

С.А. МАЛХАСЯН, Э.Г. АМБАРЦУМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЕЧЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Приведены результаты ускоренной оценки антифрикционных характеристик спеченных беспористых материалов на основе железа, содержащих фосфиды и сульфиды в качестве твердых смазывающих веществ. Испытания, проведенные на малогабаритных модельных образцах, выявили, что коэффициент трения спеченных материалов несколько выше (в пределах 15%), чем у бронзы, а по износостойкости они превосходят бронзу в 1,7...4,3 раза. Максимальное расхождение результатов модельных и натуральных испытаний не превышает 14%.

Ключевые слова: масштабный фактор, моделирование, пара трения, прогнозировать.

Влияние масштабного фактора на антифрикционные характеристики различных материалов отмечено в [1-5]. Однако работы по исследованию фрикционно-износных характеристик спеченных материалов с учетом масштабного фактора почти не приводились.

Нами совместно с ГосНИИМашиноведения (г. Москва), с учетом масштабного фактора, разработана методика лабораторных испытаний и осуществлен комплекс исследований по моделированию процессов трения и изнашивания спеченных антифрикционных материалов (подшипники и опоры скольжения), работающих в условиях трения без смазки [6]. В задачах моделирования трения и износа масштабные коэффициенты перехода от модели к натуре рассчитываются относительно известного параметра (комплекса геометрических параметров) - $C_{\text{ЕІА}}$, который объединяет заданные макрогеометрические параметры модели и натуре.

Из расчетных критериев и масштабного фактора выявлено, что скорости скольжения (v) и удельные нагрузки (p_a) на контакте у модели и натурального подшипника должны быть одинаковыми, т.е. $p_a \cdot v = 1$. Это позволяет утверждать, что полученные формулы дают возможность с некоторой поправкой (поправка касается необходимости сокращения продолжительности эксперимента, а также чистоты поверхности трения) успешно применять ранее разработанный классический принцип равенства эксплуатационных параметров на модели и натуре [1].

Для проверки расчетных формул перехода от модели к натуре на установке ИММ-69 (сконструированной в ГосНИИМашиноведения) были проведены контрольные эксперименты на модельных цилиндрических ($\Phi=9,4$ и $H=7,0$ мм) образцах из спеченных материалов ЖФ1К1 и

ЖФ1К1Гр08 (ЖФ1К1 – по 1% Р и S, ЖФ1К1Гр08 – по 1% Р и S, 0,8% С, остальное – железо), полученных экструзией. С ними контактирует закаленное стальное кольцо (сталь 45, HRC = 42...46, $R_a = 0,63...0,50 \text{ мкм}$) высотой 10 и диаметрами 250 (наружным) и 40 мм (внутренним). Натурная пара трения – это элементы опор скольжения (сухарики от люнетов токарно-винторезных станков) и направляющие планки металлорежущих станков и инструментов (разверток, зенкеров и т.д.), изготовленные из БрОЦС5-5-5 (рис. 1). Вторым элементом натурной пары были стали марок 45, У8-10, 40Х, закаленные (HRC = 44...58) и сырые. В качестве контрольного параметра выбран безразмерный износ [7].

Параметры испытания для каждого режима назначались в зависимости от условий работы узла, в котором должна эксплуатироваться пара трения, с учетом комплекса геометрических параметров модели и натуры ($C_{\text{ког}} = 0,41$). В этот комплекс входят размеры условного геометрического тела, ограниченного глубиной (или шириной) проникновения тепла от источника. Габариты источника – это размеры меньшего элемента пары трения. Остальная часть (непрогретая) большего образца в расчет не принимается. При этом цилиндрическая и кольцевая (контртело) формы образцов позволяют вычислить эффективный объем, участвующий в аккумуляции и рассеивании тепла, выделившегося при трении [8].

