О. МУЛЬ, аспирант

*О.Г. ЛЕНИВЦЕВА, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 5 сентября 2012 года

Назаров И.В. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru

Исследованы химический состав, структура и микротвердость многокомпонентных механоактивированных базальтовых порошков и покрытий на их основе. Было показано, что нанесение базальтового покрытия детонационно-газовым методом приводит к неравномерному распределению химических элементов по площади покрытия, но при этом сформированное покрытие обладает высокой микротвердостью, что увеличит износостойкость деталей с базальтовым покрытием.

Ключевые слова: износостойкие покрытия, детонационно-газовое напыление, многокомпонентный механоактивированный базальтовый порошок.

Введение

Для детонационного напыления повсеместно используются металлические порошковые материалы. Однако в современных условиях при возрастающей стоимости компонентов таких порошковых составов, следует искать определенные, более дешевые заменители. Причем покрытия, полученные в результате напыления таких материалов, не будут уступать металлическим, и возможно даже превосходить их.

На сегодняшний день в состав многих порошковых смесей входят различные оксиды, получаемые и вводимые в смесь отдельно друг от друга [1]. Однако в природе встречаются соединения этих оксидов на атомарном уровне. Целесообразно, прежде всего, использовать минеральное сырье, которое является широко распространенным и имеет невысокую себестоимость [2]. Из минерального сырья можно выделить базальт, который обладает рядом неоспоримых преимуществ перед другими материалами:

- прочность изделий из базальта в 15 раз выше стали, а плотность (а значит, и вес) в 4 раза меньше;

- гарантия на трубы, арматуру и прочие изделия из базальта – до 50 и более лет, они не ржавеют;
- базальтовые изделия инертны к кислотной и щелочной среде;
- в трубах и котлах из базальта не осаждаются накипь и осадки;
- изделия из базальта могут «дышать», поэтому они выдерживают температуру от минус 200 °С до плюс 200 °С;

Базальт – вулканическая порода основного состава нормальной щелочности из семейства базальтов; главные минералы – клинопироксен (оксиды магния, марганца, железа, кремния) и кальциевый плагиоклаз (оксиды натрия, кремния, алюминия), иногда оливин, ортопироксен; основная масса сложена этими же минералами (без оливина) и магнетитом в стекле (или без него).

Актуальным является использование базальта в современной промышленности [2]. Так, например, волокна из базальтовых пород обладают высокой природной исходной прочностью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, долговечностью,

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.0136.

электроизоляционными свойствами, производятся из природного, экологически чистого сырья. Поэтому базальтовые волокна перспективны для применения в промышленности, строительстве, энергетике.

Однако использование базальта для производства волокон – лишь одно из направлений применения базальта. Кроме того, развиваются и отрасли базальтового литья, производства газо-базальтовых изделий (газобазальтовые блоки), базальтовой нити, ваты и др. К перспективным стоит отнести и применение базальтового сырья в качестве порошка (как в чистом виде, так и в составе композита) для напыления защитных покрытий.

Целью настоящей работы является исследование химического состава, структуры и некоторых свойств базальтового покрытия, нанесенного детонационно-газовым методом.

Методика проведения исследований

Процесс нанесения базальтового покрытия детонационно-газовым методом

Для напыления покрытий использовалась установка детонационного напыления «Катунь-М».

Перед напылением покрытия необходимо пройти ряд подготовительных этапов. На первом этапе базальтовая крошка была перемолота в планетарной шаровой мельнице АГО-2С, механоактивирована и просеяна на 3 фракции (< 63 мкм, 63...100 мкм, 100...200 мкм). Затем полученный порошок подвергли сушке в течение 1,5 часов при температуре 200 °С. На следующем этапе поверхность детали, представляющая собой стальную пластину марки Ст3 размером 50×40 мм, для очищения от загрязнения, коррозии, влаги, а также ее активации подверглась пескоструйной обработке.

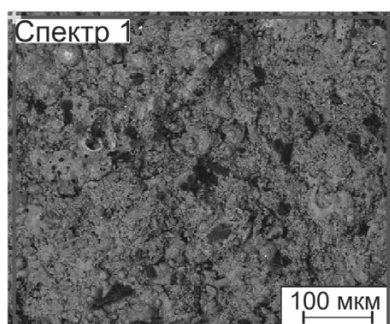


Рис. 2. Базальтовое покрытие. Спектр 1 – Область исследования химического состава

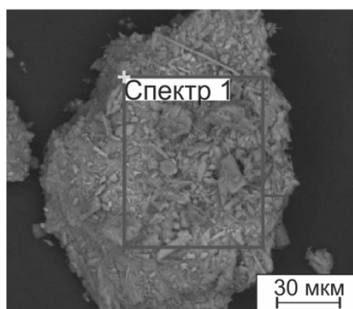


Рис. 1. Частица базальтового порошка. Спектр 1 – область исследования химического состава

Непосредственно перед напылением была произведена настройка дозирующего устройства. Для достижения необходимой толщины покрытия в 100 мкм масса навески базальтового порошка должна была составлять 30...40 мг за один выстрел.

