

ность” – данные устройства способны работать лишь с определёнными моделями клипсаторов, что усложняет их интеграцию в производство. Также немаловажным является скудный выбор и отсутствие производств данных устройств в СНГ.

Предложения. Предлагается выполнить комплекс научно-исследовательских работ:

1) На основании анализа, проведённого в данной работе, спроектировать навешивающее устройство колбасных батонов.

2) Разработать автоматизированную линию формования колбасных батонов и интегрировать туда разработанное ранее устройство навешивания.

Список цитированных источников

1. Видеохостинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.

2. Официальный сайт машиностроительной фирмы JBT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jbtc.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.

3. Официальный сайт машиностроительной фирмы Poly-Clip [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polyclip.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.

4. Интернет-энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа: 29.03.2021.

УДК 539.21

Пуляшко Р. А.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Барковская М. М.

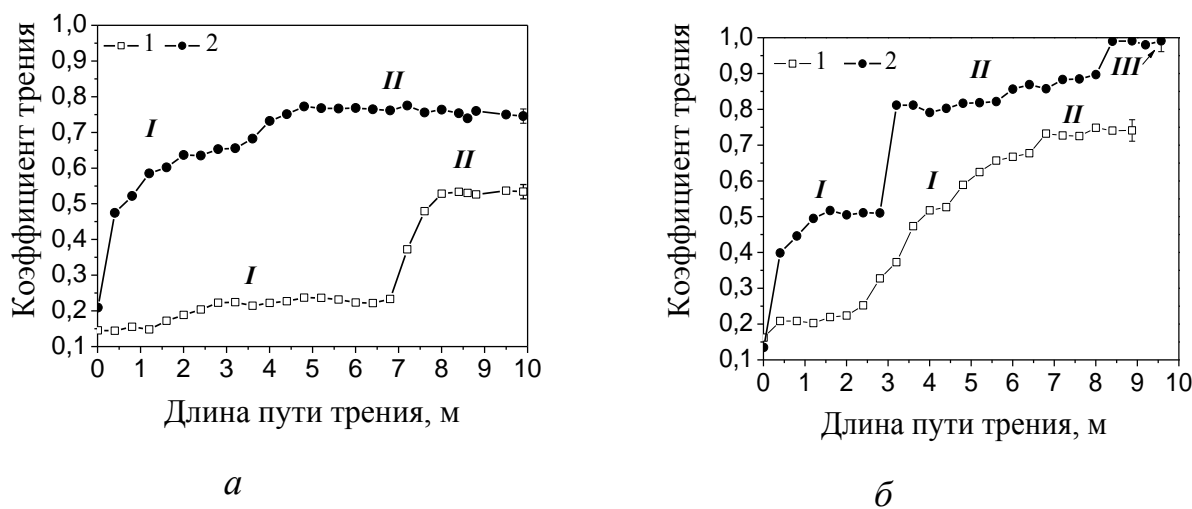
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КИБ

Коэффициент трения и износостойкость являются важными характеристиками рабочих поверхностей деталей и инструментов с нанесенным на них покрытием. Трение покрытий представляет собой сложный процесс, который заключается в соприкосновении движущихся тел и удалении материала в области их взаимодействия, при этом их изнашивание в значительной мере определяется механическими свойствами поверхностного слоя. Согласно молекулярно-механической теории трения, трение имеет двойственную природу: молекулярную и механическую, т. е. трение обусловлено преодолением сил молекулярного взаимодействия на пятнах фактического контакта (молекулярная составляющая) и сопротивлением деформируемого материала перемещению внедрившихся в его объем неровностей более тяжелого тела (механическая составляющая) [1]. В связи с этим целью данной работы являлось установление закономерностей изменения трибологических характеристик покрытий в зависимости от их элементного состава.

Покрытия были сформированы на технологической установке ВУ-2МБС методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (методом КИБ). При формировании нитридных покрытий TiN и Cr_{0,8}N_{0,2} использовались следующие режимы осаждения: в рабочей камере давление азота $p_N = 1 \cdot 10^{-1}$ Па; ток дуги титанового (ил хромового) катода I составлял 100 А; подаваемый на подложку потенциал равен $U_b = -120$ В. Продолжительность процесса осаждения 10 мин. Толщина покрытий определялась по РЭМ-изображениям их поперечных шлифов и составляла 2,6 мкм (для TiN) и 2,8 мкм (для CrN) [2; 3].