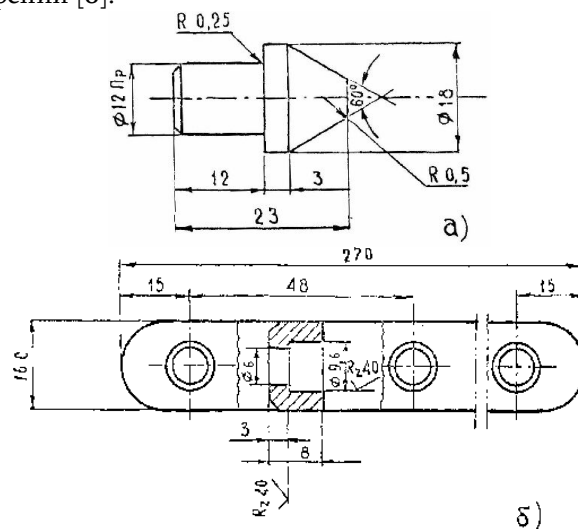


Рис. 1. Натурные образцы: а - сухарь, б - направляющая планка

Эксперименты проводились в среднем на шести образцах каждого состава при помощи рабочего узла, состоящего из вращающего диска и пальчиковых образцов. Испытаниям подверглись сразу три образца при радиусе вращения 75 мм. При этом на двух из них на расстоянии 2,0...2,5 мм от поверхности трения устанавливались хромель-копелевые

термопары для контроля температурного режима. Материалы испытывались при трении без смазки.

Нормальная нагрузка на пару трения передавалась предварительно оттарированной механической системой, состоящей из рычагов и тарированных грузов. Достоверность тарировки проверялась испытанием ($p_a = 1$ МПа, $v = 2$ м/с) стандартного фрикционного материала (ретинакс, ГОСТ 10851-73), коэффициент трения которого составлял 0,44, что в пределах значений по стандарту. Момент от сил трения воспринимался предварительно оттарированным тензодинамометром и регистрировался осциллографом Н -105.

Испытания проводились на шести режимах, при которых скорости и удельные нагрузки для модели и натуре были одинаковыми: $v_1 = 0,5$, $v_2 = 1,0$, $v_3 = 2,0$ м/с, $p_{a_1} = 1$, $p_{a_2} = 2$ МПа. Индексами 1-3 обозначены режимы испытания. Продолжительность модельных испытаний составляла $t' = t_{\text{КОГ}}^{1/6} = t(0,41)^{1/6} = 54$ мин. Испытание пар трения на установке ИММ-69 включало приработку, которая считалась законченной, когда 80% рабочей поверхности имели следы трения, а момент от сил трения стабилизировался. Затем после замера линейных размеров и взвешивания элементов натурального и модельного узлов проводились испытания на трение и изнашивание, в ходе которых контролировалась нагрузка p_a , температура θ , момент от сил трения M_T и число оборотов n . Определение весового износа I_g (рис. 2) осуществлялось до и после испытаний на аналитических весах типа АДВ-200 с точностью до 0,1 мг. Путь трения при $v = 0,5$, 1,0 и 2,0 м/с соответственно равнялся 1560, 3120 и 6240 м.

Правильность моделирования и точность формул, учитывающих масштабный фактор, проверялись путем сопоставления результатов модельных (рис. 2), лабораторных и натуральных испытаний (рис. 3 а и б). Как видно, при всех значениях скорости скольжения характерным является большой износ эталонного материала по сравнению с разработанными. Так, при нагрузке $p_a = 1$ МПа и скорости скольжения 0,5 м/с износ БрОЦС5-5-5 на 75% больше износа ЖФ1К1 и в два раза превышает износ ЖФ1К1Гр08. При увеличении нагрузки в два раза (2 МПа) износ заметно возрастает (рис. 2). При $v = 0,5$ м/с бронза изнашивается соответственно в 2,0 и 2,7 раза больше, чем ЖФ1К1 и ЖФ1К1Гр08. Аналогичные закономерности проявляются и при скоростях скольжения 1 и 2 м/с. При этом с увеличением скорости скольжения и нагрузки различие в износостойкости возрастает в пользу спеченных материалов.

