

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АНТИФРИКЦИОННОГО КОМПОЗИЦИ- ОННОГО МАТЕРИАЛА

**Иванова Л.А., д-р техн. наук, профессор, Гараев М.Б., аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса**

В статье приведены новейшие разработки антифрикционных материалов, а также методики определения износостойкости композиционных антифрикционных материалов.

There are up-to-date development of the antifriction materials and the methods of the determination antifriction materials durability.

Ключевые слова: композиционные материалы, антифрикционные материалы, восстановление оборудования, износостойкость.

Одним из наиболее перспективных направлений развития промышленности является улучшение экономических и технологических показателей ремонта и восстановления оборудования. Немаловажное значение имеет увеличение долговечности работы оборудования и отдельных ответственных деталей.

Представляет интерес разработка дешевых антифрикционных материалов для замены дефицитных дорогих цветных металлов бронзы и латуни, из которых изготавливаются детали трения, например, подшипники.

В последнее время широкое применение нашли полимерные композиционные антифрикционные материалы на основе различных порошков и связующей полимерной матрицы.

Среди всего многообразия порошковых материалов для подшипников скольжения, например, особый интерес представляют порошковые композиционные материалы на основе железа. Они обладают высокой прочностью, которая приближается к прочности компактных изделий, изготовленных из проката и литых заготовок, в сочетании с хорошей пластичностью, вязкостью, низкой склонностью к хрупкому разрушению. При испытании пористых материалов пропитанных жидкими смазочными материалами нами было отмечено наличие высокого эффекта самосмазываемости изготовленных образцов. Свойство самосмазываемости определяется как возможность смазывания трущейся пары маслом, поступающим на поверхность трения из пор нагреваемого образца. Проявление эффекта самосмазываемости у пропитанных пористых материалов объясняется различием теплового объемного расширения масла и металлической основы пористого материала в случае местного нагрева [1].

Например, в работе [2] отмечается, что быстрое восстановление граничного слоя смазки на поверхности трения, связанное с выделением масла из пор самого материала при местном нагреве, является показателем антифрикционности пористых материалов. Оценивая физическую сущность эффекта самосмазываемости пропитанных маслом пористых материалов, считаем такую точку зрения наиболее вероятной.

При применении в узлах трения пористых антифрикционных материалов, пропитанных жидкими смазочными материалами, достигается положительный эффект при работе подшипниковых узлов в переходных режимах работы от трения покоя к жидкостному режиму их работы, особенно при использовании пористых материалов на основе железа легированных марганцем, кремнием, а также медью.

В подавляющем большинстве случаев, условия работы узлов трения таковы, что надежность и долговечность их работы зависит от условий перехода в момент пуска, от граничного трения к жидкостному. Применение пористых порошковых композиционных материалов, пропитанных в жидких смазках, позволяют снизить износ узла трения в момент пуска за счет использования смазочного материала поступающего из пор порошкового материала. В дальнейшем, при работе узла трения, когда за счет поступающего смазочного материала обеспечивается нормальный режим работы, происходит одновременно и подпитка пористого материала жидкой смазкой, которая в дальнейшем используется при последующих пусах [3].

Нами был разработан пористый антифрикционный композиционный материал на основе эпоксидной смолы, порошка железа размерами (50-400 мкм), монтмореллонитной глины и серы. Технология получения композиционного материала подробно описана в [4].

На данный момент существует множество различных методик определения антифрикционных свойств материалов, но не существует определенного стандарта, так как различные методики имеют свои достоинства и недостатки.

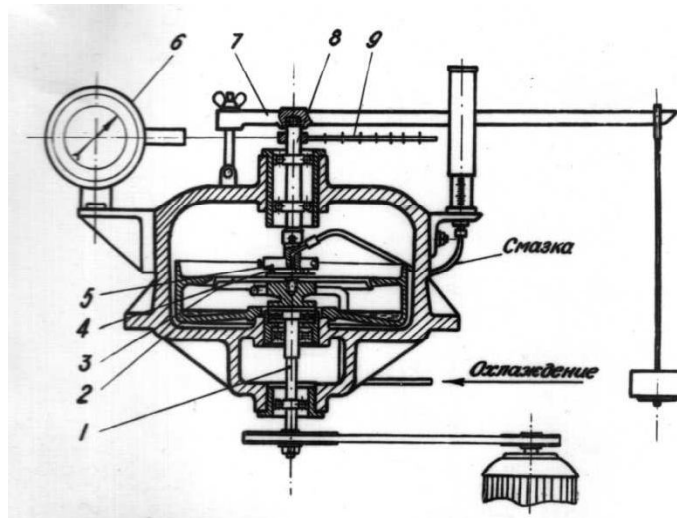
Цель работы заключалась в разработке методик исследования износостойкости антифрикционного материала, позволяющих наиболее точно оценить износостойкость разработанных материалов в различных условиях работы.

