

## 参考文献

1. 崔中林, 张彦明. 现代实用动物疾病防治大全[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 257-258.
2. 苗儒, 刘云鹏. 内蒙古自治区动物疫病风险监管机制的建立与实践[J]. 中国动物检疫, 2016, 33(5): 42-44.
3. 鲍裕国, 赵贵良. 内蒙古自治区牧区肉羊追溯体系的建设现状调查分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(12): 93-98.

## СОЗДАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЕРАМИКОЙ И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ, СВЕРХЗВУКОВЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Ваганов В. В., Нисс В. С.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь,  
vovaganov@park.bntu.by

**Annotation.** The paper discusses the possibility of obtaining coatings with a thickness of more than 4 mm, containing the maximum permissible amount of modifying additive: ultrafine diamonds in a matrix of copper powder and silicon carbide in aluminum powder using supersonic gas-dynamic sputtering. The modes of spraying and coating properties been investigated. The hardness of the coating increases more than 2.5 times while maintaining the adhesive and cohesive strength.

Газодинамическое «холодное» напыление – уникальный в своем роде метод создания покрытий с сохранением свойств исходного материала [1; 2]. Напыление выполняется установками низкого, менее 1 МПа, и высокого, более 10 МПа, давлений. Покрытие формируется за счет кинетической энергии частиц порошка металла или сплава при соударении с подложкой. Носителем является сжатый воздух, азот, инертные газы. Толщина покрытия регулируется режимом напыления и составляет от 5–10 мкм и более.

Цель данной работы состояла в создании алмазоподобного (на основе ультрадисперсных алмазов – УДА) покрытия толщиной не менее 4 мм, где связующим является порошковая медь фракцией 10–40 мкм и покрытия состава SiC + Al. Напыление выполнялось на подложку сплава Al-Mg-Si (аналог 6061) установкой ГДУ 3/15 низкого давления керамической разгонной сопловой вставкой. Режимы напыления: дистанция 3–10 мм, газопорошковая смесь формировалась сжатым воздухом, азотом, гелием и их смесью, температура потока на срезе сопловой вставки 150–650 °С.

Смешивание исходных материалов УДА + Cu, SiC + Al выполнялось в четырехкамерной вибромельнице шариками из стали ШХ15 диаметром 10 мм. Коэффициент смешивания  $K = 1,5-1,9$ . Для определения максимально допустимого количества модифицирующей добавки, при условии, что адгезионная прочность составит не менее 40–50 МПа, исходили из предположения, что каждая пластичная частица порошка носителя (Cu, Al) при идеальном смешивании будет окружена наноразмерными частицами УДА и частицами SiC размером 3–5 мкм. Результаты смешивания корректировали по результатам анализа изображений, полученных с помощью оптического микроскопа, методом случайных секущих. При достижении конгломерата, добавление модификаторов и смешивание прекращались. На рис. 1, а представлен шлиф и структура покрытия состава SiC + Al, полученного точечным газодинамическим напылением.

