

ЧАСТИНА II. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА РЕМОНТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ

УДК 631.539.3

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПОЛИАМИДОЭПОКСИД- НЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НАПОЛНЕННЫМИ ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

**Марьян Г.Ф., д.т.н., профессор; Малай Л.Г., ст.
преподаватель; Горобец В.Ф., к.т.н., доцент**
*(Государственный Аграрный Университет Молдовы, Кишинев,
Республика Молдова)*

В статье представлены результаты исследования долговечности подшипников скольжения восстановленных полиамидоэпоксидными композиционными материалами (ПЭКМ) наполненными полыми стеклянными микросферами, в условиях сухого и граничного трения. Подтверждена целесообразность использования данной композиции для восстановления подшипников скольжения работающих в условиях сухого и граничного трения.

Введение

Трибологическое поведение ПЭКМ во время эксплуатации является одним из ключевых факторов, определяющих долговечность металл-полимерных пар трения. В свою очередь, трибологическое поведение ПЭКМ находится под влиянием различных процессов, которые происходят в зоне контакта поверхностей и постоянно меняется в зависимости от ряда конструктивных и эксплуатационных факторов.

Целью данных испытаний является проверка работоспособности и долговечности подшипников скольжения, восстановленных ПЭКМ наполненными полыми стеклянными микросферами, в условиях близким к эксплуатационным.

Материалы и методы

Долговечность была оценена по среднему ресурсу и гамма-процентному ресурсу до появления катастрофического состояния поверхностей трения. Одновременно были рассчитаны скорость, и интен-

сивность износа для каждого интервала времени между измерениями.

Эксперименты были организованы по плану NUN. Исследования проводили до появления катастрофического состояния каждого образца в исследуемой группе. Это состояние определяли по изменению скорости износа, а именно по увеличению значения скорости износа в два раза по сравнению с предыдущим замером.

Количество изучаемых объектов согласуется с методологией, использованной в работе Цапу В.И. [1]. Поэтому для каждого случая были протестированы по 32 образца.

Ускоренные испытания проводили на разработанном нами, на кафедре «Технический сервис и инженерия материалов» ГАУМ, стенде для усталостных испытаний подшипников скольжения. Одновременно на стенде испытывали по 2 пары трения, сопряжений типа «втулка – вал».

Втулки, изготовлены в виде колец из стали 35 - Ø40H8. Исследуемый композиционный материал наносили методом горячего прессования на ролики и обрабатывали до размера - Ø40e7. В качестве матрицы композиционного материала использовали: гибридную механическую смесь полиамида ПА-12 (ОСТ 6-05-425) и эпоксидного олигомера П-ЭП534 (ТУ 6-10-189-83) в объемной пропорции 7/3), в качестве наполнителей использовали: дисульфид молибдена DM-1 (ТУ 48-19-133-90) – 5%, полые стеклянные микросферы МС-ВП гр.5 – 30% и базальтовое микроволокно – 5% [2].

Испытания проводили в ускоренном режиме, при циклическом нагружении за счет установленного на валу груза с эксцентриситетом и при удельной нагрузке, $p = 3,5$ МПа, частоте вращения вала $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ($V = 3,8$ м/с), в условиях сухого и граничного трения, относительной влажности 60 ... 70% и температуре воздуха $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Зазор в сопряжении был рассчитан как разница между действительными размерами сопрягаемых деталей. Размеры валов и втулок измеряли с помощью цифрового микрометра и нутромера с ценой деления 0,001 мм.

Все сопряжения предварительно прирабатывали в условиях сухого трения при удельной нагрузке 1 МПа в течение 2 часов до достижения равновесного состояния поверхностей трения и создания эквивалентных условий для дальнейших испытаний.

Для дальнейших расчетов использовали действительные размеры пар трения, полученные после приработки. Перед измерениями испытываемые образцы обезжировали толуолом.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена динамика износа исследуемых металло-полимерных сопряжений в условиях сухого трения. Из графика видно, что износ покрытия ПЭКМ имеет классический характер с плавным переходом от зоны приработки к нормальному, а затем к аварийному износу при достижении его предельных значений.

Предельное состояние в исследуемых парах как правило возникало после 228 часов ускоренных испытаний, что соответствует 517 км пройденного пути трения.

