

Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПАР ТРЕНИЯ С ПЛАЗМЕННЫМИ ПОРОШКОВЫМИ ФРИКЦИОННЫМИ
МАТЕРИАЛАМИ И СТАЛЬНЫМ КОНТРТЕЛОМ ПРИ РАБОТЕ В МАСЛЕ
ДЛЯ КОНУСНОГО СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Представлены результаты триботехнических испытаний пар трения с плазменными фрикционными покрытиями на конусе синхронизатора, используемого в коробках передач (КП), и контртелом Ст20Х2Н4А (HRC=58) при работе в трансмиссионном масле марки ТСЗП-8 на машине трения МТ- 68.

Ключевые слова: трение в масле, триботехнические показатели, коэффициент трения, износ, скорости скольжения, температура, машина трения, новый фрикционный материал, стальное контртело.

Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov

INVESTIGATION OF THE MAIN TRIBOTECHNICAL INDICATORS FRICTION COUPLES WITH PLASMA POWDER FRICTION MATERIALS AND A STEEL COUNTERBODY WORKING IN OIL FOR GEARBOX CONE SYNCHRONIZER

Volgograd State Technical University

The results of tribotechnical tests of friction pairs with plasma friction coatings on the synchronizer cone used in gearboxes (KP) and counterbody St20Kh2N4A (HRC=58) when operating in TSZP-8 gear oil on an MF-68 friction machine are presented.

Keywords: friction in oil, tribotechnical indicators, coefficient of friction, wear, sliding speeds, temperature, friction machine, new friction material, steel counterbody.

В трансмиссиях транспортных гусеничных машин (ГМ) широко применяются конусные инерционные синхронизаторы для переключения передач с конической парой трения сталь по стали в масле, которые не обладают достаточной надежностью – происходит спекание однородных трущихся материалов [1, 2]. Такие синхронизаторы работают в следующих условиях: удельная работа трения 3,8 кгс · м; максимальная скорость скольжения относительно контртела 12,95 м/с; максимальное удельное давление на поверхности трения 1,21 МПа; время буксования за одно включение 0,39 с; температура в зоне трения средняя 100 °С. Разработка новых материалов трения с повышенными основными триботехническими показателями для этого узла является актуальным вопросом [3, 4].

Цель работы – повышение надежности работы пары трения конусного инерционного синхронизатора путем использования новых пар трения с плазменным порошковым фрикционным покрытием на конусе синхронизатора и стальным контртелом [5, 6].

Новизной являются экспериментальные зависимости основных триботехнических показателей пар трения: новые порошковые плазменные фрикционные материалы для работы в масле – стальное контртело, в широком диапазоне скоростей скольжения и удельных нагрузок,

полученных графическим методом на базе результатов триботехнических испытаний на машине трения для удобства оценки и предварительного выбора этих показателей при проектировании конусных фрикционных устройств.

На рис. 1 показан серийный конусный инерционный синхронизатор коробки перемены передач механической трансмиссии легкой транспортной гусеничной машины.

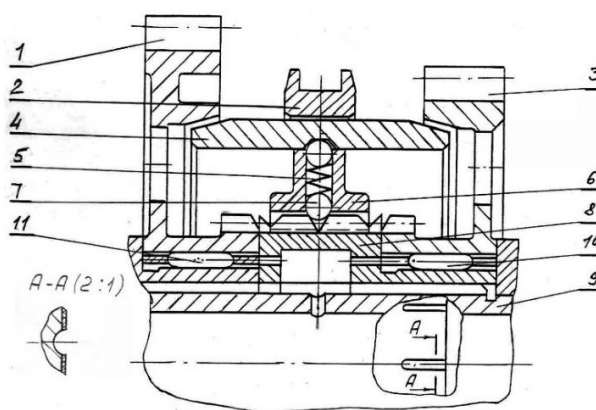


Рис. 1. Инерционный конусный синхронизатор коробки передач:

1 – ведущая шестерня 4 передачи; 2 – кольцо; 3 – ведущая шестерня 3 передачи; 4 – блокирующая обойма (конус синхронизатора); 5 – пружина фиксатора; 6 – зубчатка; 7 – шарик; 8 – зубчатая муфта; 9 – промежуточный вал коробки передач; 10, 11 – ролики

Испытываемые материалы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав и физико-механические свойства испытываемых материалов

Фрикционный материал	Химический состав	Твердость	Пористость, %	Плотность, г/см ³
Сталь 12ХН3А (серийный)	ГОСТ 4543-71	HRC≥52	–	7,8
40Х13	Покрывтие из стали 40Х13 ГОСТ 18143-72	HRC 35-40	17–19	6,4–6,24
Мо	Молибден по ТУ 48-19-203-85	480-520 по Виккерсу (кгс/см ²)	18–21	8,15–8,2
БрАЖ (SiC)	БрАЖ 9-4 по ТУ 48-21-642-79 (96%) SiC по ГОСТ 26327-84 (4%)	120-150 по Виккерсу (кгс/см ²)	15–20	5,4–5,7

