УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-8-255-26-30

В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин

**К ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ
ИЗ СПЕЧЕННОГО ПОРОШКОВОГО ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
С РАЗНЫМИ СТАЛЬНЫМИ КОНТРТЕЛАМИ ДИСКОВОГО ФРИКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА***

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Приведены аппроксимирующие зависимости триботехнических показателей пар трения из спеченного порошкового фрикционного материала и разных стальных контртел дискового фрикционного устройства от скоростей скольжения, полученные по результатам испытаний на машине трения и предназначенные для выбора материалов пар трения.

Ключевые слова: сухое трение, триботехнические показатели, коэффициент трения, износ, скорости скольжения, температура, аппроксимирующие уравнения, машина трения, спеченный порошковый фрикционный материал, стальное контртело.

© Карлов В. И., Крыхтин Ю. И., 2021.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-48-340021.

V. I. Karlov, Yu. I. Krykhtin

TO ESTIMATE AND PREDICT TRIBOTECHNICAL PARAMETERS OF FRICTION PAIRS FROM SINTERED POWDER FRICTION MATERIAL WITH DIFFERENT STEEL COUNTERFACES FOR DISK FRICTION DEVICE

Volgograd State Technical University

Approximating dependencies of tribotechnical parameters of friction pairs sintered powder friction material and different steel counterfaces of disk friction device on sliding speeds, obtained by results of tests on friction machine and intended for selection of materials of friction pairs, are given.

Keywords: dry friction, tribotechnical parameters, friction coefficient, wear, sliding speeds, temperature, approximating equations, friction machine, sintered powder friction material, steel counterface.

В трансмиссиях транспортных машин широко применяются дисковые тормоза (ДТ) [1]. Условия работы остановочного двухдискового тормоза гусеничных машин (ГМ) массой до 18 т характеризуются следующими показателями: удельной работой трения до 900 Нм/см²; линейной скоростью скольжения относительно контртела до 96 м/с; удельной нагрузкой на поверхности трения до 0,25 МПа; временем буксования при торможении – 4...8 секунд; диапазоном рабочих температур -60 ... +900°С.

Выбор фрикционных материалов и контртел пар трения и исследования фрикционных устройств с высокими скоростями скольжения и новыми спеченными порошковыми фрикционными материалами представляют значительный интерес [2, 3].

Для обеспечения надежной и долговечной работы конструкции ДТ транспортных ГМ с большой удельной мощностью (свыше 30 л.с./Т) требуется внедрение современных спеченных порошковых фрикционных материалов [1, 2]. Актуальным является оценка и прогнозирование триботехнических показателей пар трения с новыми спеченными порошковыми фрикционными материалами и соответствующими им контртелами при проектировании новых фрикционных устройств и модернизации существующих. Для этого прежде всего необходимо определить существенные параметры пар трения и режимов их работы, определяющие свойства фрикционных устройств.

Фрикционные свойства устройств характеризуются коэффициентами трения $\mu_{ст}$, $\mu_{дин}$. Статический момент трения в устройстве (нет проскальзывания) определяется по формуле:

$$M_{тр.ст.} = \mu_{ст} \cdot q \cdot S \cdot R_{ср} \cdot z \cdot \beta = M_{кр} \cdot i = 716,2 \frac{N}{n} i;$$

$$\mu_{ст} = \text{const.}$$

Динамический момент трения в устройстве (есть проскальзывание) определяется по формуле:

$$M_{тр.дин.} = \mu_{дин} \cdot q \cdot S \cdot R_{ср} \cdot z \cdot \beta = M_{кр} \cdot i = 716,2 \frac{N}{n} i;$$

$$\mu_{дин} = f(v_{ск}, q, t).$$

где $\mu_{ст}$, $\mu_{дин}$ – коэффициенты трения статический и динамический соответственно, q – удельная нагрузка; S – площадь поверхности трения; $R_{ср}$ – средний радиус трения, z – число пар трения; β – коэффициент запаса фрикционного устройства; $M_{кр}$ – крутящий момент ДВС, (кГс·м); $v_{ск}$ – скорость скольжения; t – температура; N – мощность ДВС, n – обороты ДВС; i – передаточное отношение от ДВС к фрикционному устройству. Удельная мощность трения равна $N_{уд} = q \cdot v_{ск}$.

