



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук

Межведомственный научный совет по трибологии

Ассоциация инженеров-трибологов России

при информационной поддержке журналов
«Трение и износ», «Проблемы машиностроения и надежности машин»,
«Сборка в машиностроении, приборостроении» и «Lubricants»

ТРИБОЛОГИЯ – МАШИНОСТРОЕНИЮ

**XII Международная научно-техническая конференция,
посвященная 80-летию ИМАШ РАН**

Сборник трудов конференции

*Proceedings of XII International scientific conference
“Tribology for Mechanical Engineering”
dedicated to the 80th anniversary of IMASH RAS*

19-21 ноября 2018 года
Москва

Таким образом, в результате проведенных исследований определено оптимальное содержание компонентов в базовой основе арктического моторного масла, состоящей из фр. 360°С-КК и ПАОМ. С использованием базовой основы разработаны рецептуры моторных масел для холодной климатической зоны [4], содержащие вязкостную, депрессорную присадку и пакет присадок. Разработанные арктические моторные масла соответствуют классам вязкости 0W-20 и 0W-30 по SAE J300.

- [1] Кашин Е.В., Шабалина Т.Н., Маслов И.А. и др. Технологические аспекты получения низкозастывающих основ смазочных материалов из остатков гидрокрекинга // Нефтяное хозяйство.– 2016, №2, 124-128.
- [2] Самедова Ф.И., Гасанова Р.З. Получение полусинтетических углеводородных масел // Химия и технология топлив и масел.– 2007, №6, 9-11.
- [3] Патент 2570649. Способ получения основ низкозастывающих смазочных материалов.
- [4] Патент 2638528. Моторное масло арктического назначения.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С.

E-mail: vearkhipov@mail.ru

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва, Россия.

Приводятся результаты определения трибологических свойств покрытий меди, полученных газодинамическим напылением при трении в среде консистентного смазочного материала и сухого трения. Результаты показали высокую износостойкость газодинамических покрытий. Испытания без смазки показали большие перспективы газодинамических покрытий на основе меди и цинка.

Ключевые слова: газодинамические покрытия, интенсивность изнашивания, износ, коэффициент трения.

WEAR RESISTANCE OF COATINGS OBTAINED BY GASDYNAMIC SPUTTERING Arkhipov V.E., Landarski F.A., Moskvitin G.V., Pugachev M.S.

Results determining the tribological properties of copper coatings obtained by gasdynamic spraying during friction in medium of consistent cohesive material and dry friction are presented. The results showed high wear resistance of gasdynamic coatings. Tests without lubrication showed great prospects for gasdynamic coatings based on copper and zinc.

Keywords: gasdynamic coatings, wear intensity, wear, friction coefficient.

Повышение износостойкости металлов и сплавов достигается формированием на изделиях покрытий разного состава и морфологии. Особое место среди распространённых методов нанесения покрытий на изделия из железоуглеродистых сплавов занимает метод газодинамического напыления.

Компактное и надёжное оборудование серии «ДИМЕТ» позволяет наносить качественное покрытие в производственных и полевых условиях на локальные и труднодоступные участки поверхности изделий [1,2]. Нагрев материала основы после напыления покрытия не превышает 120-140°С и, поэтому, процесс не сопровождается изменением механических свойств и геометрии обрабатываемых изделий и конструкций.

Газодинамическое напыление осуществляется с помощью сверхзвукового потока нагретого воздуха, в который вводится механическая смесь пластичных частиц металлов (меди, алюминия, никеля и т.д.) и

твёрдых частиц корунда. При соударении с поверхностью пластичные частицы металла закрепляются на ней, а твёрдые частицы корунда их деформируют и уплотняют покрытие [2].

Покрyтия, нанесённые газодинамическим напылением, обладают высокими механическими характеристиками, что может обеспечить надёжную эксплуатацию изделия при воздействии значительных нормальных и касательных нагрузок. Например, прочность сцепления (адгезия) покрытия меди со сталью твёрдостью до 45 HRC достигает 50 МПа, а когезионная прочность металла покрытия находится в пределах 80-150 МПа в зависимости от технологических параметров напыления [3]. Коэффициент трения покрытия меди в сопряжении с контртелом (шариком) из стали ШХ15 при испытании в масляной ванне находится в пределах 0,07-0,08 в диапазоне удельных напряжений 35-60 МПа [4]. Покрyтия, обладающие высокой твёрдостью (до 250 HV 0,025/10), способны сопротивляться

разрушению под воздействием твёрдых частиц и взвесей, находящихся в воздушной или жидкой среде [5]. Целью представленной работы является определение трибологических свойств покрытий меди при трении в среде консистентного смазочного материала и сухого трения.

Методики, материалы и оборудование.