Нами рассмотрены методики исследования износа композиционного материала при сухом и граничном трении.

Для проведения сравнительных испытаний образцов на износ использовалась торцевая машина трения АЕ-5 и машина трения с возвратно-поступательным движением.

Машина АЕ-5 имеет ряд преимуществ перед другими машинами и дает возможность:

- изменять скорость вращения трущихся поверхностей и удельное давление в широком диапазоне значений;
- изменять силу трения, а также получать коэффициент и работу трения;
- определять температуру поверхности трущихся пар;
- проводить исследования при заданном интервале температур на поверхности трения;
- определять отдельный износ, т.е. массу или объем сошлифованного слоя трущихся пар на единицу работы или единицу времени.



1 – валик узла трения; 2 – чашка для охлаждения; 3 – эталонный диск; 4 – испытываемые образцы; 5 – головка трения; 6 – динамометр; 7 – рычаг узла нагрузки; 8 – шпиндель угла нагрузки; 9 – сектор для динамометра

Рис. 1 – Схема машины АЕ-5

Подробное описание машины АЕ-5 в [5]. В статье приведены лишь внесенные конструктивные изменения, обеспечивающие постоянство условий постановки эксперимента.

В стандартной установке крепление образцов, после взвешивания и измерения линейных размеров, осуществляется с помощью специальных конусных разрезных стаканчиков, что не обеспечивало точной установки, и образцы часто не прилегали всей своей поверхностью к съемному кольцу диска. Это приводило к тому, что процесс приработки, а иногда и трения проходил при значительно больших удельных давлениях, чем необходимо для заданных условий испытания.

Для устранения указанных недостатков была разработана специальная головка, обеспечивающая достаточно точную установку образцов. Эта головка состоит из двух шлифованных и скрепленных между собой дисков, имеющих по три сквозных отверстия.

На нижнем диске отверстия имеют диаметр 10 мм, эти отверстия являются гнездами для испытываемых образцов. На верхнем диске отверстия диаметром 5 мм, которые служат для ввода в образцы термопар и выталкивания их из гнезд. Испытуемые образцы в гнездах нижнего диска крепятся боковыми винтами.

Изучения антифрикционных свойств композиционных металлополимерных материалов производилось на машине АЕ-5 в условиях сухого и граничного трения с целью определения степени износа и коэффициента трения в сравнении с исходными материалами, применяемыми для создания антифрикционных покрытий.

При постановке условий испытаний мы остановились на режиме сухого трения с постоянным удельным давлением и постоянной окружной скоростью и на граничном режиме с постоянной окружной скоростью и с широким диапазоном значений удельного давления.

В абсолютном большинстве случаев работа пар трения происходит в условиях граничного трения, но возможны и случаи прекращения подачи смазки, поэтому необходимо выяснить, как поведет себя композиционный материал в таких случаях.

При испытании в условиях сухого трения изготавливались образцы диаметром 10 мм и высотой 18 мм. Общая площадь трущейся поверхности трех одновременно работающих образцов составляла:

$$F = 3 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

$$F = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 2,40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

С целью получения больших удельных давлений образцы для испытания со смазкой изготавливались в виде двойных цилиндров с общей высотой 12 мм и рабочим диаметром 6 мм. Их полная поверхность составляла

$$F = 3 \cdot \frac{5,14 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,848 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

При выборе сопряженной пары было учтено, что в машиностроении в качестве материала для изготовления валов и других деталей, вращающихся в подшипниках скольжения, широко применяются углеродистые стали.

В связи этим, в качестве сопряженной пары к испытуемым образцам из композиционных материалов была принята сталь 45, как типичная для широкого класса углеродистых сталей.

