

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

Направление подготовки – 35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

**ТЕМА: Повышение надежности подшипников скольжения
сельскохозяйственной техники при ремонте применением
древесно-металлических вкладышей**

Студент магистратуры _____ Хайбрахманов И.И..

Научный руководитель,

к. т. н., доцент

Ахметзянов Р.Р.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
(протокол № 20 от 08 июня 2020 г.)

Зав. кафедрой профессор

ученое звание

подпись

Адигамов Н.Р.

Ф.И.О.

Казань-2020

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе

Хайбрахманова Ильнура Илькамовича

**на тему: «Повышение надежности подшипников скольжения
сельскохозяйственной техники при ремонте применением
древесно-металлических вкладышей»**

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 73 листах машинописного текста и содержит 26 рисунков, 1 таблицы и состоит из 4 глав, включает введение, анализ состояния вопроса, теоретические исследования, методику экспериментальных исследований, результаты экспериментальных исследований, основные выводы и рекомендации, список цитируемой литературы содержит 30 источников.

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель работы, задачи исследования, апробация работы.

В главе 1 «Анализ состояния вопроса» рассмотрены различные виды подшипниках в машинах, вопросы изнашивания деталей в сельскохозяйственных машинах, свойства и применение различных древесных композитов. Произведены выбор и постановка задач исследования.

В главе 2 «Теоретические исследования» рассмотрены общие вопросы трения в машинах, определение температурного режима работы древесно-металлических подшипников.

В главе 3 «Методика экспериментальных исследований» приведены характеристики экспериментального оборудования, методика изготовления образцов, методика трибологических испытаний полученных образцов

В главе 4 «Результаты исследований» приведены результаты трибологических испытаний, определены зависимости температурного режима работы образцов и их износа..

Работа заканчивается выводами и рекомендациями и списком использованных источников.

ABSTRACT

to the final qualifying work

Khaybrakhmanov Ilnur Ilkanovich

on the topic: "Improving the reliability of agricultural machinery
sliding bearings during repair.

wood-metal liners»

Final qualifying work consists of the explanatory note to 73 sheets of typewritten text and contains 26 drawings 1 of the table and consists of 4 chapters, an introduction, analysis of the state of the question, theoretical research, experimental method, experimental research results, the main conclusions and recommendations bibliography contains 30 sources.

In the introduction, the relevance of the work is justified, the purpose of the work, research tasks, and testing of the work are defined.

In Chapter 1, "analysis of the state of the issue", various types of bearings in machines, issues of wear of parts in agricultural machines, properties and applications of various wood composites are considered. The choice and setting of research tasks are made.

Chapter 2 "Theoretical research" discusses General issues of friction in machines, determining the temperature mode of operation of wood-metal bearings.

Chapter 3 "methods of experimental research" describes the characteristics of experimental equipment, methods of manufacturing samples, methods of tribological testing of the obtained samples

In Chapter 4, "research Results", the results of tribological tests are presented, and the dependences of the temperature mode of operation of samples and their wear are determined.

The work ends with conclusions and recommendations and a list of sources used.

СОДЕРЖАНИЕ стр.

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	8
1.1 Подшипники в машинах	8
1.2 Изнашивание деталей в сельскохозяйственных машинах	14
1.3 Подшипники из прессованной древесины.....	20
1.4 Свойства и применение древесно-полимерных композитов.....	22
1.6 Выводы и задачи исследований	47
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	48
2.1 Общие вопросы трения в машинах.....	48
2.2. Определение температурного режима работы древесно- металлических подшипников.....	50
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	56
3.1 Программа экспериментальных исследований	56
3.2 Методика изготовления образцов.....	56
3.4. Методика проведения трибологических испытаний образцов.....	58
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	63
4.1 Результаты экспериментов по исследованию температуры поверхностей трения.....	63
4.2 Результаты экспериментов по исследованию износостойкости.....	65
4.3 Результаты технико-экономической оценки предлагаемого материала дресвно-металлического подшипника.....	67
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ВВЕДЕНИЕ

Многие машины и механизмы, а именно узлы сельскохозяйственной техники подвергаются большим динамическим и другим видам нагрузки, а также коррозионным и износным явлениям. В основном больше всего страдают подшипниковые узлы, особенностью работы узлов сельскохозяйственных машин являются сильные вибрации, абразивная и коррозионная среда (песок, почва, частички удобрений и растительные остатки и т.д.) плохая смазка, и все это приводит к большим износам и потерям работоспособности не только подшипниковых узлов, но и таких ответственных деталей как зубчатая передача, корпусные детали и т.д. Вследствие выхода из строя узлов и механизмов машин происходит простой сельскохозяйственной техники, нарушение агротехнических требований сельскохозяйственных культур. Поэтому повышение ресурса механизмов машин имеет важное технико-экономическое значение.

Надежность и долговечность ответственных деталей сельскохозяйственных машин можно повысить путем разработки новых материалов и конструкций подшипниковых узлов, рационально анализируя все виды нагрузок, триботехнических и трибохимических свойств материалов из которых изготовлены узлы трения скольжения и поведения их в конкретных условиях работы.

Повысить работоспособность подшипниковых узлов и механизмов сельскохозяйственных машин можно в основном за счет повышения износостойкости, один из путей повышения – это применение материалов способных противостоять износу, по нашему мнению применение модифицированной древесины в качестве подшипниковых узлов – перспективное направление, ведь по разнообразным свойствам древесина не уступает многим антифрикционным материалам.

Известно, что древесина является анизотропной, и именно это свойство дает возможность управлять свойствами наполнителей подбирая их в

зависимости, от условий эксплуатации применяя различные составы и способы прессования.

Но для достижения нужной работоспособности подобных антифрикционных материалов необходимо оптимизировать демпфирующие свойства, физико-технические характеристики и разработка совершенствованной технологии изготовления. Для этого необходимо решить сложные теоретические и практические задачи после решения, которых можно способствовать применению подшипников скольжения из подобных материалов в сельскохозяйственных машинах.

Цель работы - разработать материал древесно-металлических вкладышей подшипников скольжения с увеличенным ресурсом для замены стандартных вкладышей при проведении ремонта машин.

Задачи исследования:

1. На основании анализа характеристик подшипников скольжения выделить группу свойств определяющих их качество
2. Разработать материал подшипника скольжения, обладающего достаточной для рассматриваемых узлов трения работоспособностью в условиях повышенных нагрузок, скоростей скольжения и абразивной среды;
3. Разработать методику и выполнить экспериментальные исследования температуры и износостойкости подшипника скольжения, в котором применяется вкладыш из древесно-металлической композиции, работающего в условиях самосмазывания;
4. Провести анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнить расчет экономического эффекта от внедрения результатов.

Апробация работы:

Результаты работы докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса.

Материалы (Казань, 2019) и III международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы» (Казань, 2019).

Публикации. Основные положения работы изложены в 2 печатных работах в сборниках трудов международных конференций

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Подшипники в машинах

В современных машинах и механизмах наибольшая потеря энергии и мощности происходит в узлах трения. Особенно это касается узлов трения скольжения, к которым относятся опоры скольжения.

Подшипники, как отдельные узлы двигателей машин-орудий, промышленных агрегатов и транспортных устройств, обладающие разнообразием конструктивного оформления и специфики эксплуатации ведут начало своего развития с конца XVIII века.

В это время был внедрен в промышленность универсальный двигатель, которым первоначально явился паровой двигатель.

Увеличение скоростей и усилий, действующих в сочленениях машин и механизмов, и создание в последней трети XIX столетия двигателя внутреннего сгорания и паровой турбины вызвали чрезвычайное разнообразие конструктивных форм подшипниковых узлов и их усложнение.

В результате введения вспомогательных приспособлений по обслуживанию этих узлов и увеличению напряженности работы подшипников и других сочленений возникла необходимость создания новых отраслей промышленности. В первую очередь необходимо отметить производство смазочных минеральных масел, разнообразных антифрикционных сплавов и других подшипниковых материалов и обособление смазочной техники в самостоятельную часть производства.