Напыление покрытия меди на подложку из стали ШХ15 проводится на газодинамической установке модели «ДИМЕТ-404» с использованием механической смеси частиц корунда (Al_2O_3) и меди при температуре 270°C и 450°C, а также смеси частиц меди и цинка (латуни) в состоянии поставки [2].

Испытание с использованием смазочных материалов проводилось на машине трения МТ-8 по схеме возвратно-поступательного движения образца с покрытием по контртелу из стали ШХ15 твёрдостью 58-60 HRC при средней скорости перемещения 0,2 м/с и ступенчатом нагружении от 1 до 10 кг [6]. Испытания проводятся в двух типах смазочных материалов: жидком – индустриальное масло И-20А и пластичном – Литол -24.

Испытание без использования смазочных материалов проводилось на триботестере фирмы CETR модели UMT-3 по схеме линейного контакта «цилиндр-плоскость» при осциллирующем движении контробразца с заданной частотой. Режим испытаний: амплитуда $A=0,5$ мм; частота $f=30$ Гц, нормальная нагрузка $N=10$ Н. В процессе испытаний контролировался коэффициент трения, а после испытаний профилографированием определялась глубина и ширина дорожки трения на исследуемом покрытии, а также осуществлялось профилометрирование профиля кольцевого образца.

Реверсивный вид движения образцов пары трения относится к наиболее тяжёлым, и он позволяет более ярко выявить преимущества или недостатки того или иного вида обработки конструкционных материалов.

Результаты исследования. Изнашивание материала покрытия в среде пластичного смазочного материала Литол-24 изменяется скачкообразно «рис. 1, кривая 2». После достижения значений, близких к установившимся в среде масла, наблюдается повышенный износ и далее процесс повторяется. Скачкообразный характер изнашивания связан с явлением переноса меди на поверхность стали в смазочных материалах, содержащих активные компоненты. Это явление подробно изучено и его положительный эффект связан с экранированием поверхности стали и выражается в более низких уровнях разрушения поверхности сопряжённого образца [7].

Вид кривой изнашивания покрытия, нанесённого при температуре 450°C, имеет аналогичный характер и отличается лишь количественными характеристиками.

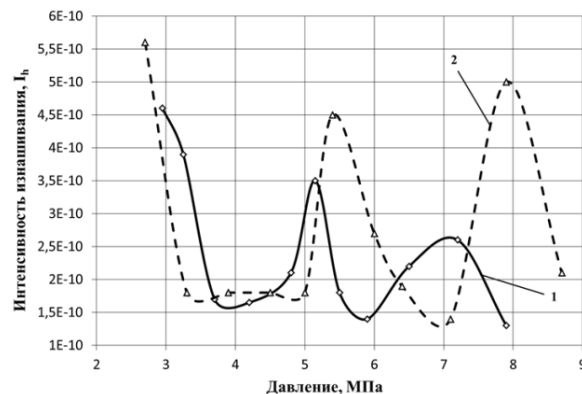


Рис. 1. Зависимость интенсивности изнашивания (I_h) покрытия, нанесённого при температуре 270°C от давления на контакте: 1 – трение в масле И-20А; 2 – трение в смазке Литол-24

Анализируя данные по суммарному износу покрытий меди, нанесённых при разной температуре напыления, можно отметить, что при работе пары трения в индустриальном масле И-20А покрытие, нанесённое при 450°C, обладает более высокой износостойкостью в диапазоне удельных напряжений до 10 МПа (рис.2). При использовании в паре трения пластичной смазки Литол-24 более эффективно сопротивляется износу покрытие, нанесённое при 270°C (рис.2).

Анализируя результаты суммарного износа образцов с покрытием и контртел можно утверждать, что при использовании в качестве смазки индустриального масла И-20А, следует наносить покрытие при температуре 450°C. Для повышения работоспособности узла трения при использовании пластичной смазки Литол-24 целесообразно напылять покрытие меди при температуре потока воздуха 270°C.

Результаты измерения микрорельефа поверхности после испытания образцов с покрытиями, нанесёнными при 270°C и 450°C, и контртел подтверждают выводы, сделанные на основе результатов анализа износа, а именно, покрытие меди после напыления при низкой температуре целесообразно использовать в условиях жидкой смазки. А для повышения долговечности работы пары трения, где используется покрытие меди, нанесённое при высокой температуре, следует применять консистентную смазку.

