

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
И ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ
ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОВ**

© Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А., 2024

Аннотация. Представлены новые композиционные материалы из модифицированной древесины и различного металлического наполнителя. По результатам испытаний композиционных древесно-металлических материалов сделан вывод о перспективности использования этих материалов в качестве вкладышей подшипников скольжения поворотных шарниров манипуляторов.

Ключевые слова: подшипник скольжения, композит, трение, износостойкость, древесная матрица, металлический наполнитель.

**IMPROVING THE WEAR RESISTANCE AND DAMPING CHARACTERISTICS
OF PLAIN BEARINGS OF MANIPULATOR SWIVEL JOINTS**

Abstract. New composite materials made of modified wood and various metal fillers are presented. Based on the results of tests of composite wood-metal materials, a conclusion was made about the prospects of using these materials as inserts for sliding bearings of rotary joints of manipulators.

Keywords: plain bearing, composite, friction, wear resistance, wood matrix, metal filler.

Анализ работоспособности технологических машин, оснащенных манипуляторами, показывает, что износостойкость шарнирных соединений этих манипуляторов не всегда является удовлетворительной. Во многом это связано с особенностями эксплуатации таких соединений. В зависимости от места установки в манипуляторе, угол поворота подшипника шарнирного соединения составляет от 15 до 110°, а внешнее удельное давление – от 30 до 80 МПа. Шарнирные соединения манипуляторов, помимо значительных давлений, испытывают еще и реверсивный характер трения, что вызывает односторонний износ подшипника. При реверсивно-вращательном движении и небольшом угле поворота смазка практически не удерживается в подшипнике, что и вызывает его быстрое разрушение [1]. Такие условия эксплуатации требуют использования износостойких материалов с высокими антифрикционными и демпфирующими показателями.

Перспективность использования композитов обусловлена возможностью широкого применения различных материалов в конструкциях

подшипников и способов их изготовления. Значительное число комбинаций и технологий позволяет достигать необходимых характеристик с учетом определенных условий эксплуатации. Композиционные материалы в качестве подшипников скольжения позволяют повысить износостойкость подвижных узлов манипуляторов, уменьшить шум и вибрацию, снизить расход смазки и периодичность смазывания.

Перспективность использования композиционных материалов в узлах трения скольжения доказана многими исследованиями [2]. Так, композиты из металл-фторопласта имеют нагрузочную способность, равную 35 МПа. Это значение соответствует нагрузочной способности бронзы БрОЦС5-5-5 (см. ГОСТ 613-79 [6]) при скорости скольжения 0,01–0,03 м/с без смазки. Композиционные материалы полиамид П-68, углепластик, углерод-углеродный композитный материал (УУКМ) по нагрузочной способности при тех же условиях трения превосходят закаленную сталь почти в 2 раза. Однако изготовление композитов из углепластика и металл-фторопласта чревато значительными затратами.

Из композиционных материалов, используемых в узлах трения, значительный интерес представляют органические полимеры, армированные металлическим наполнителем различной формы и дисперсности. Такие вкладыши хорошо зарекомендовали себя в многофункциональных опорах скольжения. Эти полимеры также обладают повышенными антифрикционными и демпфирующими характеристиками [3]. С целью создания материалов для вкладышей древесину модифицируют, пропитывая различными составами из органических кислот, щелочей, легкоплавких металлов. В качестве наполнителя можно использовать металлические материалы, обладающие высокой теплопроводностью, чтобы обеспечить интенсивный отвод тепла из зоны фрикционного контакта.

Анализ характеристик антифрикционных и виброгасящих материалов показал, что наиболее перспективным является применение в конструкциях узлов трения скольжения композитов на основе прессованной модифицированной древесины и каркасно армирующего металлического наполнителя, что позволит обеспечить необходимые триботехнические характеристики подшипника. Исключительной особенностью таких антифрикционных материалов выступает возможность использования смазочного материала в виде водных эмульсий, которые обеспечивают такую же работоспособность, как и при смазывании минеральными и синтетическими маслами. Достоинствами древесных композитов также являются их невысокая стоимость и хорошие виброгасящие свойства.

Однако полимеры обладают низкой теплопроводностью, что отрицательно сказывается на эксплуатационных параметрах узлов трения. Для устранения этого недостатка и улучшения триботехнических

характеристик узлов скольжения рекомендуется в качестве наполнителя применять металлы с высокой теплопроводностью или те, которые обладают значительной теплоаккумулирующей способностью.