В ствол установки подавалась взрывчатая смесь, состоящая из пропан-бутана и кислорода. Одновременно с этим транспортирующим сжатым воздухом в канал ствола подавался базальтовый порошок из игольчатого дозатора. Газопорошковая смесь поджигалась искрой свечи воспламенителя. Базальтовый порошок в стволе разгонялся продуктами детонации и наносился на подложку напыляемой стальной пластины. Процесс повторялся до тех пор, пока не формировалось покрытие необходимой толщины.

Химический состав порошка и покрытия

Для исследований химического состава был использован базальтовый порошок. Эксперимент был проведен с помощью растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 с приставкой для энергодисперсионного химического анализа EDS «INCA X-ACT» производства фирмы «Oxford Instruments».

Таблица 1

Химический анализ содержащихся элементов в частичке базальтового порошка

Элемент	Весовой, %	Атомный, %
O	55,53	71,34
Mg	7,88	6,66
Al	7,06	5,38
Si	16,63	12,17
Ca	4,74	2,43
Fe	8,22	3,03

При исследовании частички порошка (рис. 1) химический анализ показал содержание элементов, которое представлено в табл. 1.

Все эти компоненты находятся в виде соединений друг с другом (наиболее вероятно, что это оксиды, диоксиды).

Исследования химического состава покрытия на основе этого базальтового порошка (рис. 2) области «Спектр 1» показал наличие элементов в соотношении, указанном в табл. 2. Наличие таких элементов, как Na, Ti, K, указывает на то, что при исследовании частицы порошка

Таблица 2

Химический состав базальтового покрытия

Элемент	Весовой, %	Атомарный, %
O	52,26	68,28
Na	1,20	1,09
Mg	6,08	5,23
Al	7,27	5,63
Si	17,27	12,86
K	0,41	0,22
Ca	5,68	2,96
Ti	0,79	0,35
Fe	9,04	3,38

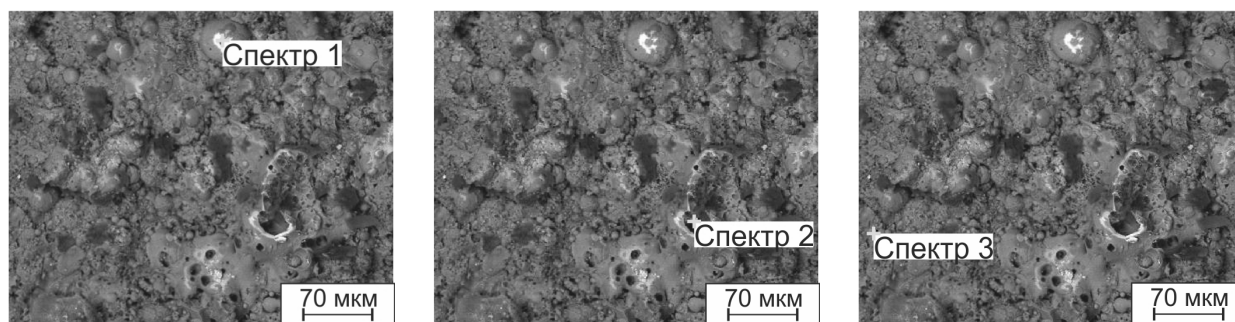


Рис. 3. Исследуемая область базальтового покрытия

Таблица 3

Химический состав базальтового покрытия в трех точках исследуемой области

Спектр 1 (рис. 6)			Спектр 2 (рис. 6)			Спектр 3 (рис. 6)		
Элемент	Вес., %	Атом., %	Элемент	Вес., %	Атом., %	Элемент	Вес., %	Атом., %
C	8,53	13,59	C	51,60	68,58	C	6,20	10,14
O	51,65	61,81	O	17,96	17,92	O	50,99	62,61
Na	1,05	0,87	Na	0,50	0,35	Na	0,33	0,28
Mg	3,13	2,47	Mg	0,33	0,22	Mg	4,08	3,30
Al	7,09	5,03	Al	4,17	2,46	Al	9,22	6,71
Si	15,67	10,69	Si	6,02	3,42	Si	16,06	11,23
Ca	7,59	3,63	Ca	12,50	4,98	Ca	8,13	3,98
Ti	1,58	0,63	Cl	0,53	0,24	Ni	0,56	0,19
Fe	3,70	1,27	Fe	6,39	1,83	Fe	4,43	1,56

Структура базальтового покрытия

не были выявлены, но в покрытии они присутствуют. Это указывает на то, что эти элементы содержатся в порошке, но в малом количестве.