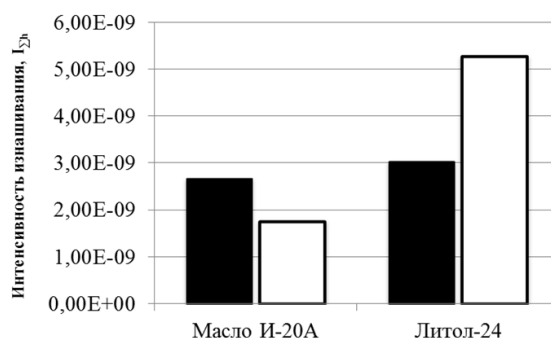


Рис. 2. Суммарные интенсивности изнашивания покрытий, нанесённых при температуре: ■ - 270°C, □ - 450°C

Результаты испытаний без смазки приведены в таблице 1 и показывают, что при длине пути 1,3 км коэффициент износа покрытия на основе смеси частиц меди и цинка в 3,5 раз меньше, чем у покрытия меди. При этом, интенсивность изнашивания контртела (кольца) в сопряжении с покрытием на основе частиц Cu+Zn в 150 раз ниже, чем в сопряжении с покрытием меди.

Таблица 1. Результаты испытания покрытий без смазки.

Параметры оценки	Покрытие Cu	Контртело - кольцо	Покрытие Cu+Zn	Контртело - кольцо
h , мкм – износ	166	20	12	$\approx 0,01$
μ – к-т трения	0,6	0,6	0,88	0,88
q , МПа – конт. давл.	0,6	0,6	5,9	5,9
$I \cdot 10^{-8}$ – инт-ть изн.	3,7	1,5	1,0	$\approx 0,01$
$K \cdot 10^{-8}$, МПа ⁻¹ – коэф. износа	6,2	2,5	0,17	$\approx 0,01$

Выводы. Испытания с использованием смазочных материалов показали высокую износостойкость покрытий, соизмеримую с её показателями при трении в режиме избирательного переноса [7], когда потери на износ предельно малы. Покрытие, полученное методом газодинамического напыления, обладает высокой работоспособностью при испытаниях в условиях трения и изнашивания: I_h (покрытия) $\approx (1,1-1,5) \cdot 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx (0,3-0,4) \cdot 10^{-11}$ при трении в минеральном масле И-20А и I_h (покрытия) $\approx (2-5) \cdot 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx 0,2 \cdot 10^{-11}$ в пластичном смазочном материале Литол-24.

Испытания без смазки показывают, что интенсивность изнашивания покрытия на основе меди значительно выше (3,7 раз), чем покрытия на основе

меди и цинка. При этом, износ контртела кольца из стали на два порядка выше, что обуславливает перспективность использования покрытия на основе меди и цинка.

Метод газодинамического напыления является весьма перспективным инструментом для решения задач повышения надёжности, долговечности и безопасности эксплуатации узлов трения различных конструкций. Кроме того, особенности изнашивания покрытия указывают на зависимость уровня поверхностного разрушения при трении покрытия по стали как от внешних условий испытаний (что характерно для процессов трения и изнашивания), так и от технологических параметров процесса. Последнее открывает перспективы и направления технологических исследований для решения технических задач и обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделий.

- [1] Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. Москва. Машиностроение. 1985. 239с.
- [2] Димет. Применение технологии и оборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimet-narod.ru/> - (Дата обращения 31.08.2017).
- [3] Адгезия и когезия газодинамических покрытий / В.Е. Архипов, А.В. Балашова, А.Ф. Лондарский, Г.В. Москвитин, М.С. Пугачев // Труды конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ – 2016)». 26-28 октября 2016. С. 196-199.
- [4] Триботехнические характеристики газодинамических покрытий / Дунаев А.В., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачёв М.С. // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. № 8. С. 37-41.
- [5] Структура и свойства покрытий, нанесенных газодинамическим напылением / Архипов В.Е., Дубравина А.А., Куксёнова Л.И., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 4 (124). С. 18-24.
- [6] Куксёнова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М. Методы испытаний на трение и износ. Справочное издание М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 152 с.
- [7] Рыбакова Л.М., Куксёнова Л.И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982. 520 с.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЯЗКОУПРУГОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОДШИПНИКОВОЙ ВТУЛКИ, ПОКРЫТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛЕГКОПЛАВКИМ ПОКРЫТИЕМ

Ахвердиев К.С., Лагунова Е.О., Мукутадзе М.А.

E-mail: murman1963@yandex.ru

ФГБОУ ВО РГУПС, г. Ростов-на-Дону, Россия.

В работе дается метод формирования точного автомодельного решения задачи гидродинамического расчета радиального подшипника скольжения, работающего на вязкоупругом жидком смазочном материале, обусловленном расплавом поверхности подшипниковой втулки, покрытой легко-

CALCULATED MODELS OF THE HYDRODYNAMIC VISCOELASTIC LUBRICANT WHICH IS FORMED WHEN MELTING THE SURFACE OF THE BEARING PLUG COVERED WITH THE METAL LOW-MELTING COVERING

Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A.