Исследования трибологических характеристик сформированных покрытий были выполнены на трибометре ТАУ-1М. Испытания по схеме «палец-плоскость» проводились в условиях сухого трения в течение 30 мин при следующих режимах работы: скорость движения столика с образцом 4 мм/с, величина нагрузки 1,0 Н и 1,5 Н. Индентор представлял собой гладкий палец с радиусом закругления 1 мм, выполненный из твердого сплава ВК8 (состав: 92 % WC, 8 % Co) [3; 4].

Трибологические характеристики покрытий TiN и Cr_{0,8}N_{0,2} определялись с помощью измерения коэффициента трения и анализа их треков износа. На рис. 1 представлены полученные в результате возвратно-поступательного движения индентора при нормальной нагрузке 1,0 Н и 1,5 Н зависимости коэффициента трения от длины пути индентора по поверхности покрытий. Их анализ показал, что на данных кривых можно выделить участки, соответствующие различным периодам изнашивания. Так, на первом участке наблюдается линейное возрастание коэффициента трения и высокая интенсивность изнашивания, что соответствует начальному периоду, имеющему место приработки трущихся поверхностей и формирования рабочего рельефа дорожек трения (период «приработки», I). Все это с течением времени приводит к уменьшению и стабилизации интенсивности изнашивания, и на втором участке II наступает период «установившегося трения», где коэффициент трения достигает постоянного значения и не изменяется со временем (табл. 1) [1; 4].



а – при нагрузке на индентор 1,0 Н; *б* – при нагрузке на индентор 1,5 Н
Рисунок 1 – Зависимости коэффициента трения покрытий TiN (1) и Cr_{0,8}N_{0,2} (2) от длины пути трения

Таблица 1 – Коэффициент трения и площадь фактического контакта покрытий с индентором

Покрытие	Коэффициент трения при нагрузке		Площадь фактического контакта (мм ²) при нагрузке	
	1,0 Н	1,5 Н	1,0 Н	1,5 Н
TiN	0,52±0,02	0,72±0,02	0,76	0,58
Cr _{0,8} N _{0,2}	0,75±0,02	0,81±0,02	0,94	1,05

В результате 30 минут движения индентора, что соответствует длине пути 9 м на кривой 2 (рис. 1 б), для покрытия нитрида хрома наблюдается резкое

увеличение коэффициента трения до 0,99 при увеличении нагрузки на индентор до 1,5 Н. Это соответствует периоду интенсивного или катастрофического изнашивания (третий участок, III) [1; 4]. В этот момент и происходит разрушение покрытия.

Анализ результатов показывает, что коэффициент трения покрытия нитрида хрома при нагрузках на индентор 1,0 Н и 1,5 Н заметно выше, чем для покрытия TiN. Так, уже в начале трибологических испытаний при движении индентора при нагрузке 1,0 Н коэффициент трения быстро увеличивается до 0,60 (период «приработки»), а с течением времени коэффициент трения устанавливается на значении 0,75 [4; 5].

С ростом нагрузки на индентор до 1,5 Н внедрение контртела в поверхностные слои покрытия нитрида хрома способствует увеличению площади фактического контакта от 0,94 до 1,05 мм² (табл. 1), что свидетельствует о преимущественном пластическом характере контакта и развитии адгезионных процессов [4; 5]. Вследствие этого, с увеличением нагрузки повышается коэффициент трения до 0,81, который определяется преимущественно механической составляющей, т. е. глубиной относительного внедрения выступов соприкасающихся тел, и с течением времени будет наблюдаться разрушение покрытия.

В покрытиях TiN в отличие от покрытия нитрида хрома с увеличением нагрузки на индентор от 1,0 до 1,5 Н в начале испытаний (около 2,0–2,5 м на стадии «приработки») коэффициент трения не изменяется или уменьшается. Такое изменение коэффициента трения свидетельствует о преимущественном упругом и/или упругопластическом взаимодействии поверхности покрытий с индентором в начале нагружения. Это связано с тем, что нагрузка растет быстрее, чем вызываемое этим ростом увеличение площади фактического контакта (табл. 1). Следовательно, в данном диапазоне нагрузок трение происходит в режиме упругопластического контакта и значение коэффициента трения, в основном, определяются его молекулярной составляющей [5; 6].