Возникновение и развитие автотракторной, авиационной и других отраслей промышленности, широкая автоматизация производственных процессов послужили импульсом к интенсификации смазочной техники. Перед последней поставлены задачи обеспечения нормальной эксплуатации подвижных сочленений отдельных частей машины при высоких удельных давлениях, усилиях динамического характера и больших относительных

скоростях. В результате этого усложнились конструкции подшипниковых и иных узлов трения и вспомогательных приспособлений, представляющих совокупность нескольких агрегатов, называемых системой смазки.

Весьма характерными примерами таких систем могут служить системы смазки быстроходного поршневого двигателя, турбомашин или прокатного стана.

Подшипником называется узел подвижного сочленения вала или оси с корпусом машины (рамой экипажа) или другими ее частями, воспринимающий или передающий нагрузку на вал или ось; подшипник служит для них опорой и обеспечивает в течение длительного времени необходимую и достаточную точность положения или заданного движения вала или оси по отношению к корпусу машины (раме экипажа).

Подшипники, воспринимающие лишь радиальную (перпендикулярную к оси вала) нагрузку, называются опорными или радиальными подшипниками или просто подшипниками. Подшипники же, воспринимающие аксиальную (направленную вдоль оси вала) нагрузку, называются упорными подшипниками или подпятниками. Подшипник и вал или ось образуют кинематическую пару I вида V класса (подавляющее большинство подшипников и подпятников валов и осей различных машин и экипажей) или III (шаровые опоры роторов некоторых гироскопических приборов) класса по классификации И. И. Артоболевского.

Если элементы кинематической пары вал (ось) — подшипник таковы, что при безззорном сочленении звеньев этой пары соприкосновение ее элементов будет происходить по поверхностям цилиндрическим или коническим у радиальных подшипников, плоским у подпятников и поверхностям шаров у подшипников сферических, то такие подшипники называются подшипниками скольжения. При относительном движении звеньев такой подшипниковой пары одна и та же часть одного элемента (обычно поверхность подшипника) будет все время находиться в контакте с поверхностью другого элемента. Если же контакт элементов подшипниковой

пары происходит в точке (шарикоподшипники различных видов) или по линии (роликотподшипники с цилиндрическими или коническими роликами, сферические бочкообразные роликотподшипники, игольчатые подшипники), причем в контакт входят последовательно расположенные друг за другом части элементов этой пары, то такие подшипники называются подшипниками качения.

Подпятниками называют упорные подшипники скольжения, оставляя за соответствующими подшипниками качения наименования упорные. При конструктивном оформлении подпятник обычно приходится сочетать с радиальным подшипником скольжения.

В случае же подшипника качения восприятие радиальной и осевой нагрузки можно конструктивно осуществить в одном объекте (радиально-упорные шарикоподшипники или конические роликотподшипники).

Подшипники скольжения и качения, хотя и выполняют одни и те же функции восприятия или передачи усилий и центровки валов, но конструктивно, технически и эксплуатационно резко между собой отличаются, представляя самостоятельные виды опор. Несмотря на это, не всегда однозначно можно решить вопрос о выборе того или иного типа подшипника, отдав предпочтение одному из них, хотя как тот, так и другой тип подшипников имеет свои достоинства и недостатки, которые в отдельных конкретных случаях могут взаимно компенсироваться.

Подшипники скольжения по сравнению с опорами качения при равных условиях:

- 1) более долговечны, особенно при больших по величине стационарных нагрузках и постоянном режиме работы, чем, например, объясняется их исключительное применение в паровых турбинах и других машинах при очень больших числах оборотов;

- 2) имеют меньшие габариты в радиальном направлении, благодаря чему в последнее время они получили широкое применение в опорах валков

прокатных станков, позволив увеличить допустимые усилия и скорости прокатки при заданном расстоянии между осями валков;

3) имеют меньший вес, особенно при высоких нагрузках;

4) будучи разъемными, облегчают монтаж;

5) обладают большей жесткостью, чем подшипники качения, что делает их единственно пригодными для точной центровки валов, например, шпинделей точных и прецизионных станков или распределительных валиков быстроходных двигателей, и частично устраняет причины вибраций, вызываемых недостаточной жесткостью опор;

6) благодаря амортизирующему, буферному действию смазки являются наилучшими при значительных нагрузках, переменных по величине и направлению, вследствие чего применяются исключительно в стационарных, судовых и быстроходных двигателях внутреннего сгорания.

Благодаря этим преимуществам, подшипники скольжения не только равноценны, а зачастую являются лучшим вариантом решения при выборе опоры по сравнению с подшипниками качения.

К преимуществам подшипников качения относятся:

1) меньшие габариты в осевом направлении;

2) меньшая стоимость при нормальной точности исполнения и возможность приобретения на стороне (что, однако, не является преимуществом перед подшипниками скольжения с отдельно выполняемыми или тонкостенными вкладышами);

3) большая простота монтажа и уплотнения;

4) отсутствие при работе подшипника износа шеек вала или оси;

5) простота смазки, поскольку подшипники качения в большинстве случаев не нуждаются в принудительной циркуляции смазки и требуют минимального количества ее, что является причиной исключительного применения подшипников качения в шасси автомобилей, тракторов и других самоходных установок и замены букс в железнодорожных вагонах

роликовыми подшипниками (в меньшей степени подшипники качения применяются в станкостроении и в других отраслях машиностроения);

б) практическим постоянством коэффициента трения при изменении нагрузок и скоростей и незначительным превышением пускового момента над рабочим.

Оценивая трение в подшипнике через условный коэффициент трения f , равный отношению момента сопротивления вращению вала к произведению нагрузки на радиус вала, для опор качения нормальной точности исполнения и при оптимальном количестве смазки будем иметь следующие средние величины этого коэффициента: [20]

шариковые и цилиндрические роликовые	
с короткими роликами	0,001 ... 0,0015
конические роликовые	0,002
радиальные сферические роликоподшипники	0,0015 ... 0,0025
игольчатые	0,002 ... 0,0025
упорные шарикоподшипники	0,003

Этим Ачеркан Н. С. [20] дал усредненные данные по результатам работ, проведенных в разное время различными исследователями. А. Пальмгрен [20] для упорных шарикоподшипников дает $f = 0,0013$, а для игольчатых подшипников $f = 0,0045$; эти величины, по-видимому, более точны.

От этих средних значений коэффициент трения может отклоняться в ту или другую сторону в зависимости от:

- 1) материала подшипника;
- 2) состояния поверхности контактирующих элементов;
- 3) конструкции сепаратора;
- 4) размера;
- 5) на грузки и ее распределения по телам качения;
- 6) скорости вращения вала;
- 7) количества смазки;

8) свойства смазки при рабочей температуре (вязкости, маслянистости). Однако, в общем, для всех типоразмеров и условий работы он находится в пределах $0,0015 \dots 0,004$, если не учитывать трения в уплотнениях.

При пуске опоры качения должно быть преодолено лишь сухое или граничное трение на поверхностях, где имеет место скольжение, поэтому пусковой момент, особенно у шариковых подшипников, незначительно превышает момент сопротивления при установившемся вращении.

Подшипники скольжения по величине коэффициента трения могут в отдельных случаях сравниваться с подшипниками качения лишь при небольших скоростях, при значительных по величине средних удельных давлениях и небольшой рабочей вязкости смазки. Коэффициент трения подшипников скольжения для одного и того же подшипника в зависимости от режима работы и температуры поступающего масла может изменяться в 7 раз и более. При нормальных условиях работы он редко опускается ниже $0,004$, или поднимается до $0,05$ и более, оставаясь в области так называемого жидкостного трения.

Связанное с повышенным трением интенсивное нагревание подшипников скольжения предъявляет повышенные требования к материалу элементов трения подшипника и его смазке. У подавляющего большинства современных машин и механизмов это приводит к необходимости применения специальных устройств (масляных насосов, фильтров, масляных радиаторов), обеспечивающих интенсивную циркуляцию масла, главное назначение которой заключается в достаточном охлаждении подшипника.

Таким образом, более тяжелые условия трения в опорах скольжения, приводящие к усложнению системы смазки, являются их основным недостатком; этот недостаток, однако, во многих случаях, перечисленных выше, компенсируется положительными сторонами подшипников скольжения.