Для увеличения триботехнических и теплофизических характеристик антифрикционных композиционных материалов важно, кроме химического состава металлической фазы, учитывать свойства матрицы (породу древесины, направление волокон), технологию ее модификации, а также соотношение древесной, металлической, твердосмазочной и упругой составляющих. Для обеспечения теплофизических характеристик вкладышей большое значение имеет сплошность композита, то есть плотность контакта наполнителя и древесной основы.

Конструкция композиционного материала из модифицированной древесины и металлического наполнителя представлена на рис. 1. Металлические частицы наполнителя разного размера расположены в матрице послойно: ближе к рабочей поверхности – более крупные частицы, которые уменьшаются с увеличением диаметра вкладыша. Металлические элементы в виде маленьких шариков изготовлены из бронзы. Отметим, что эти элементы могут быть сделаны в виде биметаллических капсул, содержащих внутри легкоплавкий материал, покрытый оболочкой из металла с более высокой температурой плавления [4].

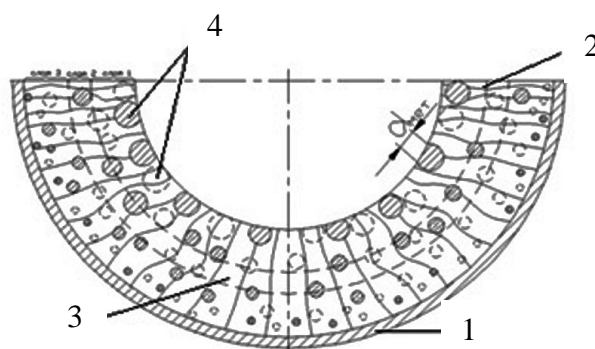


Рис. 1. Вкладыш из модифицированной древесины и металлического наполнителя: 1 – втулка; 2 – вкладыш; 3 – матрица; 4 – теплоотводящий металлический наполнитель

Сферическая форма наполнителя позволяет обеспечить равномерное распределение металлических частиц в матрице, а также регулировать ее концентрацию. Температура такого наполнителя при эксплуатации сначала возрастает до значения, равного температуре плавления металлического наполнителя, а затем выделяемая энергия затрачивается на плавление материала капсулы [5].

Другая, более технологичная, конструкция древесно-металлического вкладыша состоит из чередующихся древесных и металлических слоев, выполненных в виде сплошной металлической полосы или со сквозными отверстиями. Возможно использование в качестве металлического

наполнителя мелкоячеистой сетки. Для изготовления вкладыша металлическая полоса навивается на технологическую оправку и чередуется с проклеенными слоями шпона, изготовленного из древесины различных пород. Варьируя толщину древесного шпона и металлических полос, можно добиться необходимых триботехнических характеристик композиционного материала. При создании других конструкций металлическая полоса была заменена металлической сеткой.

Подшипник скольжения с армирующим элементом в виде растянутой пружины, навитой между слоями проклеенной древесины, представлен на рис. 2. Пружина обеспечивает сжимающий эффект, что увеличивает прочностные и демпфирующие характеристики вкладыша, а также площадь отвода тепла.

Количество металлического наполнителя в объеме композиционного материала и расстояние между витками в древесной матрице формируют температурный режим работы подшипника скольжения и уровень остаточного напряженного состояния.

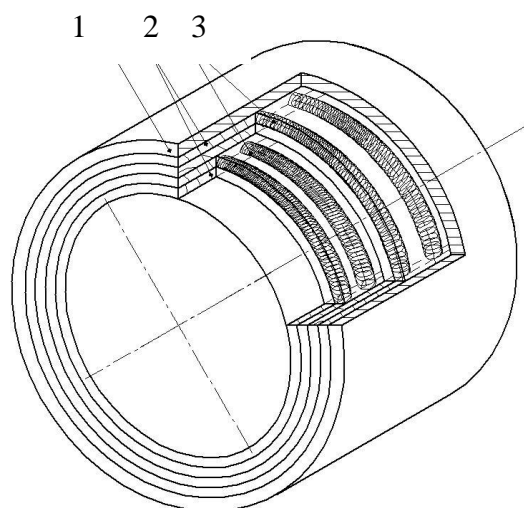


Рис. 2. Схема вкладыша подшипника скольжения с металлическим пружинным наполнителем: 1 – опорная втулка; 2 – слой древесины; 3 – пружина

Лабораторные исследования указанных композиционных материалов проводились в условиях трения абразивно-масляной прослойки при приложении различных видов нагружения. Изучались армированные древесно-металлические композиционные материалы, основой которых являлась модифицированная древесина березы, а металлическими составляющими – безоловянная бериллиевая бронза марки БрБ2 и титановый сплав ТС6, выполненные в форме пружин, а также сетчатая латунь марки Л80. Результаты экспериментальных исследований износа образцов от времени их испытаний представлены на рис. 3.

