

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ ЗА СЧЕТ ИНТЕГРАЦИИ АРМИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ

**Невзоров М.В. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет имени*

*П.О.Сухого*

*г.Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Стремление к созданию более прочных износостойких покрытий привело к значительному прогрессу в технологии лазерной наплавки, однако растущие требования к долговечности в эксплуатационных условиях ставят под сомнение эффективность существующих решений. Поэтому актуальной становится задача повышение износостойкости покрытий за счет интеграции армирующих частиц, что является экономически эффективной стратегией повышения характеристик покрытий [1]. Также становится актуальным направления будущих исследований, направленных на разработку покрытий, способных выдерживать высокие температуры и обладающих исключительной твёрдостью [2].

**Цель работы** - систематизировать классификацию армирующих твёрдых и самосмазывающихся частиц в износостойкие покрытия, нанесённые методом лазерной наплавки.

**Результаты работы.** В настоящее время рядом ученых разработаны различные технологические приёмы, с помощью которых твёрдые частицы— включающие оксиды, карбиды, нитриды, бориды и их многогранные соединения—укрепляют покрытия. В зависимости от содержания, размера и морфологии частиц установлено их влияние на износостойкость покрытий, сделанных методом лазерной наплавки, а также определены преимущества и ограничения, связанные с использованием твёрдых и самосмазывающихся частиц.

В общем случае, повышение износостойкости часто направлено на увеличение твёрдости покрытия для повышения его износостойкости. Для достижения такого результата в качестве добавок обычно используются твёрдые частицы, в том числе оксиды, нитриды, карбиды, бориды и соединения  $Ti$  ( $B$ ,  $C$ ,  $N$ ). Рассмотрим свойства каждого из них.

*Твердые частицы оксида  $Al_2O_3$ .* - наиболее часто используемый оксид для армирования твердыми частицами, является недорогим и устойчивым к высоким температурам, по твёрдости уступает только алмазу, идеально подходит для механизма повышения износостойкости.  $Al_2O_3$  может вызвать переохлаждение на границе раздела дендритов, способствуя зарождению жидкого металла и препятствуя дальнейшему росту дендритов, что приводит к более тонкой и плотной структуре покрытия. Наивысшая микротвёрдость, которой можно достичь с помощью  $Al_2O_3$  - 1127 HV.

*Твердые частицы карбида  $SiC$ ,  $TiC$ .*  $TiC$  в качестве армирующих частиц известны своей высокой температурой плавления и твёрдостью, обладают коэффициентом теплового расширения, совместимым с материалами на

основе железа, обеспечивает хорошую смачиваемость и прочность межфазного соединения с подложками на основе железа, что позволяет часто использовать его в качестве армирующей частицы для покрытий на основе железа.

*Твердые частицы нитрида титана TiN* отличаются высокой твёрдостью, износостойкостью и высокой температурой плавления. Как и другие твёрдые частицы TiN разлагается и при разложении титан преимущественно вступает в реакцию с углеродом, образуя твёрдые фазы TiC.

*Твердые частицы бориды TiB и TiB<sub>2</sub>* благодаря высокой твёрдости и коэффициенту теплового расширения, близкому к коэффициенту расширения материалов на основе никеля, он часто используется для армирования покрытий на основе никеля.

*Соединения Ti (B, C, N)*. Характеристики обычно используемых твёрдых частиц и материалов, синтезированных на месте могут повышать износостойкость покрытий, влияние одного типа частиц всегда ограничено. Более того, добавление одного типа частиц не только создаёт одну твёрдую армирующую фазу, и изучение многоэлементных армирующих частиц является важным направлением.

**Заключение.** Различия в износостойкости покрытий во многом зависят от размера частиц и равномерности распределения твёрдых частиц. Чем меньше и равномернее распределены твёрдые частицы, тем плотнее структура покрытия и выше его износостойкость. В целом износостойкие покрытия, усиленные твёрдыми частицами, синтезированными на месте, как правило, имеют более высокую прочность сцепления, более равномерное распределение и меньше примесей по сравнению с частицами с покрытием и прямым добавлением. Однако этот метод хорошо работает для частиц с низкой температурой плавления, в то время как для частиц с высокой температурой плавления, таких как борид титана, эффект от синтеза на месте незначителен, и методы инкапсуляции частиц дают лучшие результаты для частиц с высокой температурой плавления.

**Благодарность.** Искренне признателен научному руководителю к.т.н., доценту Петришину Г.В. за консультации в подготовке данной работы.

### **Литература**

1. Синьшэн Ван, Цифэн Ло, Чжихай Цай, Кай Ва. Достижения в области износостойких покрытий, армированных частицами, нанесёнными с помощью лазера: повышение долговечности за счёт инноваций в материалах // Журнал устойчивого развития энергетики. - 2023. Том 2, Выпуск 4. - С.217-231. <https://doi.org/10.56578/jsec020405>

2. Петришин, Г. В. Исследование микроструктуры поверхности лазерных покрытий из диффузионно-легированных порошков на основе отходов производства / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, М. В. Невзоров // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 28–37. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-28-37>