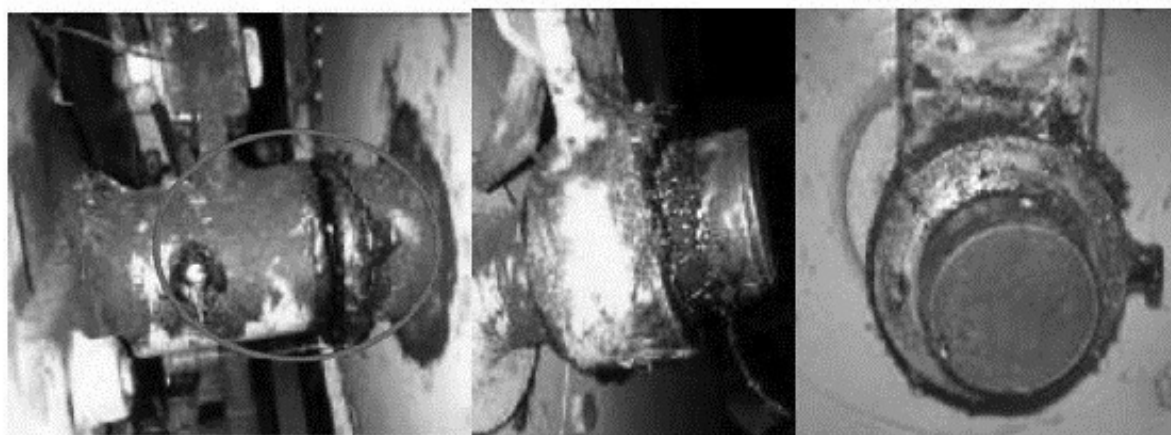
1.2 Изнашивание деталей в сельскохозяйственных машинах

В процессе эксплуатации изделий машиностроения, в том числе сельскохозяйственных машин, наиболее уязвимыми с точки зрения износа рабочими элементами, являются подшипниковые узлы. Особенности их эксплуатации вызывают необходимость оценки влияния многочисленных факторов (материалов, используемых для их изготовления, микроклимата окружающей среды, уровня нагруженности, скоростных режимов и т. п.) на степень износа и, следовательно, надежность и работоспособность подшипниковых узлов. [14]

Например, на почвообрабатывающие, посевные, зерно- и кормоуборочные сельскохозяйственные машины существенное влияние оказывает изменение температуры в течение суток, повышенная запыленность, влажность воздуха, наличие всевозможных органических кислот, солнечная радиация, атмосферные осадки и ветер. При перепаде температур на металлических поверхностях машин и на внутренней части корпусов подшипников накапливается конденсируемая влага, которая перемещивается со смазкой при вращении колец подшипника и при этом теряется ее смазочная способность. Циркулирующий воздушный поток, образуемый вращением рабочих органов машин, захватывает абразивные частицы органического происхождения и продувает через щели в корпусах и сальниковых уплотнениях подшипников. Этот абразив попадает внутрь подшипников, вызывая их усиленный износ.

Опыт эксплуатации подшипниковых узлов трения скольжения в различных узлах машин и механизмов показывает, что около 70% подшипников скольжения работают без смазки или при граничной смазке в основном в абразивной или водной среде, что обусловлено конструктивными или технологическими параметрами машин.

На рисунке 1.1 показан узел оси мотовила комбайна САМПО, где видно, что пластичная смазка при работе нагревается и выходит, насыщается абразивом, что ускоряет износ бронзового подшипника



а)

б)

в)

Рисунок 1.1 - Подшипниковый узел трения скольжения:

а - левая опора, *б* - правая опора, *в* - зазор от износа

Исследованиям механизма изнашивания поверхностей скольжения и факторов влияющих на него занимались Буше Н.А., Крагельский И.В., Чичинадзе А.В., Семенов А.П., Бершадский Л.И., Карасик И.И., Гриб В.В., Позняк Э.Л., Памфилов Е.А., Любарский И.М. и др. в области исследования металлических материалов; Бельй В.А., Бельй А.В., Свириденко А.И., Мьшкин Н.К., Гороховский Г.А., Погосян А.К., Билик Ш.М. и др. исследованием полимерных материалов; Хухрянский П.Н., Кутчинов Б.И., Сидоренков А.К., Шамаев В.А., Денисенко В.В., Вигдорович А.И., Шевелева Е.В., Симин А.П. и др. в области совершенствования древесных материалов.

На кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ занимаются разработкой и исследованиями подшипников из композиционных материалов [13,14,15,16,22,28,29].

Комплексом необходимых свойств обладают композиционные материалы, изготовленные порошковой металлургией. Они могут быть применены в узлах трения с твердыми, пластичными и жидкими смазками, при высоких температурах, в агрессивных и инертных средах.

Преимуществом применения методов порошковой металлургии является то, что она при получении одного и того же объема деталей позволяет сэкономить количество обрабатывающих станков, литых металлов, число рабочих, производственных площадей.

Однако и метод порошковой металлургии имеет недостаток, который заключается в синтезе материалов при очень высоких температурах (1000 °C и выше). Такая температура, в свою очередь, приводит к изменению свойств составляющих компонентов, что в конечном итоге отражается на свойствах готовых материалов.

Нами предлагается низкотемпературный метод синтеза порошковых материалов с применением вяжущих.

Для получения порошковых композиций в качестве вяжущего используем серу, являющуюся представителем класса неорганических полимеров. В качестве наполнителей используем частицы оксидов железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), оксида алюминия (Al_2O_3), металлические частицы алюминия и железа.

В связи с этим, целью работы являлось разработка на основе отходной серы нефтехимической промышленности, материалов машиностроительного назначения. Сера неметалл, температура плавления 116°C, наиболее устойчивы четные степени окисления серы. Она частично растворяется в сероуглероде, а в других растворителях практически не растворяется. При 112,8 °C ромбическая сера плавится, при температуре выше 159° C начинается разрыв восьмичленного кольца серы на бирадикалы S, которые более реакционноспособны. Испытание композиции сера + отход шарикоподшипникового завода + оксид алюминия + алюминий на прочность показало, что их прочность ниже прочности композиции сера + оксид алюминия + магнетита и сера + железо + оксид алюминия в которых каждый компонент по отдельности перемешивается с серой предварительно.

Водопоглощение композиции сера + железо + оксид алюминия в два раза выше, чем водопоглощение композиции сера + отход

шарикоподшипникового завода + оксид алюминия + алюминий + графит. Графитсодержащая композиция практически не поглощает воду, что вероятно, связано отсутствием пор гидрофобным свойствам графита.

Холодным и горячим прессованием порошков при давлении 140 МПа, нагреванием образцов в сушильном шкафу при 180 °С в течение 60 минут получали цилиндрические образцы диаметром и длиной по 20 мм и затем подвергали испытанию на сжатие.

Методами порошковой металлургии могут быть синтезированы материалы с уникальными физико-химическими свойствами, например, антифрикционными типа металл с добавками графита. Для увеличения износостойкости к такому материалу вводят такие легирующие добавки как свинец, фосфор, сера и сульфиды. Типовые материалы обычно содержат графита не более 3...4 % и требуют пропитки минеральными маслами. Получения материалов с большим содержанием графита осложняется тем, что их механические свойства резко снижаются, и ввиду плохой смачиваемости графита с расплавленным металлом. В свете этого огромный интерес представляет получение антифрикционных материалов при более низкой температуре, используя в качестве связующего компонентов композиций серы в сочетании с графитом и другими твердыми смазывающими веществами.

Известно, что композиционные строительные материалы на основе серы отличаются высокими физико-химическими, эксплуатационными, эластичными и адгезионными свойствами. Такие композиции применяются в качестве бетонов, защитных покрытий, серобитумных вяжущих. Гидроизоляционных и смазочных материалов. Однако применение материалов на основе полисульфидных соединений в машиностроении малоизвестны. Такие композиционные материалы, широко могут быть использованы в машиностроении, так как они обладают высокой коррозионной стойкостью, самосмазываемостью, хорошими адгезионными свойствами, технологичностью.

