

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трифанов, М. Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: Диссертация на соиск. уч. ст. к.т.н. / М. Г. Трифанов. – Пермь, 2018. – 164 с.
2. Палев, П. П. Нагруженность и усталостная долговечность привода исполнительного органа горнопроходческого комбайна. Диссертация на соиск. уч. ст. д.т.н.: 05.05.06 Горные машины / П. П. Палев. – Караганда, 1982. – 423 с.
3. Ещин, Е. К. Теория предельных режимов работы горных машин / Е. К. Ещин. – Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1995. – 232 с.
4. Афанасьев, А. И. Совершенствование трансмиссии горных машин как средство повышения их надежности: автореф. дис.... докт. техн. наук.: 05.05.06 / А. И. Афанасьев. – Екатеринбург, 1996. – 43 с.
5. Иванов, С. Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов / С. Л. Иванов. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербург. горного ин-та, 1999. – 92 с.

УДК 621.793

## **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОКСИДОВ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*Ялковский Н. С.*

Брестский государственный технический университет;  
г. Брест, Республика Беларусь

Интенсивному гидроабразивному износу подвергается оборудование в энергетической, абразивной, цементной, металлургической промышленности и других отраслях, связанных с дроблением, измельчением, резкой и транспортировкой сырья и материалов.

Перспективным методом повышения долговечности оборудования, работающего в условиях гидроабразивного износа, является формирование на изнашиваемых поверхностях различного рода защитных покрытий, в том числе газотермических покрытий из керамических материалов.

Не смотря на достаточно широкое применение, особенности гидроабразивного изнашивания покрытий данного типа еще недостаточно изучены.

В данной работе исследовались свойства плазменного покрытия из механической смеси оксидов алюминия  $Al_2O_3$  и титана  $TiO_2$ . Рассматривались покрытия с 2, 8, 14 и 20 % оксида титана в составе.

Покрытие формировалось из порошков зернистостью 40 мкм на установке плазменного напыления швейцарской фирмы “Плазма-Техник АГ”. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

Напыление производилось на образцы, выполненные из стали 40, имеющие форму диска с размерами: диаметр – 50 мм, высота – 10 мм.

Для увеличения прочности сцепления напыляемого покрытия с поверхностью образца использовался подслоя из алюминид никеля (NiAl) толщиной 0,1 мм. Перед напылением поверхность образца подвергалась дробеструйной обработке.

Толщина защитного покрытия составляла 0,4 мм, его микротвердость 11000 МПа.

Определение износостойкости покрытия производилось на установке роторного типа с вращающимися образцами.

Поверхность образца, подвергаемая абразивному изнашиванию, имела площадь 12 см<sup>2</sup>. Использовалась весовая методика определения величины износа. Определение массы образцов до и после испытаний производилось на аналитических весах модели ВЛА-200-М, которые обеспечивают взвешивание образцов массой до 200 г с точностью 0,0001 г.

Определялся объемный износ защитного покрытия, при этом плотность покрытия в соответствии с [1] принималось равной 3,4 г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты сравнивались с величиной гидроабразивного износа стали 40, принятой в качестве эталона.

Рассматривалось влияние на абразивное изнашивание факторов, которые могут привести к инверсии (изменению) ряда износостойкости. К числу последних относятся: угол взаимодействия абразивного потока с поверхностью изнашиваемого материала ( $\alpha$ ) и коэффициент твердости.

Угол взаимодействия ( $\alpha$ ) один из основных параметров, определяющих характер изнашивания. При значениях  $\alpha$ , близких к 90°, в поверхностных слоях материала реализуются процессы, аналогичные процессам, происходящим при ударно-абразивном изнашивании. В этом случае в зависимости от характеристик материала и интенсивности внешнего воздействия преобладают полидеформационное, усталостное разрушение или выкрашивание. Когда угол  $\alpha$  близок к 0°, гидроабразивное изнашивание аналогично изнашиванию в условиях скольжения по абразиву. При этом разрушение материала протекает преимущественно в результате микрорезания и деформирования с образованием коротких царапин.

В рассматриваемой работе величина угла  $\alpha$  имеет значения 20 и 80°.

Коэффициент твердости представляет собой отношение твердости абразивных частиц к твердости изнашиваемого материала. Для того чтобы получить предельную характеристику износостойкости покрытия, использовался абразив, твердость которого значительно (в 1,3...1,7 раза) превышает твердость покрытия. Учитывая, что твердость покрытия составляет 11000 МПа, в качестве абразивного материала принимаем электрокорунд твердостью 18000 МПа.

Остальные факторы, определяющие интенсивность изнашивания поддерживались в процессе испытаний на постоянном уровне:

- скорость гидроабразивного потока – 52 м/мин.
- размер абразивных зерен – 0,315...0,4 мм.
- концентрация абразива в потоке – 30...35 %
- испытания проводились в нейтральной среде.

Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Объемный износ и относительная износостойкость плазменных покрытий из смеси оксидов алюминия и титана.

Содержание TiO <sub>2</sub> в покрытии	Объемный износ мм <sup>3</sup> /час		Относительная износостойкость	
	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 80^\circ$
2 %	0,98	1,51	0,40	0,22
8 %	0,86	1,43	0,46	0,23
14 %	0,78	1,29	0,50	0,26
20 %	0,94	1,33	0,44	0,25

Наибольшей износостойкостью в обоих рассматриваемых случаях (воздействии гидроабразивного потока под углами  $20^\circ$  и  $80^\circ$ ) обладает покрытие состава 86 %  $Al_2O_3$  и 14 %  $TiO_2$ . Следовательно, при таком соотношении компонентов формируемое покрытие обладает оптимальным соотношением наиболее важных для износостойкости свойств (твердость, пористость, когезионная прочность).

Как свидетельствуют полученные результаты, гидроабразивная износостойкость плазменных покрытий из механической смеси оксидов алюминия и титана невысока и в зависимости от условий воздействия абразивного потока составляет 0,40–0,50 при угле взаимодействия  $20^\circ$  и 0,22–0,26 при угле взаимодействия  $80^\circ$ . Этот факт определяется особенностями строения плазменного покрытия, а именно:

1. Высокой хрупкостью керамического покрытия.
2. Наличием в покрытии большого числа пор, которые уменьшают прочность материала и служат концентраторами напряжений при разрушении.
3. Высоким уровнем остаточных напряжений в материале покрытия.
4. Невысокой прочностью сцепления между частицами покрытия, так как взаимодействие между частицами покрытия вследствие скоротечности его формирования ограничивается только химическими связями.

Таким образом, покрытия данного типа не могут использоваться для эффективной защиты в условиях гидроабразивного изнашивания в случае, когда твердость абразива значительно превышает твердость защитного покрытия.

Сообщения об их применении, вероятно, относятся к изнашиванию абразивными материалами относительно невысокой твердости, либо к износу в агрессивных средах, когда помимо абразивного воздействия имеет место интенсивное разупрочняющее воздействие среды. В этом случае керамические покрытия в силу своей высокой химической стойкости может быть достаточно эффективным.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов (справочник) / Ю. С. Борисов [и др.]. – К.: Наукова думка, 1987. – 544 с.
2. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.