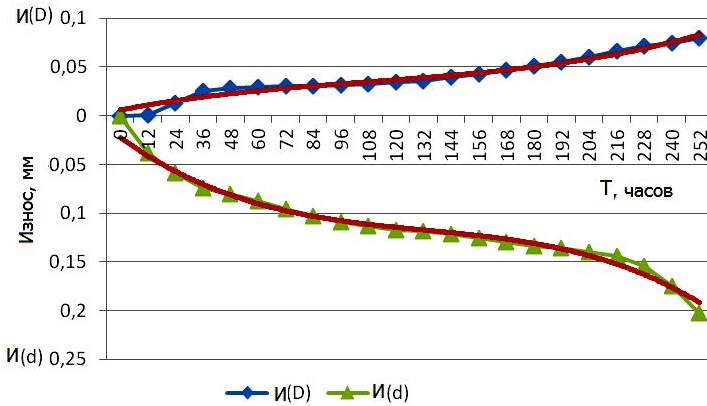


Рис 1. Динамика износа сопряжений с посадкой Ø40H8/e7 испытуемых в режиме сухого трения:

В результате математической обработки результатов исследований динамики износа пар трения было получено с доверительной вероятностью 99,02% полиномиальными уравнениями регрессии третьей степени для втулки и вала:

$$I(D)_{\text{сух}} = 6,14 \cdot 10^{-4} + 6,27 \cdot 10^{-4} T - 4 \cdot 10^{-6} T^2 + 1,12 \cdot 10^{-8} T^3, \quad (1)$$

$$I(d)_{\text{сух}} = 8,41 \cdot 10^{-3} + 2,16 \cdot 10^{-3} T - 1,49 \cdot 10^{-5} T^2 + 3,67 \cdot 10^{-8} T^3 \quad (2)$$

где $I(D)_{\text{сух}}$ – износ втулки, мм;

$I(d)_{\text{сух}}$ – износ вала, мм;

T – продолжительность испытаний, час.

Анализируя уравнения 1 и 2, закономерность представленные на рис.1, можно заключить, что сопрягаемые детали пары трения имеют одинаковый характер изменения износа при сухом трении в зависимости от наработки. При этом втулки изнашиваются значительно меньше (бо-

лее 2 раз) чем ролики покрытые ПЭКМ наполненные полыми стеклянными микросферами. Таким образом, подтверждается факт [2], что наполнение ПЭКМ полыми стеклянными микросферами и базальтовыми микрофибрами приводят к снижению износа, как самого покрытия, так и металлического контртела.

Аналогичные результаты были получены при испытании исследуемых пар в условиях граничного трения при использовании в качестве смазки - Литол 24.

При этом полученные результаты испытаний пар в условиях граничного трения описываются с доверительной вероятностью 98,82% следующими уравнениями:

$$I(D)_{\text{Литол}} = -2,71 \cdot 10^{-3} + 3,02 \cdot 10^{-4} T - 9,13 \cdot 10^{-7} T^2 + 1,32 \cdot 10^{-9} T^3, \quad (3)$$

$$I(d)_{\text{Литол}} = -7,35 \cdot 10^{-3} + 1,09 \cdot 10^{-3} T - 4,29 \cdot 10^{-6} T^2 + 5,96 \cdot 10^{-9} T^3 \quad (4)$$

где $I(D)_{\text{Литол}}$ – износ втулки, мм;

$I(d)_{\text{Литол}}$ – износ вала, мм;

T – продолжительность испытаний, час.

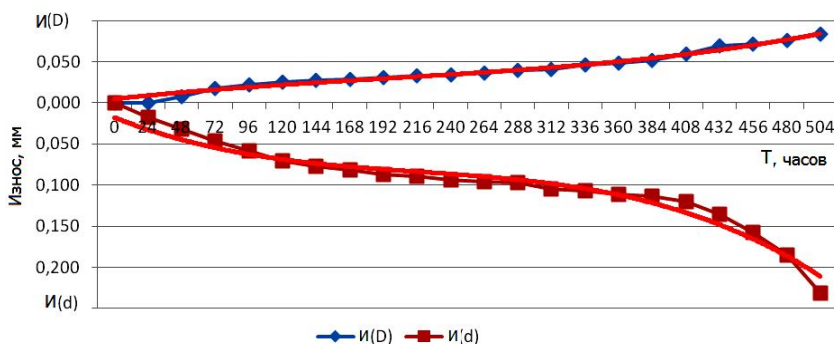


Рис. 2. Динамика износа сопряжений с посадкой Ø40H8/e7 испытуемых в режиме граничного трения с использованием в качестве смазки - Литол 24

Как и в предыдущих испытаниях, износ металлического контртела происходит медленнее с сохранением работоспособности даже после достижения предельного зазора в исследуемом сопряжении. В тоже время катастрофический износ ПЭКМ возникает через 432 часа (980 км пути трения). Необходимо отметить, что предельное состояние в сопряжениях наступает на 204 часа позже, чем при сухом трении. Это доказывает целесообразность использования данных покрытий в сопряжениях типа

подшипники скольжения работающих в условиях граничного трения, часто встречаемых в машинах и устройствах используемых в сельском хозяйстве и других областях.