Благодаря глубоким исследованиям трения скольжения, разработано большое количество эффективных антифрикционных материалов, среди которых известны группы антифрикционных чугунов, бронз, баббитов материалы на основе графита, пластмассы, пористые материалы, полученные спеканием металлического порошка и пропитанные суспензией антифрикционного материала (например, фторопласта), резина, прессованная древесина, пропитанная смазочным материалом.

На рисунке 1.2 приведен вид подшипникового узла комбайна Енисей-1200, где установлены металлокерамические вкладыши, но по данным завода наработка до отказа составляет всего 92 часа.

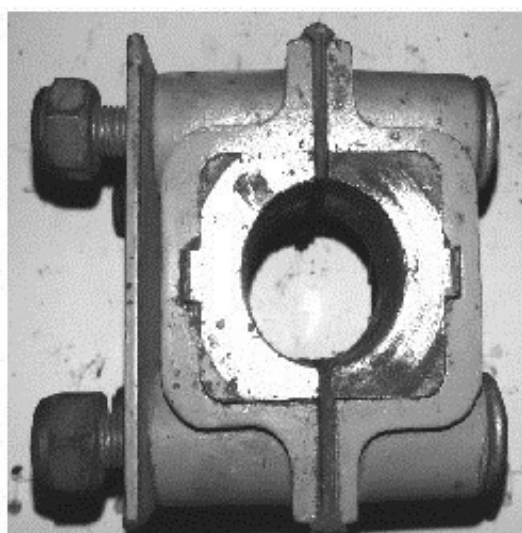


Рисунок 1.2 - Подшипниковый узел коленчатого вала соломотряса комбайна Енисей-1200, смазанный консистентной смазкой

Эти и другие материалы с успехом применяются в узлах трения различных машин. Однако для некоторых условий работы, к которым можно отнести действие химически активных сред, динамическое нагружение, наличие абразива в зоне фрикционного контакта и т.д., достигнутый уровень трибологических характеристик материалов недостаточен для обеспечения работоспособного состояния машины. Поэтому, задача повышения триботехнических свойств материалов остается важной по сей день.

Опыт применения подшипников скольжения с вкладышами из твердых пород древесины, модифицированной древесины, древесных пластиков, в узлах машин показывает, что по эксплуатационным характеристикам для ряда условий работы они превосходят подшипники скольжения с баббитовыми, бронзовыми, чугунными вкладышами.

На рисунке 1.3 приведен вид подшипника соломотряса комбайна из древесины ресурс, которые приходится заменять при ремонте, часто в результате сильного износа из-за перегрева.

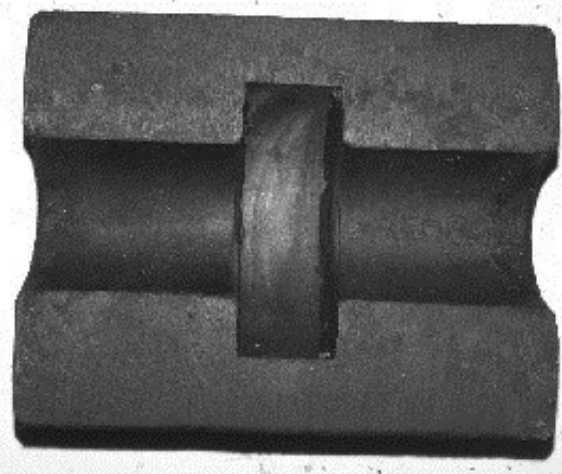


Рисунок 1.3 - Подшипник соломотряса комбайна из древесины

На рисунках 1.4 и 1.5 показаны запчасти к комбайнам из древесных материалов.



Рисунок 1.4 - Деревянный опорный подшипник шнека H84838 John Deere, поставляемый в качестве запчастей

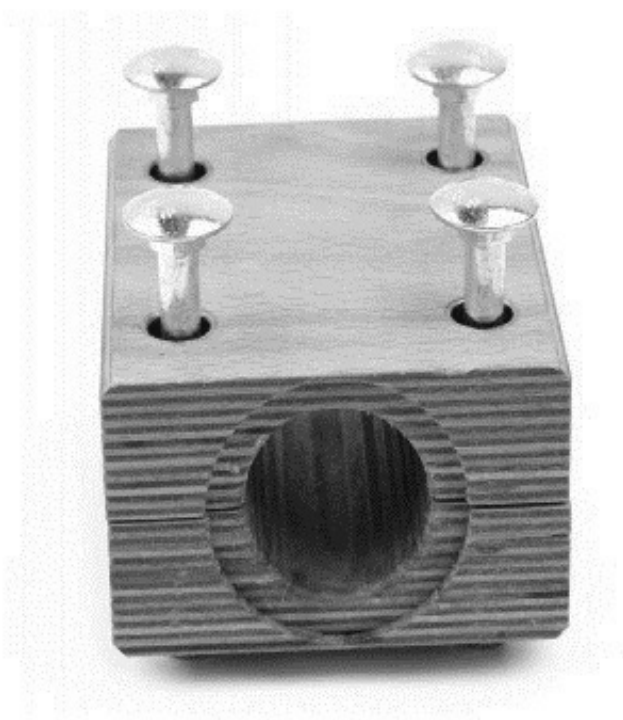


Рисунок 1.5 - Деревянный подшипник соломотряса 678522.0
комбайна Claas

К сожалению, такие запчасти редко служат долго.

1.3 Подшипники из прессованной древесины

Древесина как подшипниковый материал в натуральном виде применяется редко, так как высокую работоспособность обеспечивают только дефицитные и дорогостоящие породы - бакаут, самшит, бук, граб. Запасы этих пород ограничены и зачастую малодоступны для изготовления деталей технических систем.

В связи с этим особое значение приобрела возможность использования для подшипников скольжения древесины широко распространенных и недорогих пород - березы, осины, ольхи, клена и других, которые по физико-механическим свойствам значительно уступают древесине твердых видов.

Вместе с тем их свойства могут быть существенно улучшены, путем модифицирования и создания новых композиционных материалов.

Различают следующие основные способы модифицирования древесины:

- 1) термомеханическая модификация, осуществляемая путем прессования предварительно пропаренной или нагретой древесины;
- 2) химико-механическая модификация, заключающаяся в обработке аммиаком, мочевиной или другими веществами, с последующим или одновременным уплотнением;
- 3) термохимическая модификация, включающая пропитку древесины мономерами или смолами и последующую термообработку;
- 4) радиационно-химическая модификация, когда полимеризация введенных в древесину веществ происходит под действием ионизирующих излучений;
- 5) химическая модификация веществами, изменяющими структуру и состав древесины.

К факторам, осложняющим условия работы подшипника скольжения, и приводящим к его преждевременному отказу можно отнести нарушения смазочного слоя, возникающего в случае утечки смазочного материала, при несоблюдении условий обслуживания, при впитывании смазочного материала окружающей средой; а также динамическое воздействие на вал или подшипник; наличие абразивной среды и т.д.

Прессованная древесина обладает совокупностью свойств, позволяющих использовать её в условиях обедненного смазывания, динамического нагружения, наличия абразивной среды. Однако, низкие механические характеристики и допускаемые значения рабочих температур существенно ограничивают допускаемые скорости вращения.

Основными причинами выхода из строя древесных подшипников скольжения являются термическое разложение древесины, вызванное перегревом рабочих поверхностей из-за низкой теплопроводности, абразивное изнашивание, вызванное попаданием в зону трения абразивных

частиц, набухание и усушка в условиях повышенной и пониженной влажности.

Для повышения долговечности прессованного древесного материала вкладыша предлагается разместить в нем теплопроводящие элементы, как на поверхности вкладыша, так и на удалении от неё. Теплопроводящие элементы могут быть изготовлены из материалов, обладающих повышенной теплопроводностью, например, бронзы. Полученный в результате такой комбинации материал сочетает теплопроводные свойства металлических составляющих и диссипативные характеристики древесины.

1.4 Свойства и применение древесно-полимерных композитов

При использовании термина древесно-полимерные композиты (ДПК, WPC – Wood Plastic Composites) подразумевают большую группу материалов, существенно отличающихся составом и свойствами. Признанной классификации древесно-полимерных композитов пока не существует.