Окружная скорость и удельное давление при трении без смазки были приняты постоянными и соответственно равными: $V = 1,25 \text{ м/с}$ и $P = 2,70 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$. Число оборотов рабочего вала периодически проверялось по тахометру.

Длительность каждого испытания была установлена равной 20 минут. При этом путь скольжения составлял – 1,5 км. Замер температуры трущихся поверхностей проводился при помощи термопары медь-константан, которая помещалась в высверленное отверстие одного из образцов.

Термоток измерялся гальванометром. Износ композиционного материала и стального кольца определялся разностью весов и линейных размеров по высоте до и после испытания.

Взвешивание образцов из композиционных материалов и стального кольца производилось на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Замер высоты проводился микрометром с точностью до 0,005 миллиметра.

Доводка трущихся поверхностей композиционных материалов и стальных колец производилась на чугушной притирочной плите при помощи абразивного порошка.

Образцы и кольца до и после и после испытания промывались в авиационном бензине и после сушки в сушильном шкафу при температуре (80-100) °С подвергались взвешиванию на аналитических весах.

Установка образцов в головке производилась на контрольной плите после их промывки, сушки и взвешивания. Головка трения с образцами устанавливалась на машину только лишь в том случае, если все три образца давали полный отпечаток рабочей поверхности на контрольной плите.

Для достижения постоянства и точности установки образцов в головке трения, гнезда и образцы были пронумерованы, каждый образец вставлялся только в свое гнездо по тонким рискам, имеющимся на образцах и головке трения.

При установке образцов каждый раз тщательно проверялось полное совмещение рисок и головки трения.

Испытания образцов на истирание без смазки со смазкой производились с каждой партии образцов не менее 2-3 раз.

Съемные кольца для всех испытаний на износ, как со смазкой, так и без смазки, изготавливались из стали 45 со следующими механическими свойствами: $\sigma_B = 67,7 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, $\delta = 20 \%$, $НВ = 156$.

При испытании композиционных материалов на износ со смазкой применялось широко распространенное авиационное масло с кинематической вязкостью $22,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Температура масла в резервуаре поддерживалась (18-20) °С. Окружная скорость во всех испытаниях была принята равной $V = 5 \text{ м/с}$.

Для обеспечения постоянства температуры трущихся поверхностей, вращающийся диск, с установленным на нем стальным кольцом, снизу охлаждался проточной водой. Это позволило поддерживать постоянную температуру на трущихся поверхностях (60-70) °С.

Поддержание постоянной температуры исключило влияние вязкости масла на величину износа и коэффициент трения.

Определение температуры трущихся поверхностей проводилось при помощи термопары аналогично как при сухом трении. Износ композиционных материалов и стальных колец определялся так же, как и при сухом трении.

Таким образом, нами была разработана методика исследования износа композиционных материалов:

- при постоянном давлении и постоянной окружной скорости без смазки;
- при постепенном нагружении до достижения заданного удельного давления при трении с граничной смазкой.

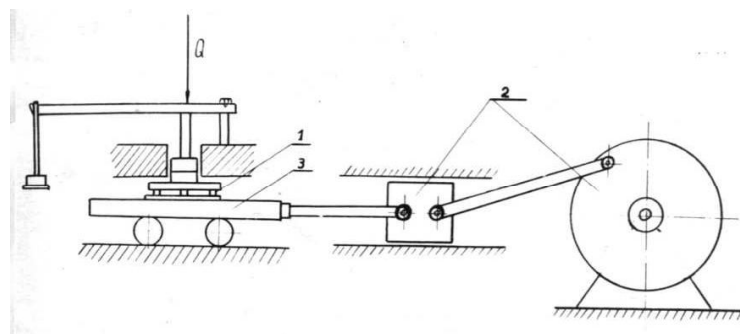
В первой серии испытаний, без смазки, опыты производились, как указывалось выше, при постоянном удельном давлении и постоянной скорости.

Во второй серии испытания продолжительность одного опыта была принята постоянной, равной 8 часам, что соответствовало пути скольжения 144 км.

Приработка образцов и колец проходила при постепенном увеличении удельного давления на $4,95 \cdot 10^5$ н/м² через каждые 5 минут до достижения заданного удельного давления для данного опыта. Скорость нагружения составляла $0,98 \cdot 10^5$ н/(м²·мин). Запись показаний динамометра производилась каждые 5 минут перед очередным нагружением. Нижний предел удельного давления для этой серии удельного давления был принят $19,61 \cdot 10^5$ н/м², а для каждого последующего эксперимента увеличивался на $9,8 \cdot 10^5$ н/м² до достижения заедания или же достижения предельной удельной нагрузки допускаемой на машине АЕ-5 ($196,1 \cdot 10^5$ н/м²).