Сравнительная динамика испытываемых сопряжений при различных условиях трения хорошо видна из рисунка 3 и при сравнении уравнений регрессии 5 и 6:

$$I_{\text{сопр.сух}} = 9,09 \cdot 10^{-3} + 2,78 \cdot 10^{-3} T - 1,88 \cdot 10^{-5} T^2 + 4,78 \cdot 10^{-8} T^3, \quad (5)$$

$$I_{\text{сопр.Литол}} = -9,62 \cdot 10^{-3} + 1,39 \cdot 10^{-3} T - 5,19 \cdot 10^{-6} T^2 + 7,25 \cdot 10^{-9} T^3 \quad (6)$$

где $I_{\text{сопр.сух}}$ – суммарный износ в испытываемых сопряжениях в условиях сухого трения,

$I_{\text{сопр.Литол}}$ – суммарный износ в испытываемых сопряжениях в условиях граничного трения со смазкой Литол 24,

T – продолжительность испытаний, час.

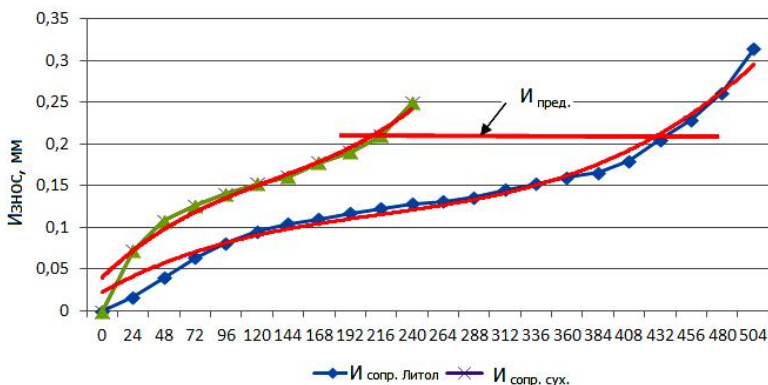


Рис. 3. Сравнительная оценка динамики износа испытываемых сопряжений с посадкой Ø40H8/e7 в режиме сухого и граничного трения.

Уменьшение скорости износа исследуемых пар трения в условиях граничного трения по сравнению с сухим трением можно по видимому объяснить.

С одной стороны, повышение износостойкости объясняется присутствием в составе полимерной композиции дисульфида молибдена, который способствует снижению силы трения, а также повышением сопротивляемости композиции к деформированию, за счёт добавок базальтового микроволокна и полых стеклянных микросфер.

С другой стороны - благодаря включениям в композицию полых стеклянных микросфер, обеспечиваются условия заполнения поверхно-

стного слоя ПЭКМ смазкой, что более эффективно проявляется в процессе нагрева сопряжения вовремя его работы.

Долговечность сопряжений восстановленных ПЭКМ наполненных полыми стеклянными микросферами оценивали стендовыми испытаниями 25 пар трения. Испытания проводили до появления катастрофического состояния сопряжений.

Из рисунка 4 видно, что для 90% испытанных сопряжений в условиях сухого трения, предельный зазор - $S_{пред} < 0,31$ мм и только для 10% он больше 0,31 мм. При испытаниях в условиях граничного трения (рис.5) у 85% исследованных сопряжений $S_{пред} < 0,284$ мм, а у остальных 15% он больше 0,284 мм.

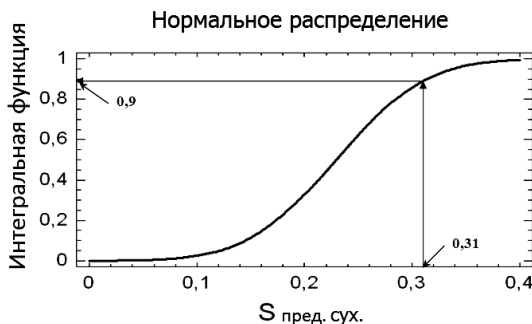


Рис. 4. Интегральная функция распределения действительного зазора в процессе испытаний метало-полимерных сопряжений с посадкой Ø40H8/e7 в условиях сухого трения.

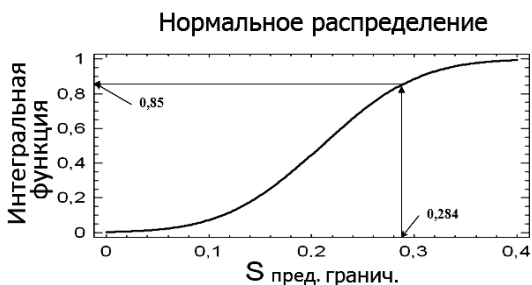


Рис. 5. Интегральная функция распределения действительного зазора в процессе испытаний метало-полимерных сопряжений с посадкой Ø40H8/e7 в условиях граничного трения.