В 2008 году А.Абушенко и И.Воскобойников [3] предложили примерную номенклатуру термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов, исходя из типа наполнителя, вида и исходного физического состояния связующего (полимерной матрицы), массовой доли наполнителя, конечной геометрической формы продукта, применения и степени готовности продуктов, прочности, стойкости к неблагоприятным воздействиям внешних факторов, с учетом внешнего вида и характера обработки поверхностей.

В 2010 году А.Абушенко [2] предложил предварительную систематизацию ДПКт по виду древесного компонента, типу связующего полимера, плотности, прочности, устойчивости к воде, свету, биологическим и другим воздействиям, горючести, виду технологии переработки, конструкции изделия.

Нами предлагается классификация ДПК и ДПКт по природе их основных компонентов – матрицы и наполнителя (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 - Классификация ДПК

Помимо классификации древесно-полимерных композитов как материала, возможно составление классификации изделий из ДПК и ДПКт по различным классификационным признакам, в том числе по области применения.

Существенное увеличение объёмов производства ДПКт с древесным наполнителем сдерживается двумя проблемами:

- высокая стоимость изделий из ДПКт по сравнению с аналогичными изделиями из других материалов на основе древесины (цены на декинг в 2018 г.: из лиственницы – 400 – 800 руб./м², из ДПКт – 1200 – 4000 руб./м²);
- меньшие значения некоторых механических свойств по сравнению с массивной древесиной (предел прочности при статическом изгибе: декинга из лиственницы 60 – 100 МПа, из ДПКт – 13 – 40 МПа).

В решении ценовой проблемы ДПКт отмечены следующие тенденции:

- использование вторичных термопластичных полимеров;
- увеличение массовой доли наполнителя в составе композита более 70 мас. %;
- использование более дешевых добавок и снижение их доли в композите;
- вторичная переработка изделий из ДПКт.

Для применения в различных областях народного хозяйства изделия из ДПКт должны иметь необходимые свойства. При этом необходимо учитывать и свойства самих ДПКт.

Сайдинг – это панели для отделки внешней поверхности зданий. Благодаря введению специальных добавок древесно-полимерный композит не выгорает на солнце, а сочетание со стойкостью к перепаду температур и низким влагопоглощением делает материал ДПКт идеальным для производства сайдинга. Можно получать сайдинг из ДПКт различной формы и расцветок.

Прочная поверхность сайдинга из ДПКт защищает здание снаружи, отвечая всем требованиям к вентилируемым фасадам. Фасадные профили просты и быстры в монтаже

Двери из ДПКт не коробятся и не меняют своих геометрических размеров. Производство дверей из ДПКт требует меньше трудовых затрат и технологических операций. Все элементы короба можно производить на одной линии. При этом двери из ДПКт можно покрывать декоративными пленками и шпоном, наносить различные узоры на станках с ЧПУ

Отсутствие в составе вредных веществ делает такую продукцию привлекательной для потребителя.

Благодаря относительно низкой плотности, высоким показателям эксплуатационных свойств и технологичности древесно-полимерные композиты с термопластичной матрицей традиционно широко применяются в автомобилестроении. Из ДПКт могут изготавливаться такие детали, как

крепления бамперов, дверные и приборные панели, полки багажного отделения, внутренние вкладыши сидений и др. (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Древесно-полимерные композиты с термопластичной матрицей в автомобилестроении

Мебель из древесно-полимерных композитов стала новинкой на рынке мебели для сада. Свойства мебели из ДПКт существенно отличают ее от мебели из натуральных материалов. Самые главные отличия – это устойчивость к воздействию неблагоприятных атмосферных условий и долговечность. Еще одно важное свойство такой мебели – высокая прочность.

Изделия из древесно-полимерных композитов эффектно и колоритно выглядят в интерьере общественных помещений. Использование профиля для создания декоративных решётчатых конструкций позволяет оживить интерьеры и уменьшить эффект отражения и наложения звуковых волн, что немаловажно для комфортной акустической атмосферы помещений.

Беседки, навесы и многие другие малые архитектурные формы, элементы ландшафтного дизайна – вот далеко не весь список применения ДПКт.

Изделия из ДПКт обладают важным технологическим свойством – при нагреве до определенной температуры легко поддаются изгибу, позволяя создавать в интерьере любые радиусные и гнутые формы. Использование легкого и прочного пустотелого профиля из древесно-полимерного композиционного материала позволяет создавать конструкции значительных размеров, не перегружая при этом несущие элементы зданий и сооружений.

В производстве ДПКт используется широкий спектр органических наполнителей и их смесей с минеральными наполнителями [3]. Наибольшее применение находят целлюлозные и лигноцеллюлозные наполнители растительного происхождения.

В производстве ДПКт используется широкий спектр органических наполнителей и их смесей с минеральными наполнителями [1]. Наибольшее применение находят целлюлозные и лигноцеллюлозные наполнители растительного происхождения. Их широкое распространение обусловлено прежде всего экономическими и экологическими причинами: наполнители растительного происхождения являются возобновляемыми ресурсами с относительно низкой себестоимостью. Все наполнители растительного происхождения можно разделить на две группы: *древесные* и *недревесные*.

К древесным наполнителям растительного происхождения относятся древесный опил, древесная стружка, древесная мука, древесные и целлюлозные волокна и другие древесные частицы.

Опилом называют мелкие частицы древесины, образующиеся при пилении. Длина и форма частиц опила и стружки зависят от типа и технологических параметров режущего инструмента, в результате работы которого они образованы.

Древесная стружка представляет собой тонкие древесные частицы, образующиеся при резке древесины.

Древесная мука – древесные частицы заданного гранулометрического состава, полученные путём сухого механического размола древесины. Частицы древесной муки, как правило, имеют продолговатую форму, поэтому точный их размер не регламентируется, однако при просеивании основная часть муки должна проходить через сито с размером ячеек $1,25 \times 1,25$ мм. В отличие от перечисленных выше наполнителей древесная мука не является побочным продуктом обработки древесины. Для производства древесной муки используют опилки от лесопиления и древесную стружку. Вместе с опилом от лесопиления в мельницы попадает значительное количество коры, примесь которой придает древесной муке темный цвет. В зависимости от наличия в муке примесей коры она делится на два сорта. По ГОСТ 16361-79 древесная мука выпускается восемью марок: 1250, 560, 400, 250, 180, 140, Ф и Т.

Из минеральных наполнителей наибольшее применение нашли карбонат кальция, тальк (гидратированный силикат магния), кремнезём (алюмосиликаты). Минеральные наполнители добавляют к органическим главным образом для снижения цены ДПКт. При этом может быть повышена жесткость и огнестойкость материала. Массовая доля минеральных наполнителей в составе композита может достигать 20%.

Термопластичные полимеры. В качестве полимерных матриц для ДПКт могут применяться термопласты, которые могут перерабатываться при температурах до 200 °С [1].

Однако на сегодняшний день более 90% всех изделий из ДПКт производятся из полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и поливинилхлорида (ПВХ). Причина этого явления проста. Чтобы конкурировать с изделиями из цельной древесины, стоимость композитных материалов не должна быть выше более чем в 2–3 раза. Только три названных полимера (ПЭ, ПП, и ПВХ) способны вписаться в соответствующую ценовую категорию.

В качестве полимерных матриц ДПКт в значительно меньших объёмах используются и другие термопластичные полимеры

Полиэтилен – самый крупнотоннажный полимер в мире. Он имеет достаточно низкую температуру плавления (~ 130 °С) и широкий диапазон вязкостей расплава, мягок, что способствует легкому прибиванию, привинчиванию, разрезанию композитных материалов на его основе. Полиэтилен обладает практически нулевым водопоглощением, высокой стойкостью к химикатам и окислению.

В зависимости от плотности и разветвленности макромолекул для получения ДПКт используют следующие виды полиэтилена:

- высокой плотности (ПЭВП, ПЭНД);
- низкой плотности (ПЭНП, ПЭВД);
- линейный низкой плотности (ЛПЭНП).

В производстве ДПКт наиболее распространено применение первых двух типов полиэтилена.