Эксплуатационные свойства устройств характеризуются темпом износа пары трения $\delta = f(v_{ск}, q, t)$ и изменением физико-механических свойств материалов, а также их геометрии (коробление).

При разработке и исследовании необходимо учитывать существенное изменение $\mu_{дин}$, δ , t от скорости скольжения $v_{ск}$ и удельной нагрузки q для обеспечения надежной и долговечной конструкции.

Целью работы является оценка и прогнозирование триботехнических показателей пар сухого трения: спеченный порошковый фрикционный материал - разные стальные контртела для дискового фрикционного устройства трансмиссии транспортной легкой ГМ массой до 18 т с большой удельной мощностью.

Новизной работы является использование аппроксимирующих уравнений, полученных по результатам триботехнических испытаний на машине трения спеченного порошкового фрикционного материала сухого трения, работающего с разными стальными контртелами, для оценки и прогнозирования триботехнических

показателей пар трения дискового фрикционного устройства.

В исследовательской работе используются результаты триботехнических испытаний спеченного порошкового фрикционного материала на *Fe* - основе СМК-І37 на машине трения [3]. Материалами контртел служат стали 40Х, 38ХС, сталь 35Л с требуемой термической обработкой, применяемые в реальных узлах. В процессе эксперимента фиксируются и рассчитываются следующие триботехнические показатели: время приработки трибосопряжения; линейный износ подвижного сочленения в период приработки; сила (коэффициент $\mu_{\text{дин}}$) трения установившегося износа; темп износа пары трения δ подвижного сочленения в период установившегося износа; предельное давление схватывания пары трения, температура.

На каждую точку приходится не менее 3...5 испытываемых образцов, а средняя величина определяемого параметра (X) рассчитывается по формуле: $X = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n$, где $X_1, X_2, \dots, X_n$ – результаты измерений; n – число измерений.

Для проведения лабораторных испытаний используется машина трения МТ-68, схема которой представлена на рис. 1 [1].

На машине трения исследованы зависимости коэффициента трения $\mu_{\text{дин}}$, температуры t , темпа износа δ пар трения от скорости скольжения $v_{\text{ск}}$ и удельной нагрузки q .

Триботехнические лабораторные испытания проводились на машине трения МТ-68 в режиме непрерывного нагружения при постоянной скорости скольжения $v_{\text{ск}} = 5; 10; 20; 25; 30 \text{ м/с}$ и неизменным давлением нагружения $q = 0,5; 1,5; 2,5 \text{ МПа}$ в установившийся период. Резуль-

Рис. 1. Схема узла трения машины МТ-68:

1 – вал; 2 – контртело; 3 – суппорт; 4 – узел трения; 5 – маховик; 6 – шестерня; 7 – рейка; 8 – направляющие; 9 – качающаяся каретка; 10 – нагружающее устройство; 11 – цанговый зажим; 12 – индуктивный датчик замера суммарного износа; 13 – пружина; 14 – индуктивный датчик замера суммарной силы трения; 15 – червячный редуктор; 16 – кривошипный механизм; 17 – пружина; 18 – индуктивный датчик замера силы трения от возвратно-поступательного движения

таты лабораторных триботехнических испытаний (без подачи смазки в зону контакта - всухую) на машине МТ-68 пар трения: спеченный порошковый фрикционный материал СМК-І37 с контртелами: сталь 40Х, 38ХС (255...302 НВ; 1,25 Ra), сталь 35Л ($q = 1,5 \text{ МПа}$ для всех контртел) представлены точками на рис. 2, 3, 4. Здесь же приведены графики аппроксимирующих зависимостей исследуемых триботехнических показателей от $v_{\text{ск}}$ и q . При этом стали 40Х и 38ХС – это материал нажимных дисков остановочного ДТ, а сталь 35Л – это материал корпусных деталей ДТ, который вводится взамен чугунных корпусных деталей из-за появления на них трещин при штатных испытаниях на дизельном инерционном стенде.