Смазка подавалась по 2 капли в минуту, что соответствует 5 см³/час.

Исследования композиционных материалов в условиях возвратно-поступательного движения проводилось специально разработанной установкой (рис. 2,3).



Q – прилагаемая нагрузка, 1 – головка с испытываемыми образцами, 2 – кривошипно-шатунный механизм, 3 – стол с возвратно-поступательным движением

Рис. 2 – Схема установки для испытаний композиционных материалов при возвратно-поступательном движении.

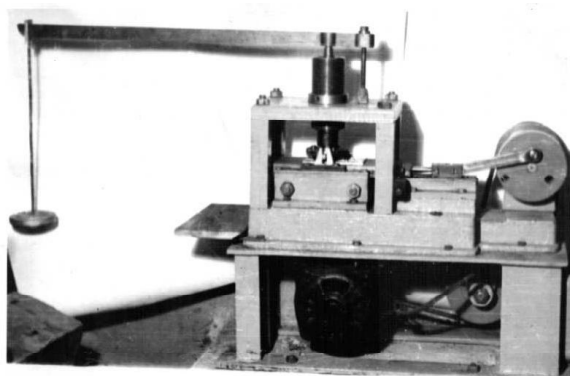


Рис. 3 – Общий вид стэнда для испытания материала на износ при возвратно-поступательном движении

Данная установка предназначена для определения износа образцов, как при сухом, так и при граничном трении, со смазкой. На такой установке был проведен ряд экспериментов по определению износа

композиционных материалов в паре со сталью 45 без подачи смазки. Образцы закреплялись и устанавливались в гнезда такой же головки, как и при испытаниях на машине АЕ-5. В качестве сопряженной пары применялись специальные плитки из стали 45, общий вид которых приведен на рис. 3.

Такая облегченная конструкция сопряженной пары была предусмотрена с целью возможности взвешивания на аналитических весах.

На описанной установке можно производить испытание образцов на износ при следующих режимах:

- Число двойных ходов в минуту может быть задано 100, 200, 300, 400.
- Длина одного хода составляет 60, 90, 120 мм.
- Удельное давление на три испытуемых образца при общей их площади $S=2,35 \cdot 10^{-4} \text{ н/м}^2$ может быть $196,1 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$.

Определение числа двойных ходов ведется при помощи счетчика на корпусе машины.

Условия испытания новых композиционных материалов были приняты следующие:

- образцы для испытания без смазки изготавливались в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 18 мм;
- взвешивание образцов до и после их испытания производилось на аналитических весах после промывки в авиабензине и спирте и последующей сушки при температуре (80-100) °С;
- установка и притирка образцов осуществлялась, так же как и на машине АЕ-5;
- максимальное число двойных ходов было принято 500;
- износ испытуемых образцов определяли по разности весов и линейных размеров до и после испытания.

Были произведены ряд экспериментов по определению влияния содержания металлического порошка на износостойкость полимерного композиционного материала.

Содержание исследование композиционного материала приведено в таблице 1, кроме того композиционный материал содержал 5 вес. ч. монтмориллонитной глины.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний антифрикционного композиционного материала, а также серого чугуна в условиях сухого трения

№ опыта	Содержание		Средний весовой износ образцов $\times 10^{-3} \text{ м}$	Средний линейный износ образцов $\times 10^{-3} \text{ м}$	Средний износ стального кольца $\times 10^{-3} \text{ м}$	Приведенный средний износ к единице времени	
						Образцов $\times 10^{-3} \text{ кг/ч}$	Стального кольца $\times 10^{-3} \text{ кг/ч}$
	Эпоксидная смола ЭД-20, вес. ч.	Железный порошок, вес. ч.					
1	70	25	32,3456	24,8812	1,3822	97,0368	4,1468
2	65	30	31,7584	23,7003	0,8172	95,2752	2,4517
3	60	35	28,0343	20,3441	0,8845	84,1029	2,6539
4	55	40	25,9384	18,6071	1,3290	77,8152	3,9872
5	50	45	17,9387	11,6902	0,6494	53,8161	1,9483
6	45	50	14,9487	9,5372	0,5019	44,8461	1,5058
7	40	55	14,8576	9,3192	0,4051	44,5728	1,2155
8	35	60	11,9387	7,1318	0,3241	35,8161	0,9725
9	30	65	9,9387	5,5666	0,3711	29,8161	1,1133
10	25	70	8,8746	4,6871	1,3822	26,6238	0,8788
11	Серый чугун		6,4262	3,4545	0,2748	19,2348	0,8256
12			13,79	8,6349	0,3298	41,3347	0,9987
13			8,2662	4,8125	0,3322	24,438	1,0100