Полиэтилен низкой плотности имеет длинные боковые цепи, ответвляющиеся от главной молекулярной цепи.

В зависимости от плотности и разветвленности макромолекул для получения ДПКт используют следующие виды полиэтилена:

- высокой плотности (ПЭВП, ПЭНД);
- низкой плотности (ПЭНП, ПЭВД);
- линейный низкой плотности (ЛПЭНП).

В производстве ДПКт наиболее распространено применение первых двух типов полиэтилена.

Полиэтилен низкой плотности имеет длинные боковые цепи, ответвляющиеся от главной молекулярной цепи. По мере увеличения количества ответвлений плотность полимера снижается, а количество двойных связей возрастает. Следовательно, чувствительность ПЭНП к окислению растет по мере уменьшения плотности. Плотность ПЭНП обычно лежит в интервале от 915 до 925 кг/м³. Это эластичный и не очень прочный

материал, поэтому декинг на основе ПЭНП необходимо устанавливать с максимально жестким зазором, а ограждения нельзя использовать без специального усиления (металлических вставок). Поверхность изделий из ДПКт с полимерными матрицами из ПЭНП легко царапается. Максимальная рабочая температура полиэтилена низкой плотности и композитов на его основе составляет 71°C.

Полиэтилен высокой плотности обладает более высокой степенью кристалличности по сравнению с ПЭНП. Поэтому он более жесткий и прочный, но также и более склонный к короблению. Имеет хорошую прочность при сжатии (до 30 МПа) и плотность, лежащую в пределах от 940 до 970 кг/м³. Предел прочности при растяжении в 2 – 3 раза выше, чем у ПЭНП. Композиты на основе ПЭВП превосходят аналоги на основе ПЭНП по показателям прочности, упругости, твердости, сопротивлению ползучести, но показывают более высокую усадку из-за образования уплотненных кристаллических областей.

Окисление ПЭВП происходит медленней, чем ПЭНП. Аморфные области окисляются быстрее кристаллических. Окисление аморфных областей приводит к росту хрупкости полимера. Изделия на основе ПЭВП с высокой степенью кристалличности могут быть довольно хрупкими вследствие недостаточно высокой ударной вязкости. Максимальная рабочая температура полиэтилена высокой плотности и композитов на его основе составляет 82°C.

Полипропилен. По ряду свойств *полипропилен* превосходит полиэтилен. Он легче (плотность 900 – 910 кг/м³), прочнее (прочность при изгибе может достигать 50 МПа), жестче, более износостоек и стоек к ползучести, менее скользок. Полипропилен характеризуется незначительным водопоглощением – 0,001 % за 24 часа. В то же время ПП более хрупок и значительно менее морозостоек по сравнению с ПЭ. Изделия из него трудно крепить, используют гвозди и винты. Поэтому террасные доски из композитов на основе полипропилена требуют применения специальных

систем крепления. Кроме того, изделия из ДПКт на основе ПП труднее резать и пилить.

Температура переработки композитов с полипропиленовыми матрицами в среднем на 20 – 30 градусов выше, чем с полиэтиленовыми. Вследствие этого возникает большой риск термодеструкции наполнителя в процессе экструзии. Использование сополимеров пропилена с этиленом позволяет снизить температуру переработки изделий.

При экструзии ДПКт обычно используют полипропилены, имеющие показатель текучести расплава 2 – 5 г/10 минут (при температуре 230 °С и нагрузке 2,16 кг).

Поливинилхлорид отличается химической стойкостью к щелочам, минеральным маслам, жирам, спиртам, многим кислотам и растворителям.

По уровню водопоглощения поливинилхлорид сопоставим с полиэтиленом и полипропиленом.

К недостаткам ПВХ относятся низкая термостойкость (диапазон рабочих температур от –5 до 70 °С) и высокая хрупкость. Поскольку при сгорании ПВХ выделяет ядовитый хлористый водород, материалы на его основе рассматриваются как «непредпочтительные с экологической точки зрения».

В верхних слоях изделий на основе ПВХ происходит фотодеструкция. Толщина деструктированного слоя обычно составляет 0,2 – 0,3 мм.

АБС-пластики. Сополимеры стирола с акрилонитрилом и бутадиеном (АБС-пластики) представляют собой жесткие, твердые, ударопрочные, теплостойкие (до 110 °С), морозостойкие (до –40 °С) и химически стойкие материалы.

Пропорции компонентов АБС-пластика могут варьироваться в широких пределах: 15 – 35 % акрилонитрила, 5 – 30 % бутадиена и 40 – 60 % стирола. Прочность при изгибе для чистого АБС составляет 30–45 МПа, прочность при сжатии – 47 МПа, прочность при растяжении – 24–35 МПа.

АБС-пластики обладают более высоким водопоглощением, чем перечисленные выше термопласты, которое составляет 0,3 % за 24 часа выдержки в воде. В то же время ДПКт на основе АБС показывают значения водопоглощения, сопоставимые с композитами на основе ПЭ и ПП (примерно 9,5 % за месяц).

К недостаткам АБС-пластиков относятся низкая атмосферо- и огнестойкость, небольшая долговечность, высокие плотность и цена материала.

В ближайшем будущем ожидается повышение интереса к этому материалу, связанное с реализацией проектов по использованию рециркулированного АБС.

Биоразлагаемые полимеры. Для создания биоразлагаемых древесно-полимерных композитов могут использоваться следующие полимеры: полилактиды, полигидроксиалканаты, смеси крахмала с полиолефинами и др. [5].

Полилактиды – биоразлагаемые, термопластичные, алифатические полиэфиры (рис. 1.8), мономером для которых является молочная кислота.

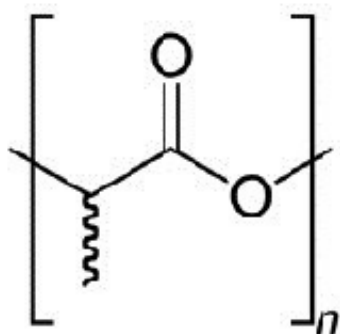


Рисунок 1.8-. Структурная формула полилактида

Плотность полилактидов находится в интервале 1240–1400 кг/м³, а температура плавления 150–160 °С.

Полилактиды могут перерабатываться методами экструзии и литья под давлением. По своим физико-механическим свойствам композиты на основе полилактидов приближаются к изделиям на основе ПЭНП.

Компатибилизаторы. Компатибилизаторами, или агентами совместимости (агентами адгезии, аппретами), называются химические соединения, повышающие совместимость полимерной матрицы и наполнителя. Компатибилизаторы способствуют лучшему диспергированию волокна наполнителя в полимерной матрице, повышают текучесть расплава композита и как следствие повышают механические свойства ДПКт и эластичность.

Основная функция компатибилизатора – повышение адгезии между матрицей и наполнителем.

Чаще всего компатибилизаторы представляют собой термопластичные полимеры с полярными функциональными группами. Механизм действия таких компатибилизаторов заключается в том, что их функциональные группы взаимодействуют с полярными гидроксильными группами в составе наполнителя с образованием физико-химических связей, а с неполярными макромолекулами полимерной матрицы они образуют физические связи, в том числе за счёт переплетения молекулярных цепей и кристаллизации при охлаждении расплавов полимеров. В процессе этих взаимодействий повышается адгезия между компонентами ДПКт (рис.1.9) [3].

Наиболее распространены в промышленности компатибилизаторы следующих типов: маленизированные полиолефины, органосиланы, политетрафторэтилен, модифицированный акрилом.

Маленизированные полиолефины обычно получают прививкой маленизированного ангидрида на полимерную основу (по радикальному механизму). Степень прививки колеблется в пределах от 1 до 6 мас.%. Содержание такого компатибилизатора в составе ДПКт может варьироваться от 1 до 5 мас.%.