Таким образом, коэффициент трения покрытий TiN в 1,1–1,4 раза меньше по сравнению с покрытием Cr_{0,8}N_{0,2}. Основным механизмом износа покрытий TiN является износ в результате упругопластического деформирования, в отличие от покрытия нитрида хрома, где основной вклад в разрушение покрытия вносит абразивный механизм износа.

Список цитированных источников

1. Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах : учебник для вузов / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – Минск : Высшая школа, 1999. – 374 с.
2. Структура и механические свойства нитридов циркония, молибдена, титана и хрома, полученных вакуумно-дуговым осаждением на твердом сплаве T15K6 / В. В. Углов [и др.] // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Т. 17, № 4. – С. 281–284.
3. Вакуумно-плазменные технологии формирования высокотвердых и износостойких материалов на основе нитридов переходных металлов / В. В. Углов [и др.] // Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ 2007) : сборник докладов международной научной конференции, Минск, 23–26 октября 2007 г. : в 3 т. / Мн. : Изд. центр БГУ ; редкол.: Н. М. Олехнович (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 290–292.
4. Прочностные характеристики вакуумно-дуговых покрытий / М. М. Барковская, В. В. Углов, В. В. Ходасевич, В. В. Понарядов // Радиационная физика твердого тела : труды XXIV международной конференции, Севастополь, Россия, 7–12 июля 2014 г. / М. : ФГБНУ «НИИ ПМТ» ; редкол.: Г. Г. Бондаренко (отв. ред.) [и др.]. – Москва, 2014. – С. 438–448.

5. Барковская, М. М. Структура и свойства покрытий, сформированных вакуумно-дуговым осаждением при совмещении потоков титана и хрома в среде азота : дис. канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / М. М. Барковская. – Минск., 2016. – 181 с.

6. Любарский, И. М. Металлофизика трения / И. М. Любарский, Л. С. Палатник. – М. : Металлургия, 1976. – 176 с.

УДК 629.113

Савко М. Э.

Научный руководитель: ст. преподаватель Волощук А. А.

ТОРМОЗА-ЗАМЕДЛИТЕЛИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Технический прогресс позволяет создавать всё более мощные силовые установки для транспортных средств (ТС), что означает увеличение скоростей, с которыми могут передвигаться автомобили. Однако недостаточно лишь разогнать автомобиль, также необходимо осуществить эффективную его остановку. Легковым ТС достаточно имеющейся рабочей тормозной системы в силу своей относительно малой массы. Однако с грузовыми ТС дела обстоят иначе: помимо своей большой массы им необходимо перевозить грузы, обладающие чаще всего большей массой самого транспорта. Поэтому для улучшения тормозных характеристик магистральных ТС была создана вспомогательная система торможения.

Еще полвека назад было запатентовано одно из возможных решений – тормоз-замедлитель (ретардер), который не останавливает автомобиль полностью, но создаёт существенное сопротивление перемещению ТС, без задействования основной тормозной системы.

С момента появления первого тормоза-замедлителя появилось приличное количество разновидностей системы, которые успешно применяются на практике. Справедливо было бы рассмотреть некоторые из них.

Начать следует с одних из самых первых тормозов-замедлителей – моторных тормозов. Они самые дешёвые и простые, что является привлекательным условием как для автопроизводителей, так и для их клиентов. Сегодня на автомобилях мы можем увидеть две их разновидности. Первый вид реализован в виде заслонки в выпускном коллекторе, которая перекрывает выход ОГ, что создаёт противодействие, которое и тормозит двигатель, так же прекращается подача топлива в цилиндры [1]. Второй вид – это декомпрессионный тормоз. У него может быть несколько способов исполнения, однако все они основаны на выпуске сжатого воздуха после такта сжатия, т. е. отсутствует полезная работа двигателя. Из недостатков можно выделить недостаточно большое тормозное усилие, ко всему прочему недостатком является обязательное включенной передачи [2].

Более серьёзным развиваемым тормозным усилием могут похвастаться гидродинамические и электромагнитные тормоза-замедлители.

Гидродинамический тормоз-замедлитель распространен в большей степени, чем электромагнитный. Его основное преимущество – это стабильность тормозного усилия по мере повышения температуры. Гидродинамический ретардер по принципу работы очень похож на гидротрансформатор. Гидродинамический ретардер состоит из двух турбин, закрепленных на одной оси в общем