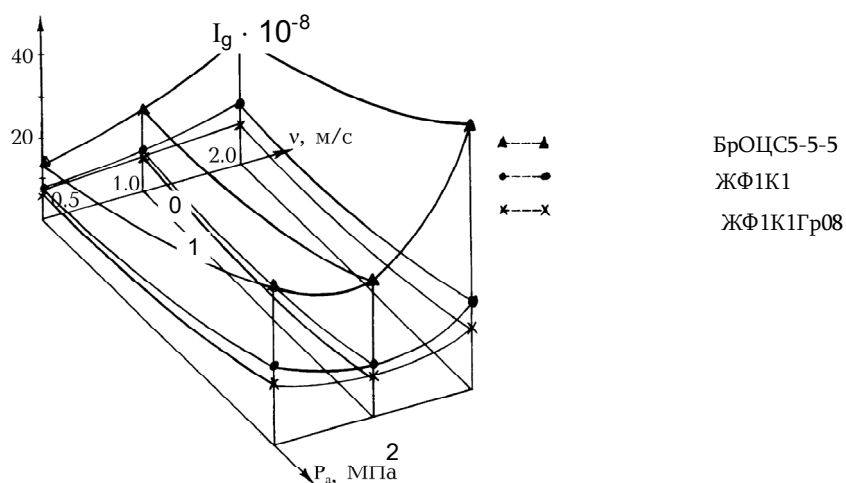


Рис. 2. Изменение интенсивности весового износа

разработанных материалов и бронзы от скорости скольжения при различной нагрузке (модельные испытания)

Одновременно выявлено, что из опытных спеченных материалов наиболее износостоек ЖФ1К1Гр08. Например, при $p_a = 1 \text{ МПа}$ и $v = 0,5 \text{ м/с}$ износ ЖФ1К1 на 14 % больше, чем ЖФ1К1Гр08. Это, по-видимому, можно объяснить низкой твердостью как бронзы ($\text{НВ}=600\ldots1000 \text{ МПа}$), так и ЖФ1К1 ($\text{НВ}=1180\ldots1360 \text{ МПа}$) по сравнению с ЖФ1К1Гр08 - $\text{НВ}=1260\ldots1580 \text{ МПа}$ [9,10]. Поэтому нередко для повышения твердости оловянистой бронзы используется термообработка [10, 11].

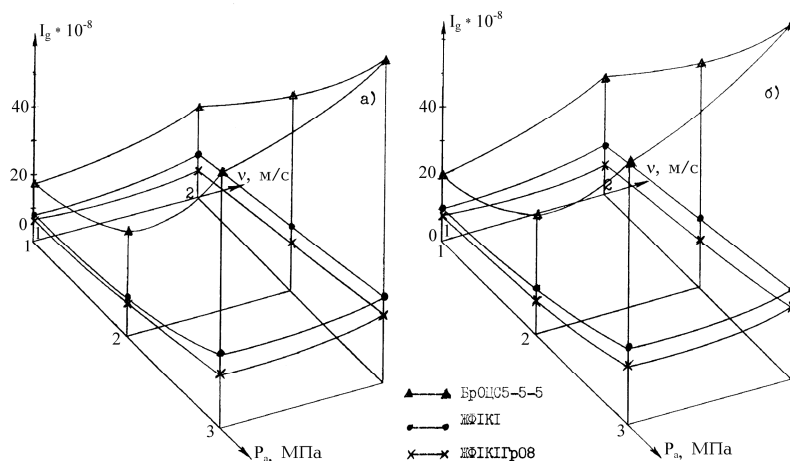


Рис. 3. Изменение интенсивности весового износа разработанных материалов и бронзы от скорости скольжения при различной нагрузке:

а - лабораторные испытания, б - натурные испытания

Микротвердость же структурных составляющих спеченных композиций, определенная на приборе ПМТ-3, при нагрузке на индентор 50 г равнялась: сульфиды – 2200...3400 МПа, фосфиды – 4600...5300 МПа. Наряду с упрочнением металлической матрицы, улучшением обрабатываемости, основное назначение фосфора – повышение степени прирабатываемости, а назначение серы – снижение коэффициента трения. Кроме того, дополнительное введение углерода в железную матрицу обеспечивает образование более прочной и износостойкой перлитной структуры (рис. 4). Следовательно, наиболее износостойкой является композиция ЖФ1К1Гр08.

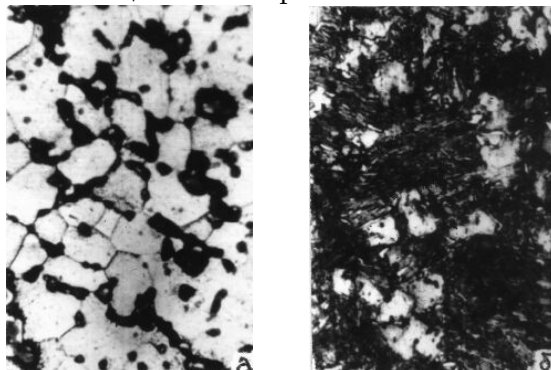


Рис. 4. Микроструктуры разработанных композиций (x450):
а – ЖФ1К1; б – ЖФ1К1Гр08

Установлено, что коэффициент трения спеченных образцов при всех режимах испытаний оставался несколько выше (в пределах 15%), чем у бронзы, что можно объяснить относительно низкой температурой на поверхностях трения, которая не способствовала интенсификации процессов образования вторичных структур и тем самым не позволила полностью проявить смазочные свойства внесенных присадок.