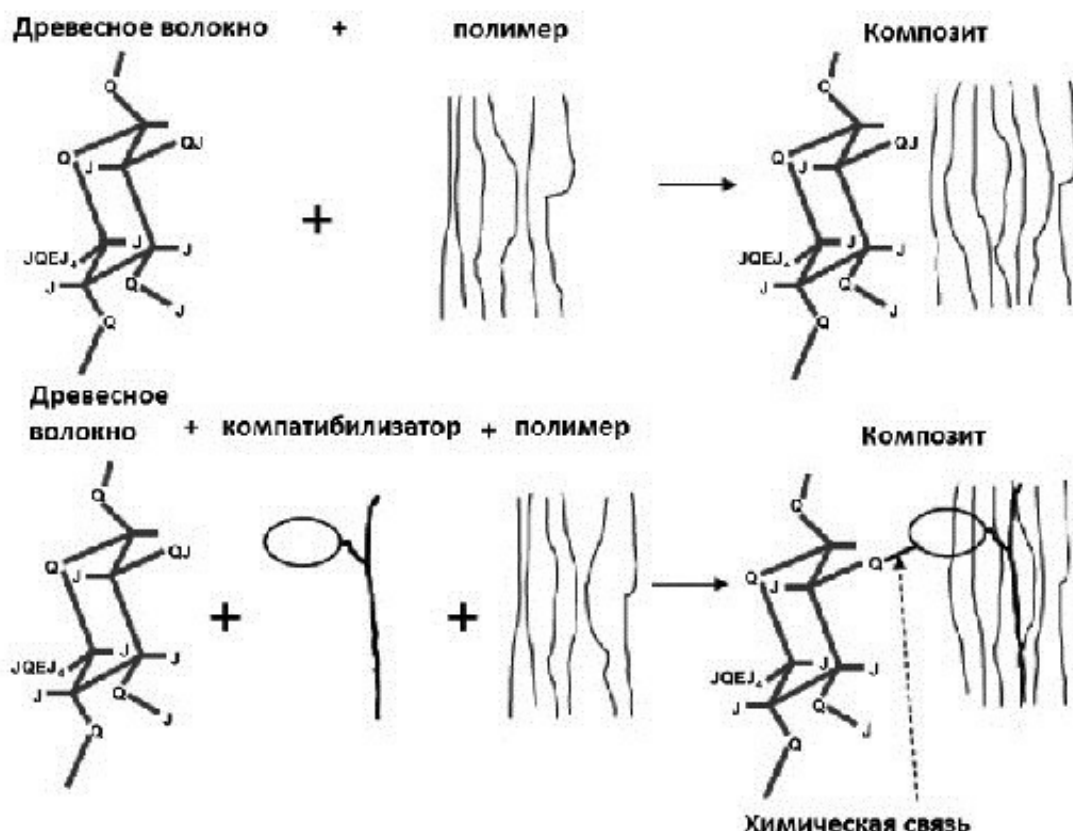


Рисунок 1.9 - Механизм действия компатибилизатора

Рекомендуется нагревать малеинизированные полиолефины перед использованием для восстановления химической структуры ангидрида.

Органосиланы – кремнийорганические соединения, содержащие связь Si–C. Типичное содержание силана в композите 3–10 мас.%. Высокая стоимость органосиланов является главным препятствием для их широкого и распространения в качестве компатибилизаторов ДПКт.

Известно, что введение в состав композита политетрофторэтилена, модифицированного акрилом в количестве 2–5 мас.%, улучшает диспергируемость наполнителя, текучесть расплава композита и ударную вязкость ДПКт.

Смазывающие агенты. Использование смазывающих агентов (лубрикантов) позволяет обеспечить более равномерное распределение наполнителя в полимерной матрице и увеличить скорость экструзии

композита. Поэтому лубриканты относят к добавкам технологического назначения.

При производстве ДПКт обычно используются традиционные лубриканты для полиолефинов и ПВХ. Самыми распространёнными видами смазки для ДПКт на сегодняшний день являются стеарат цинка (особенно для композитов на основе ПЭВП) и стеариновая кислота. Также применяются в качестве смазок низкомолекулярные полиолефины: парафин, полиэтиленовый воск и окисленный полиэтилен. Возможно комбинированное использование нескольких типов смазывающих агентов в одном композите. Доля смазки в составе ДПКт обычно не превышает 2,5–3 % [1].

Существует серьезная проблема выбора подходящей смазки для ДПКт, сочетающейся с используемым аппретом (компатибилизатором).

Так, например, стеарат цинка полностью подавляет действие малеинизированных аппретов. Смазки, не содержащие металлов (жирные кислоты), зачастую не оказывают никакого влияния на физико-механические свойства композитов, модифицированных малеинизированными полиолефинами. В настоящее время вопрос взаимодействия смазок и аппретов в составе ДПКт представляется недостаточно глубоко изученным.

Красители. Использование красителей необходимо как для придания изделиям из ДПКт цвета, так и для защиты от УФ-лучей. Для окрашивания ДПКт применяются в основном два вида красителей: пигменты и суперконцентраты. Пигментами называют высокодисперсные неорганические или органические вещества, нерастворимые в дисперсионных средах, придающие материалам непрозрачность и цвет. Суперконцентраты представляют собой композиции полиолефинов с равномерно распределенными в них пигментами. Пигменты имеют более низкую себестоимость по сравнению с суперконцентратами, однако сильно загрязняют воздух рабочей зоны при переработке изделий.

Массовая доля красителя в составе композита обычно не превышает 3–4 %. В то же время композит должен быть однородно прокрашен по всей

поверхности и толщине, и для этого приходится увеличивать дозировку красителя.

Биоциды. Значительная часть изделий из ДПКт эксплуатируется в контакте с водой. Скапливающаяся влага создает благоприятную среду для размножения микробов, возникновения и роста плесени. Поверхность композита, пораженного вредоносными микроорганизмами, покрывается окрашенными пятнами. По мере роста колонии микроорганизмов начинается ухудшение эксплуатационных свойств изделия: прочности, жесткости, твердости.

В некоторых случаях введение биоцида в состав композита позволяет улучшить его физико-механические свойства, например прочность при изгибе.

В производстве ДПКт в качестве биоцидов наиболее часто применяются следующие соединения: борат цинка, метаборат бария, тетрахлоризофталонитрил, цинковые производные меркаптопиридин 1-оксида и др.

Антипирены. Горючесть ДПКт обусловлена высоким содержанием углерода и водорода в их компонентах (древесине, термопластичном полимере, органических добавках). Воспламенить изделие из ДПКт с помощью спичек или зажигалки не так просто. Это объясняется плотной, хорошо упакованной структурой материала. Однако при пожаре, под воздействием высокой температуры начинается пиролиз материала, т.е. разложение макромолекул полимера и древесины на низкомолекулярные углеводороды, которые далее подвергаются реакциям горения, происходящим с большим выделением тепла и продуктов разложения. Поэтому перед производителями встает проблема снижения горючести изделий из ДПКт. Это достигается введением в состав композита специальных добавок, затрудняющих воспламенение и снижающих скорость распространения пламени, – антипиренов [1].

Антипирены для ДПКт отличаются от антипиренов для древесных материалов. Антипирены для ДПКт обязательно должны быть термостойкими, чтобы не деструктировать в процессе переработки. Наиболее широко применяются в производстве ДПКт следующие антипирены: тригидрат алюминия (ТГА), гидроксид магния, борат цинка, бромированные соединения и оксиды сурьмы. Активные антипирены ингибируют и подавляют горение по нескольким механизмам:

- высвобождая воду, которая действует как сток для тепла и предотвращает доступ кислорода к очагу возгорания (ТГА, гидроксид магния);
- выделяя невоспламеняемые газы, экранирующие горючие материалы от кислорода (галогенсодержащие антипирены);
- действуя как сажеобразователи (фосфорсодержащие антипирены).

Для полного предотвращения горения ДПКт в их состав вводят до 30 % антипиренов.

В настоящее время экструзия является наиболее распространенным технологическим процессом изготовления изделий из древесно-полимерных композиционных материалов с термопластичной полимерной матрицей (ДПКт).

Экструзия древесно-полимерных композиционных материалов на термопластичной матрице.

Экструзия ДПКт – технология, которая нуждается в тщательном и непрерывном управлении основными параметрами технологического процесса. Использование системы специальных машин, определенных экструзионных инструментов и необходимых химических добавок позволяет преодолеть сложные моменты.