Из таблицы 1 видно, что при увеличении массового содержания железного порошка износостойкость композиционного материала увеличивается и при содержании металлической составляющей более 60% даже превосходит аналогичный материал из серого чугуна.

Выводы

1. Исследованы методики определения износостойкости сталей и чугунов.

2. Разработана технология определения износостойкости антифрикционных композиционных материалов.
3. Произведено исследование износостойкости композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и металлического порошка.

Література

1. Бабец Н. В., Васильев Б. Н., Исмаилов М. А. Самосмазывающиеся материалы «Трение, износ», том 13 №49, – 7 с.
2. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Сопротивление абразивному изнашиванию структурно неоднородных материалов. сб. «Трение и износ в машинах» XII, М., изд. АН СССР – 1958
3. Шумов О. В. Получение износостойких покрытий на основе меди для подшипников скольжения. Ремонт, восстановления модернизация №4 – 2011. – 24 с.
4. Иванова Л.А., Гараев М.Б., Косицин Н.О. Разработка технологии композиционного материала на основе пластмасс холодного отверждения и ферромагнитного наполнителя под действием магнитного поля. «Наукові праці» вып. 40, том 2 – Одесса: – 2011 – 386. с.
5. Зайцев А.К. Методика лабораторного испытания на износ. Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах. АН СССР. 1959.

УДК 533.6.011

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ПРИ ОБТЕКАНИИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ

Дементьев А.А., доктор технических наук

ООО Научно-производственная фирма «Интэкос», г. Санкт-Петербург

Сороко О.Л., кандидат технических наук, доцент

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск

Дук А.А., директор ОАО «Глубокский мясокомбинат», г. Глубокое

Поставлена и численно решена задача турбулентного плоского нестационарного течения вязкого несжимаемого газа через произвольные пакеты цилиндрических стержней (электродов). Результаты расчета позволяют теоретически определить конструкцию электроразрядной кассеты.

The problem of a turbulent flat non-stationary current of viscous incompressible gas through any packages of cylindrical cores (electrodes) is put and numerically solved. Results of calculation allow to define a design of the electrodischarge cartridge theoretically.

Ключевые слова: обезвреживание и очистки газоздушных потоков, низкотемпературная плазма, барьерный разряд звуковой частоты, электроразрядная кассета.

Крупномасштабное воздействие пищевых промышленных производств на среду обитания человека создает проблему защиты атмосферы от токсичных выбросов. Традиционные способы обезвреживания и очистки вентиляционных выбросов от токсичных газообразных веществ (сорбционные и окислительные) не всегда решают проблему в силу различных объективных и субъективных причин, поэтому научный поиск разработки современных технологий по их обезвреживанию является актуальным.

На наш взгляд одним из перспективных направлений в разработках нетрадиционных технологий в области защиты атмосферного воздуха являются исследования элементарных процессов (нанопроцессов) протекающих в низкотемпературной плазме. Для возбуждения низкотемпературной плазмы (НТП) могут применяться различные виды газового разряда. Поскольку процесс должен протекать при атмосферном давлении наиболее приемлемым оказывается барьерный разряд звуковой частоты (БРЗЧ) [1].

НТП БРЗЧ является неравновесной плазмохимической системой, в которой наличие «активных центров» (возбужденные атомы и молекулы, жесткое УФ-излучение и т.д.) стимулируют химические процессы невозможные при обычных условиях.

Для возбуждения НТП БРЗЧ возможно применение любых конструкций и взаимного расположения электродов. Одним из главных критериев при разработке конструкции разрядного блока должны быть минимальные аэродинамические характеристики. С этой точки зрения перспективным является конст-