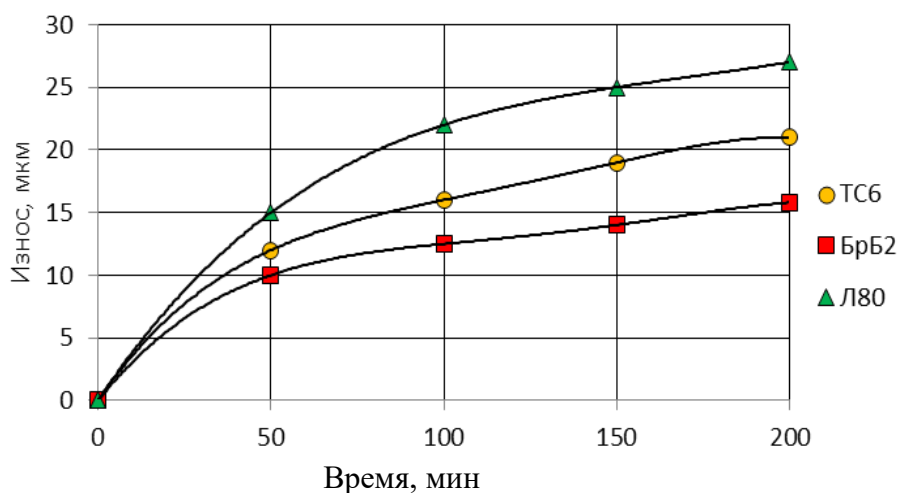


Рис. 3. Износ армированных композиционных материалов при абразивно-масляной прослойке и приложении постоянной нагрузки (армирующий материал: бериллиевая бронза марки БрБ2, титановый сплав марки ТС6, латунь Л80)

Продолжительность приработки исследуемых образцов составляла 40–60 мин, затем интенсивность изнашивания существенно снижалась и до конца испытаний динамика нарастания износа была стабильной. Установлено, что износ образцов при подаче в зону трения абразивно-масляной суспензии при постоянной нагрузке примерно в 1,5 раза выше, чем при трении в условиях граничной смазки.

Износ образцов, имеющих пружинную металлическую составляющую, изготовленную из бериллиевой бронзы, примерно на 25 % ниже, чем у образцов с металлическими включениями из латунной сетки. Бериллиевые бронзы имеют повышенную износостойкость и более низкое значение коэффициента трения по сравнению с латунью Л80 и титановым сплавом ТС6.

Износ образцов с титановой пружиной, несмотря на более высокую твердость титанового сплава, больше, чем у содержащих бериллиевую составляющую, что объясняется низкой способностью указанного сплава адсорбировать смазочные материалы. Кроме того, при трении в минеральных маслах интенсивность износа титанового сплава не только не снижается по сравнению с граничным трением, но может увеличиваться за счет диффузионного насыщения водородом.

Еще более низкую износостойкость показали образцы, имеющие в качестве металлической составляющей латунную сетку. Это связано с тем, что латунь обладает меньшей твердостью и значительно истирается в условиях трения по абразивно-масляной прослойке.

Исследуемые образцы из тех же композиционных материалов были подвергнуты испытаниям в более жестких условиях воздействия

циклической и ударной нагрузок при трении в абразивно-масляной прослойке. Результаты испытаний представлены на рис. 4.