Для оценки исследуемых пар трения, физико-механические свойства которых приведены в табл. 1, проводились лабораторные испытания на машине трения МТ-68 [1] в режиме непрерывного нагружения при постоянной скорости скольжения, назначенной из ряда $V_{ск} = 5; 10; 20; 25; 30$ м/с и неизменном давлении нагружения, назначенным из ряда $q = 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0$ МПа за установившийся период. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 26614–85. Температура определяется при расположении хромель-копелевой пары на расстоянии 0,2...0,3 мм от поверхности трения. Точность поддержания скорости скольжения $\pm 3\%$, точность измерения нагрузок, погрешность измерения силы трения, погрешность измерения суммарного линейного износа $\pm 5\%$. Образцы для испытаний имели цилиндрическую форму диаметром 10 мм и высотой 15 мм. С рабочей стороны образцы проточены на диаметр 5 мм и глубину 2,5 мм. Рабочая поверхность образца – торец, обработанный алмазным кругом по диаметру контртела.

В процессе эксперимента фиксировались и рассчитывались следующие триботехнические показатели: время приработки трибосопряжения; износ подвижного сочленения в период приработки; сила трения (коэффициент трения динамический $\mu_{дин}$) в период установившегося износа; темп износа пары трения δ подвижного сочленения в период установившегося износа; предельное давление схватывания пары трения, температура. На каждую точку испытывались 3–5 образцов и по результатам измерений рас-

считывали среднее арифметическое значение определяемого параметра.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки пары трения: новый порошковый плазменный фрикционный материал для работы в масле – стальное контртело (сталь 20Х2Н4А) получены по следующему алгоритму:

1. Разработана методика триботехнических испытаний на машине трения МТ-68.

2. Проведено планирование эксперимента по определению δ , $\mu_{дин}$, t от $v_{ск}$ и q .

3. Получены поля экспериментальных значений коэффициента трения, температуры t , темпа износа для запланированных в эксперименте значений $v_{ск}$ и q .

4. Выполнена статистическая обработка экспериментальных показателей δ , $\mu_{дин}$, t . Построены графики зависимости этих показателей от скоростей скольжения $v_{ск}$ и удельных нагрузок q с линейной интерполяцией в промежуточных точках.

5. По полученным графикам определяются триботехнические показатели проектируемого фрикционного устройства с рассматриваемой парой трения исходя из планируемых условий его работы (для разных сочетаний $v_{ск}$ и q) с выдачей рекомендаций по выбору фрикционного материала и условий работы проектируемого фрикционного устройства.

Результаты триботехнических испытаний на машине трения МТ-68 сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты триботехнических испытаний на машине трения

Фрикционный материал покрытия	V=5 м/с P=6 МПа			V=10 м/с P=4 МПа			V=20 м/с P=2 МПа			V=25 м/с P=1 МПа			V=30 м/с P=0,5 МПа		
	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C
Сталь 12ХН3А(серийный)	<5	0,11	78	16	0,13	120	50	0,24	134	35	0,40	146	40	0,60	170
40Х13	<5	0,10	76	<5	0,12	90	5	0,20	125	<5	0,32	144	10	0,40	154
Мо	10	0,05	60	8	0,11	94	<5	0,19	148	10	0,35	162	<5	0,70	184
БрАЖ (SiC)	15	0,05	75	<5	0,15	90	<5	0,22	105	25	0,35	125	20	0,50	138

δ – темп износа пары трения; $\mu_{дин}$ – динамический коэффициент трения; t – температура.

По результатам триботехнических испытаний рассматриваемых пар трения с различными плазменными порошковыми фрикционными покрытиями на конусе инерционного синхронизатора построены графики зависимости ди-

намического коэффициента трения $\mu_{дин}$ от скорости скольжения $v_{ск}$ и удельных нагрузок q , показанные на рис. 2.

В результате испытаний установлено, что новые пары трения имеют приемлемые основные

триботехнические показатели для использования их в конусных синхронизаторах коробок пере-

ны передач трансмиссий легких транспортных ГМ с удельной мощностью свыше 22,1 кВт/т.