Таким образом, разработана и апробирована методика моделирования износа при трении скольжения спеченных материалов, учитывающая расчетный масштабный фактор. Исследования, выполненные по этой методике, позволяют с достаточной степенью точности (максимальное расхождение в результатах модельных и натурных испытаний не превышало 14%) оценить фрикционные характеристики и надежно прогнозировать долговечность узлов трения машин и механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хрущов М.М.** О рациональной постановке испытаний на износ // Заводская лаборатория. – 1937. - ¹ 5. – С. 600-607.
2. **Крагельский И.В.** Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. **Евдокимов Ю.А.** Условия моделирования процессов граничного трения и износа в подшипниках скольжения // Применение методов моделирования

- при решении задач трения и износа в машинах: Труды РИИЖТ. - Ростов-на-Дону, 1972. – Вып. 84. – С. 3-62.
4. **Браун Э.Д., Аникеева Ф.Л.** Моделирование износа ходовых колес мостовых кранов // Расчет и моделирование режима работы тормозных и фрикционных устройств: Сб. тр. - М., 1974. – С. 60-73.
 5. **Браун Э.Д., Чикваидзе Л.М.** Моделирование работоспособности подшипника скольжения // Тепловая динамика и моделирование внешнего трения: Сб. тр. - М., 1975. – С. 83-87.
 6. **Браун Э.Д., Манукян Н.В.** и др. Моделирование износа спеченных материалов на железной основе, предназначенных для работы в опорах скольжения // Задачи нестационарного трения в машинах, приборах и аппаратах: Сб. тр. - М., 1978. – С. 185-195.
 7. **Харач Г.М., Крагельский И.В.** Класс износостойкости как характеристика качества узлов трения // Надежность и контроль качества. – М., 1975. - ¹ 3. – С. 8-14.
 8. **Браун Э.Д., Васюкова Т.И.** Учет влияния теплоотдачи фрикционных элементов при трении на воздухе // Тепловая динамика трения: Сб. тр. - М.: Наука, 1970. – С. 20-25.
 9. Износостойкие материалы в химическом машиностроении: Справочник / Под ред. **Ю.М. Виноградова.** – Л.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
 10. **Патент ПНР**, кл. С 22 F 1/08, ¹ 96378. Заявл. 24.11.75, ¹ 185003. Оpubл. 31.05.78.
 11. **Патент ПНР**, кл. С 22 F 1/08, ¹ 95015. Заявл. 17.01.75, ¹ 177385. Оpubл. 31.01.78.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.1999.

Ա.Ա. ՄԱԼԽԱՍՅԱՆ, Է.Գ. ՀԱՄԲԱՐՏՈՒՄՅԱՆ
ԵՌԱԿԱԼ ՎԱՍՏ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐՆԻ ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՎՐԱ

Բերված են պինդ քսանյութերից ֆոսֆիդներ ու սուլֆիդներ պարունակող երկաթի հիմքով եռակալված ոչձականտկեն նյութերի հակաշփական բնութագրերի արագացված գնահատման արդյունքները: Փոքրաեզրաչափ մոդելային նմուշներով անցկացված փորձարկումները բացահայտել են, որ եռակալված նմուշների շփման գործակիցները փոքր-ինչ ավելի մեծ են (15%-ի սահմաններում), քան բրոնզինը, իսկ մաշակայունությամբ 1,7...4,3 անգամ գերազանցում են բրոնզին: Մոդելային և բնօրինակային փորձարկումների արդյունքների առավելագույն տարամիտությունը չի գերազանցում 14%:

S.A. MALKHASYAN, E.G. HAMBARTSUMYAN
SINTERED ANTIFRICTION MATERIAL WEAR RESISTANCE INVESTIGATION ON PHYSICAL MODELS

Quick evaluation of sintered porousless iron-based materials of antifriction characteristics are given. Tests carried out on small-size model samples revealed that friction coefficient of sintered materials is somewhat higher (within 15%) than the bronze, but by wear resistance they exceed the bronze in 1,7...4,3 times. Maximum discrepancy of model and natural test results does not exceed 14%.