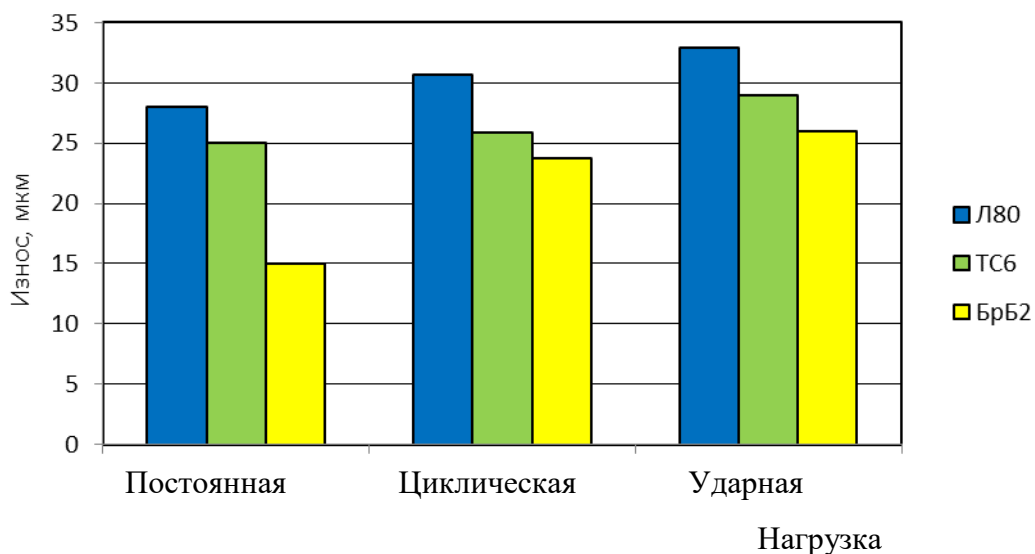


Рис. 4. Износ древесно-металлических материалов при трении по стали при подаче абразивно-масляной суспензии

Износ образцов при приложении ударной нагрузки выше, чем при циклической и постоянной. Меньшие значения износа имеют композиты, армированные пружинной навивкой из бериллиевой бронзы. Немного ниже значение износостойкости, как и в предыдущей серии испытаний, показали образцы, армированные латунной сеткой.

Таким образом, выполненные исследования продемонстрировали перспективность использования древесно-металлических композиционных материалов в качестве вкладышей подшипников скольжения поворотных шарниров манипуляторов. Различные способы формирования конструктивных и структурных составляющих материалов вкладышей позволяют добиться необходимых триботехнических показателей, что создает новые возможности для их более широкого применения.

Библиографический список

1. Памфилов Е.А., Шевелева Е.В., Пилюшина Г.А. Антифрикционные армированные древесно-металлические материалы // Трение и износ. 2019. Т. 40. № 1. С. 121–128.

2. Модифицирование древесины для создания подшипников скольжения лесопромышленных машин / Г.А. Пилюшина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 5 (377). С. 155–165.

3. Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Подшипники скольжения из армированных композиционных материалов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 6 (79). С. 56–64.

4. Подшипник скольжения: пат. 108519 Рос. Федерация. № 2011113560/11 / Памфилов Е.А., Лукаш А.А., Прусс Б.Н., Пилюшина Г.А.; заявл. 07.04.2011; опубл. 20.09.2011. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU108519U1_20110920 (дата обращения: 13.01.2024).

5. Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А. Металлополимерные композиционные материалы для узлов трения технологических машин // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2020. № 31. С. 41–44.

6. ГОСТ 613-79. Бронзы оловянные литейные. Марки Tin foundry bronzes. Grades [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200009191> (дата обращения: 23.12.2023).

УДК 531.43

Афанасьева Л.Е., Сахаров К.А., Измайлов В.В., Новоселова М.В.
Тверской государственный технический университет

МИКРОАБРАЗИВНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ СЭЛП

© Афанасьева Л.Е., Сахаров К.А.,
Измайлов В.В., Новоселова М.В., 2024

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований абразивной износостойкости образцов сплава титана, полученных по технологии селективного электронно-лучевого плавления. Показано, что в плоскости слоя и в поперечном сечении интенсивность изнашивания приблизительно одинакова (анизотропия износостойкости не выявлена).

Ключевые слова: износостойкость, микротвердость, сплав титана, селективное электронно-лучевое плавление.

MICROABRASIVE TESTS FOR WEAR RESISTANCE OF TITANIUM ALLOY OBTAINED USING EBM TECHNOLOGY

Abstract. The results of experimental studies of the abrasive wear resistance of titanium alloy samples obtained using selective electron beam melting technology are presented. It is shown that in the plane of the layer and in the cross section the wear rate is approximately the same (anisotropy of wear resistance has not been revealed).

Keywords: wear resistance, microhardness, titanium alloy, selective electron beam melting.