Из рисунка 6(а) можно констатировать, что вариация гамма-процентного ресурса от $\gamma=0,8$ до $\gamma=0,9$ для всех исследуемых сопряжений без смазки составляет 5 часов находясь в пределах изнашивания, соответственно - 245,5 и 249,5 часа. Необходимо отметить, что с вероятностью

99,9% все испытанные сопряжения проработают непрерывно не менее 240 часов.

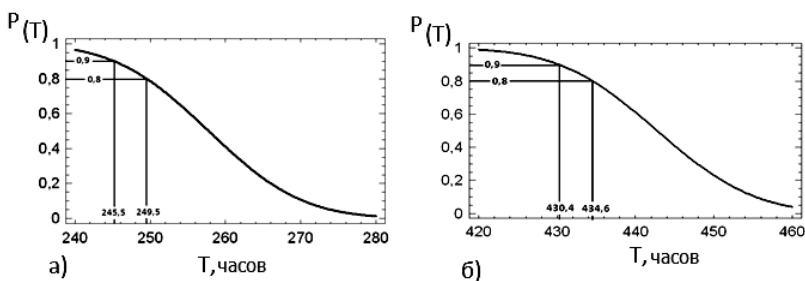


Рис. 6. Гамма-процентный ресурс 80 и 90% метало-полимерных сопряжений с посадкой $\text{Ø}40\text{H}8/\text{e}7$ испытанных в режиме:
а) - сухого трения и б) - граничного трения.

Подшипники скольжения, испытанные в условиях граничного трения при использовании в качестве смазки Литол 24, имеют значительно более высокую долговечность по сравнению с теми сопряжениями, что испытывали в условиях сухого трения. Таким образом, из рисунка 6 (б) видно, что для $\gamma=0,8$ гамма-процентный ресурс составляет 434,6 часа, а для $\gamma=0,9$ соответственно 430,4 часа. Можно также утверждать с вероятностью 99,9%, что все испытанные сопряжения проработают непрерывно не менее 420 часов.

Выводы

1. Установлено, что подшипники скольжения, работающие в условиях сухого и граничного трения целесообразно восстанавливать ПЭКМ наполненными полыми стеклянными микросферами.

2. Долговечность восстановленных подшипников скольжения ПЭКМ наполненными полыми стеклянными микросферами с вероятностью в 99,9% составит 240 часов в условиях сухого трения и 420 часов при условиях граничного трения при использовании в качестве смазки-Литол 24.

Список использованных источников

1. Țapu, V. Sporirea disponibilității și mentenabilității îmbinărilor cu joc renovate cu materiale compozite polimerice: Teza de dr. în tehnică: 05.20.03. – Chișinău, 2011, 132 p.
2. Malai, L., Marian Gr. Alegerea și optimizarea constituției MC poliamidice folosite la renovarea îmbinărilor de tip lagăr. În: Știința agricolă, UASM, Chișinău, 2011, nr. 2, p. 56-59.

Анотація

ДОВГОВІЧНІСТЬ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІДНОВЛЕНИХ ПОЛІАМІДОЕПОКСІДНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ НАПОВНЕНИМИ ПОРОЖНИСТИМИ СКЛЯНИМИ МІКРОСФЕРАМИ

**МАР'ЯН Г.Ф., д.т.н., професор; МАЛАЙ Л.Г., ст.
викладач; ГОРОБЕЦЬ В.Ф., к.т.н., доцент**

У статті представлені результати дослідження довговічності підшипників ковзання відновлених поліамідоепоксидними композиційними матеріалами (ПЕКМ) наповненими порожнистими скляними мікросферами, в умовах сухого і граничного тертя. Підтверджено доцільність використання даної композиції для відновлення підшипників ковзання працюючих в умовах сухого і граничного тертя.

Abstract.

DURABILITY OF SLIDING BEARINGS OF SLIDING RESTORED BY POLYAMIDE EPOXIDE COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH HOLLOW GLASS MICROSPHERES

**MARIAN G., Vice Rector for Scientific Activity, Professor,
Doctor Habilitatus; MALAI L., Head of Department MFD,
Senior Lecturer; GOROBET V., Head of Department
MMME, Associate Professor, Ph.D.**

The article presents the results of the study of the durability of sliding bearings restored by polyamide epoxide composite materials (PECM) filled with hollow glass microspheres in conditions of dry and limited friction. The study has confirmed the feasibility of using the composition to recover sliding bearings operating in conditions