Для установления равномерности распределения химических элементов в составе базальтового покрытия был проведен анализ в трех точках исследуемой области покрытия (рис. 3).

Химический анализ показал неравномерное распределение элементов в покрытии (табл. 3). К этому привели потери во время процесса напыления и неравномерное дозирование порошка в элементном соотношении.

Для исследования общей структуры покрытия были подготовлены микрошлифы. Микроструктура была выявлена при помощи 3 %-го спиртового раствора азотной кислоты, а при исследовании тонкой структуры покрытий применяли химическое травление в течение 5 минут водным раствором 20 %-й красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$ и 20 % KOH.

Исследования общей (рис. 4) и тонкой (рис. 5) структуры проводились на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver Z1. Покрытие является плотным без отслоений, что означает хорошее сцепление покрытия с основой (адгезия), многослойным, как это видно из рисунка, и без видимых пор и трещин.

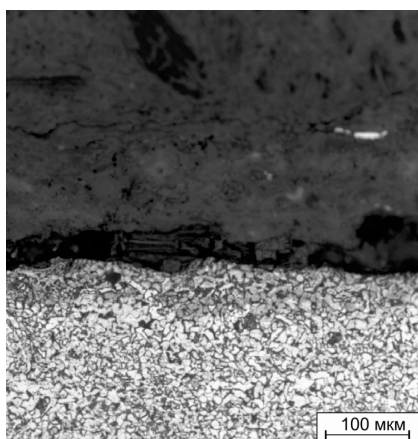


Рис. 4. Общая структура базальтового покрытия

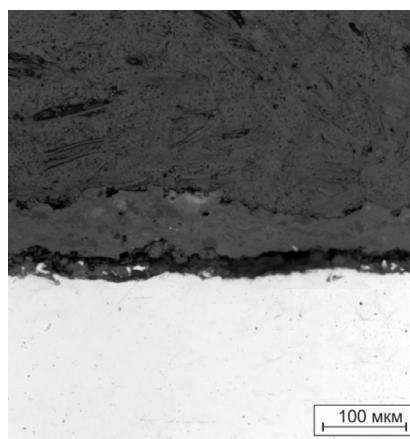


Рис. 5. Тонкая структура базальтового покрытия

Исследование микротвердости базальтового покрытия

Для измерения микротвердости использовался микротвердомер Model 402 MVD для проведения испытаний по Виккерсу с возможностью режимов работы в автоматическом и ручном режиме в диапазоне нагрузок 0,01...2 кг. Измерение твердости проводилось на слое покрытия, нагрузка на индентор составляла 100 г. По всей длине покрытия было проведено 8 укулов (табл. 4).

Таблица 4

Испытания по микротвердости

Номер укола	Показания по Викерсу
1	393 HV
2	497 HV
3	512 HV
4	428 HV
5	467 HV
6	482 HV
7	404 HV
8	602 HV
Среднее значение	473 HV

Среднее значение микротвердости покрытия составило 473 HV, что в 3,5 раза выше микротвердости основного металла (134 HV), а на некоторых участках микротвердость достигает 600...670 HV, что в 4,5–5 раз выше микротвердости основного металла – это увеличит износостойкость детали с базальтовым покрытием.

Вывод

В результате исследований было выявлено, что нанесение базальтового покрытия детонационно-газовым методом приводит к неравномерному распределению химических элементов по площади покрытия, но при этом сформированное покрытие обладает высокой микротвердостью – это увеличит износостойкость деталей с базальтовым покрытием.

Список литературы

1. *Разработка и внедрение технологии ДГН для восстановления коренных вкладышей блоков дизелей А-01, А-41* [Текст]: Отчет о НИР / АНИТИМ; Руководитель К.М. Зеров. – № к/д 123/83. – Барнаул, 1986. – 31 с.
2. *Джигирис Д.Д.* Основы производства базальтовых волокон и изделий [Текст] / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.

Structure and properties of multicomponent mechanoactivated basalt powder and coating on its basis

I.V. Nazarov, A.V. Sobachkin, V.I. Yakovlev,
A.A. Sitnikov, D.O. Mul, O.G. Lenivtseva

The chemical composition, structure and microhardness multicomponent mechanoactivated basalt powders and coatings based on them. It has been shown that the application of basalt cover detonation-gas method leads to an uneven distribution of chemical elements in coverage, but the formed coating has high microhardness, increasing the wear resistance of parts with basalt cover.

Key words: wear-resistant coatings, detonation-gas spraying, multicomponent mechanoactivated basalt powders.