Рис. 2. Результаты исследования пары трения СМК-І37 – сталь 40Х [4]

Рис. 3. Результаты исследования пары трения СМК-I37 – сталь 38ХС

Рис. 4. Результаты исследования пары трения СМК-I37 – сталь 35Л

Уравнения аппроксимирующих кривых пар трения СМК 137-разные стальные контртела

Пара трения	Для скорости скольжения $v_{ск} = 5...30 \text{ м/с}$ и $q = 1,5 \text{ МПа}$
СМК 137 сталь 40Х	$\delta, \text{мкм/км} = 0,0198\bar{v}_{ск}^3 - 0,9992\bar{v}_{ск}^2 + 16,146\bar{v}_{ск} - 46,118; R^2 = 0,9765;$ $\mu_{дин} = 0,0004\bar{v}_{ск}^2 - 0,0321\bar{v}_{ск} + 0,925; R^2 = 0,9747;$ $t, ^\circ\text{C} = 8,2093\bar{v}_{ск} + 55,233; R^2 = 0,978$
СМК-I37 – сталь 38ХС	$\delta, \text{мкм/км} = 0,0185\bar{v}_{ск}^3 - 0,9788\bar{v}_{ск}^2 + 15,702\bar{v}_{ск} - 50,294; R^2 = 0,8997;$ $\mu_{дин} = -0,0001\bar{v}_{ск}^3 + 0,0057\bar{v}_{ск}^2 - 0,1029\bar{v}_{ск} + 1,1171; R^2 = 0,9958;$ $t, ^\circ\text{C} = 8,2767\bar{v}_{ск} + 59,419; R^2 = 0,9806$
СМК-I37 – сталь 35Л	$\delta, \text{мкм/км} = -0,0075\bar{v}_{ск}^3 + 0,5455\bar{v}_{ск}^2 - 9,2123\bar{v}_{ск} + 59,706; R^2 = 0,9506;$ $\mu_{дин} = -7\text{E}-05\bar{v}_{ск}^3 + 0,0041\bar{v}_{ск}^2 - 0,081\bar{v}_{ск} + 0,7682; R^2 = 0,9913;$ $t, ^\circ\text{C} = 8,2907\bar{v}_{ск} + 49,767; R^2 = 0,9732$

$\bar{v}_{ск}$ – безразмерная величина $v_{ск}, \text{м/с}$; R^2 – достоверность аппроксимации.

Анализ полученных результатов позволяет в зависимости от условий работы фрикционного устройства (скорости скольжения $v_{ск}$ и удельной нагрузки q) прогнозировать и выбирать необходимые триботехнические показатели: коэффициент трения, удельную мощность трения, износостойкость и температуру по аппроксимирующим уравнениям для конкретной пары трения при проведении необходимых расчетов и исследованиях.

Из анализа полученных зависимостей видно, что пары трения СМК 137-сталь 40Х, СМК-I37 – сталь 38ХС, СМК-I37 – сталь 35Л имеют приемлемые триботехнические показатели для использования в тяжелонагруженных ДТ [5].

Заключение

Результаты исследования позволяют делать оценку и прогнозирование триботехнических показателей пары трения - темпа износа δ , коэффициента трения $\mu_{дин}$, температуры t пары

трения в зависимости от скорости скольжения $v_{\text{ск}}$ и удельной нагрузки q дискового фрикционного устройства по аппроксимирующим уравнениям процесса трения, полученных с использованием результатов триботехнических испытаний на машине трения МТ-68. Аналогичные результаты могут быть получены для пар трения с различными сочетаниями фрикционных материалов и контртел.

Работа может быть использована для оценки и предварительного выбора триботехнических показателей пар трения, спеченных порошковых фрикционных материалов на *Fe*-основе и разных стальных контртел при создании надежных и долговечных фрикционных устройств трансмиссий легких транспортных ГМ с большой удельной мощностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. Федорченко, И. М. Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаиоти. – Киев : Наукова думка. – 1975.
4. Крыхтин, Ю. И. Спеченные материалы на *Fe*-основе для фрикционных устройств большой удельной мощности / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Трение и износ Гомель ИММС НАН Беларуси. – 2020. – Том 41, № 2. – С. 180–187.
5. Крыхтин, Ю. И. Разработка дисковых остановочных тормозов с металлокерамическими дисками в трансмиссиях ГМ и математической модели нагружения фрикционного материала / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2019, № 1, 13–17.