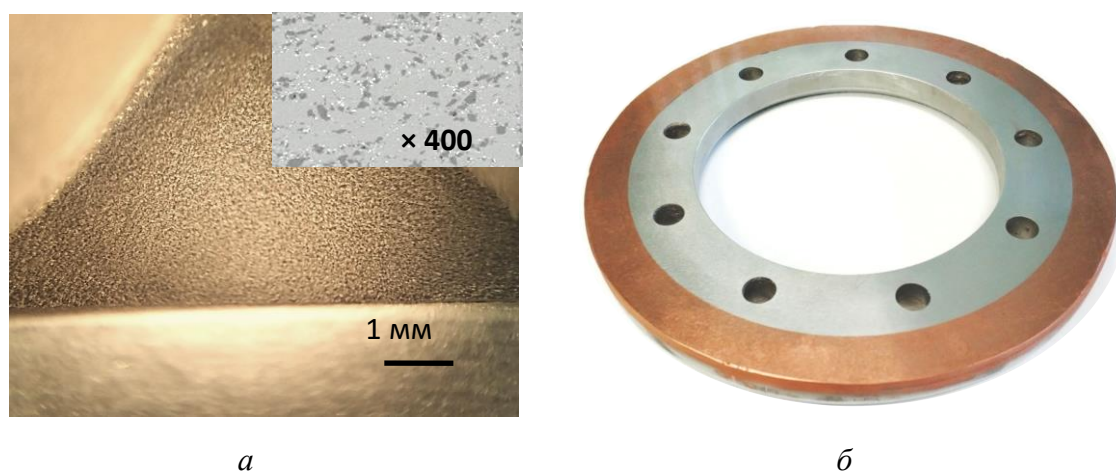


Рисунок 1 – Шлиф и структура покрытия состава SiC + Al, полученного точечным газодинамическим напылением (а) и образец изделия (б)

Результаты исследований представлены в таблице 1. Финишные конгломераты напыляются при повышенных 450–600 °С температурах с давлением рабочего газа на входе более 0,7 МПа. Температура подложки не превышает 60–70 °С. Испытания клеевым методом показали когезионное разрушение не менее 60 МПа.

Таблица 1 – Результаты исследований покрытий

| Конгломерат | Условно достигнутое соотношение, % | Пористость, % | Твердость покрытия, HRC | Толщина покрытия, мм |
|-------------|------------------------------------|---------------|-------------------------|----------------------|
| SiC/Al      | 70/30                              | $\leq 1$      | 46...49                 | 4                    |
| УДА/Cu      | 60/40                              | –             | 61,4                    | 6                    |

Для покрытия УДА/Cu характерна стабильная твердость 61,4 HRC, многократно измеренная по всей поверхности образца, представленного на рис. 1, б.

Очевидные свойства разработанных покрытий: высокие теплопроводность, износостойкость, контактная прочность, низкий коэффициент трения. Предполагаемые варианты промышленного применения разработанных покрытий: подшипники скольжения, механизмы сцепления и торможения, инструменты для обработки твердых пород минералов и оптических элементов, нефтегазодобывающая отрасль, авиа- и ракетостроение.

## Список использованных источников

1. Горанский Г. Г. [и др.]. Оценка строения и свойств алюминиевых покрытий, полученных холодным газодинамическим напылением // Материалы научно-практической конференции «25 лет дипломатических отношений Беларусь – КНР: итоги и перспективы научно-технического сотрудничества». – Минск, БНТУ, 2017. – С. 38–45.

2. Goransky G. [and etc.]. The influence of alumina content in Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder on the properties of cold spraying coatings // Advances in engineering research. – Volume 113. – Atlantis Press, 2017. – P. 782–789.

## ДИСПЕРСНЫЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Руленков А. Д., Рафальский И. В., Долгий Л. П.  
Белорусский национальный технический университет

**Annotation.** The paper discusses the features of recycling aluminum slags and technologies for their processing to obtain materials reused for various purposes. The applied aspects of aluminum slag recycling to obtain powder materials with a high content of aluminum oxide phases after metallurgical processing of aluminum matrix quartz-containing compositions are considered.

Продукция литейного производства находит широкое применение в различных отраслях промышленности. В ходе технологического процесса плавки алюминиевых сплавов образуется шлак – побочный продукт, который необходимо утилизировать, а в лучшем случае переработать «без остатка». Количество образовавшихся отходов зависит от вида и качества исходной переплавляемой шихты, условий плавки, особенностей технологии, используемого плавильного оборудования. Как правило, литейные отходы плавки в основном представлены шлаковыми конгломератами различной дисперсности, в состав которых входят частицы алюминиевого сплава, различных алюмосодержащих соединений (оксидов, карбидов, нитридов алюминия и др.), количество которых варьируется в зависимости от особенностей технологического процесса и используемых шихтовых материалов для выплавки сплава, в значительной степени могут присутствовать соединения различных солей (солевой остаток после рафинирующей обработки сплава).

Проблема утилизации алюминиевых шлаков объясняется высокой степенью экологической опасности для окружающей среды при их захоронении в отвалах, поэтому в настоящее время переработка отходов производства алюминиевых сплавов является общепринятой практикой. Технологии переработки, кроме улучшения экологической ситуации и возвращения земли народному хозяйству,