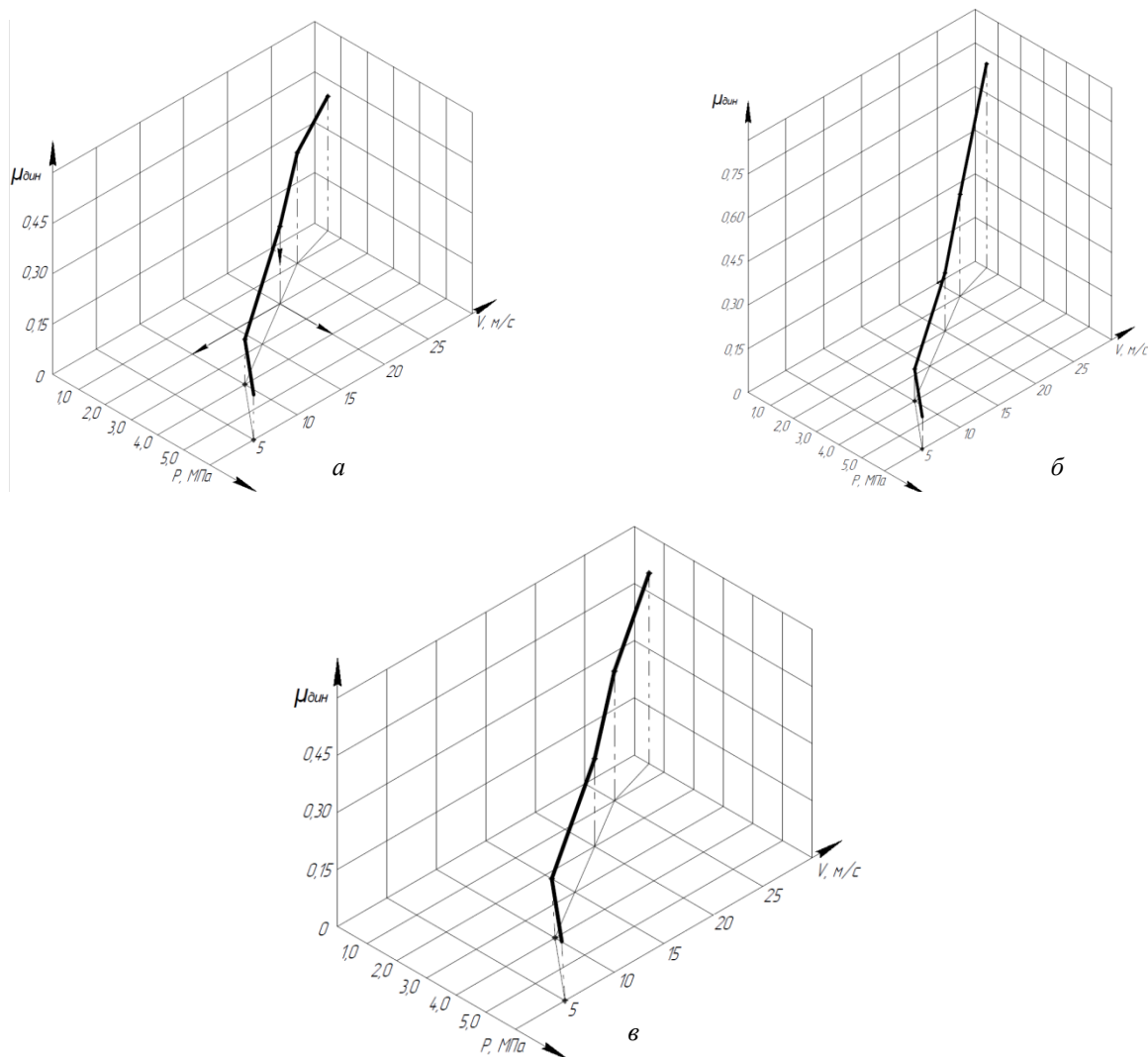


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента трения $\mu_{\text{дин}}$ от $V_{\text{ск}}$ и q для:
а – материала 40X13; б – материала Мо; в – материала БрАЖ (SiC)

Работа может быть использована для оценки и предварительного выбора триботехнических показателей плазменных порошковых фрикционных материалов и стальных контртел при создании надежных и долговечных конусных инерционных синхронизаторов коробок перемены передач трансмиссий легких транспортных ГМ с большой удельной мощностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М. : Машиностроение, 2001. – 736 с.
2. Шаповалов, В. В. Актуальные задачи современной триботехники и пути их решения / В. В. Шаповалов, А. Сладковски, А. Ч. Эркенов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015, № 1 (658), 64–75.

3. Белый, В. А. Актуальные направления развития исследований в области трибологии / В. А. Белый, А. И. Свириденко // Трение и износ. – 1986 (7), № 4, 593–603.
4. Карлов, В. И. Investigation of the Composition, Structure and Properties of New Porous Powder Friction Coatings Obtained by Plasma Sputtering / В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин // MATEC Web of Conferences. Vol. 346 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2021) (Sevastopol, Russia, September 6-10, 2021) 2021. – 9 p. – DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134602031>.
5. Крыхтин, Ю. И. Физические основы разработки заготовок дисков трения с молибденовым покрытием для повышения надежности работы в масле в узлах трансмиссий транспортных машин / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Вестник машиностроения. – 2016. – № 12. – С. 70–74.
6. Крыхтин, Ю. И. Физические основы разработки заготовок дисков трения с бронзовым покрытием для трансмиссий транспортных машин / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Вестник машиностроения. – 2018. – № 6. – С. 42–46.