До недавнего времени специальные машины для экструзии ДПКт создавались только наиболее известными компаниями в области полимерного машиностроения, например: «Bausano», «Cincinnati Extrusion»,

«Entek», «Hans Weber Maschinenfabrik», «Krauss Maffei», «Milacron», «Reifenhuser Maschinenfabrik» и др. Сейчас их предлагают уже десятки фирм.

К сожалению, учитывая высокую степень производственной специализации, существующей в зарубежном полимерном машиностроении, далеко не все из них готовы предложить заказчикам современное комплексное решение (от измельчения древесины до упаковки готовой продукции).

Однако сейчас появляются фирмы, которые концентрируют свои усилия исключительно в области техники и технологии ДПКт. Такая специализация давно показала свою эффективность в производстве и поставках оборудования для выпуска древесных плит, целлюлозы и бумаги, тем более что деревообработчики уже привыкли получать технологию и систему основных и вспомогательных машин от одного поставщика.

Нельзя сказать, что производственные системы, применяемые сейчас в экструзии ДПКт, устоялись или приближаются к единообразию. Напротив, имеется много вариантов реализации этой технологии. Но с некоторой долей условности их все-таки можно свести к двум основным методам – к двухстадийной (рис. 1.10) и одностадийной экструзии.

Гранулы могут содержать до 80% наполнителя (а иногда и более) и производятся на основе матриц полиэтилена, полипропилена, ПВХ, полистирола и других термопластичных полимеров. Помимо наполнителя и полимерной матрицы в них могут быть включены разнообразные технологические и функциональные добавки (пигменты, стабилизаторы, бактерициды, антипирены и т. д.). Гранулы можно транспортировать на большие расстояния и хранить неограниченное количество времени.

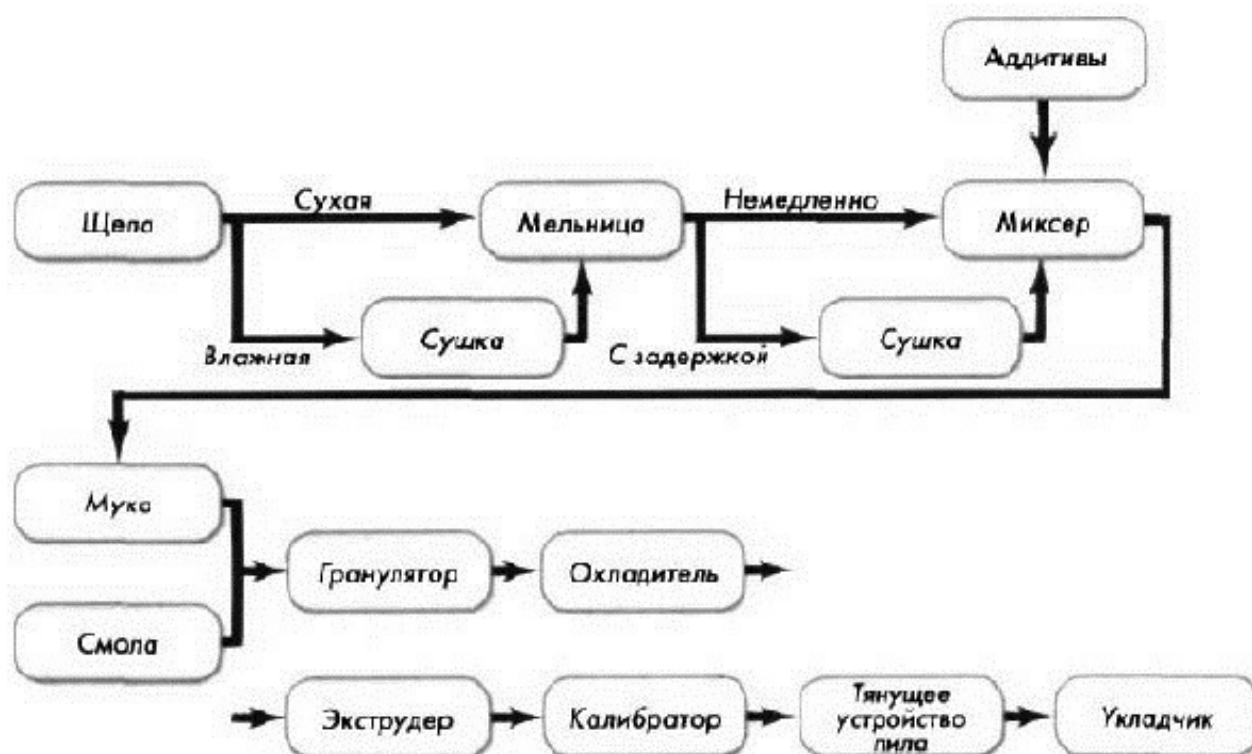


Рисунок 1.10 - Блок-схема двухстадийного процесса экструзии ДПКт

Процесс приготовления термопластичного компаунда из ДПКт может осуществляться несколькими различными методами. Наиболее простой из них – применение несложных термомеханических миксеров, например лопастного типа. В этом случае наполнитель, полимерная матрица и аддитивы загружаются в емкость миксера и тщательно перемешиваются быстро вращающимися лопастями мешалки. Смесь компонентов разогревается за счет электрического подогрева элементов миксера и вследствие наружного и внутреннего трения в компаунде.

Помимо лопастных мешалок могут использоваться и более сложные механизмы компаундирования. В частности, это одношнековые, двухшнековые и дисковые экструдеры, скоростные мельницы и т. д., в которых разогрев рабочей смеси осуществляется за счет интенсивного перемешивания и внешних нагревателей при скорости вращения до 3 тыс. об./мин.

Наиболее популярными компаундирующими машинами для ДПКт в настоящее время являются цилиндрические и конические двухшнековые экструдеры. Они позволяют осуществлять глубокое и быстрое, но деликатное компаундирование древесно-полимерной смеси с постоянным контролем температуры и давления. Такое компаундирование способствует уменьшению количества разрывов длинных цепочек молекул полимеров, к которым последние склонны при повышенных температурах и напряжениях (т. е. механической, химической и тепловой деструкции).

Также из наиболее простых и надежных можно считать схему, по которой аддитивы сначала смешиваются с древесной мукой, а затем приготовленная мука загружается в цилиндр экструдера одновременно с термопластом.

Различными компаниями создано уже довольно много специальных двухшнековых экструдеров для компаундирования ДПКт с производительностью до 1 тыс. кг/ч, а иногда и более. Готовые гранулы направляются в экструдер, в котором расплавляются и выдавливаются через фильеру уже в форме изделия (листа или профиля). После выхода из фильеры полученные изделия калибруются, остужаются, режутся на отрезки необходимых размеров и укладываются в пакеты.

На второй стадии могут применяться как одношнековые, так и двухшнековые машины для экструзии ДПКт.

Экструдер для ДПКт выполняется на жесткой станине и имеет управляемый по частоте вращения двигатель главного привода, надежный прочный редуктор, длинный износостойкий материальный цилиндр ($L/D = 25-40$) и большое количество (до 15–20) управляемых электрических нагревателей, располагаемых вдоль цилиндра. Шнек экструдера, сделанный из специальной износостойкой инструментальной стали, имеет специальную геометрию, приспособленную к переработке высоконаполненных ДПКт.

По двухстадийной схеме итальянская фирма «Комес» одной из первых освоила в начале 80-х годов прошлого столетия производство дре-

веснонаполненного полипропиленового листа, получившего фирменное название «Поливуд», на оборудовании фирмы «Bausano» (Италия)[12]. Древесный наполнитель готовят подсушкой до влажности не более 15% и измельчением или рассеванием отходов древесины.

Полученный древесный наполнитель подают в двухчервячный экструдер, имеющий устройство для дегазации. В экструдере древесный наполнитель нагревают до 80 °С, и в зоне дегазации из него под вакуумом отводится влага (до 6%). Затем подогретый древесный наполнитель смешивают с расплавом полипропилена (температура 200–220 °С), подаваемого из двухчервячного экструдера, имеющего дегазационное устройство.

Полученную композицию еще раз подвергают дегазации. После этого древесно-полимерную композицию экструдируют через плоскощелевую головку, из которой плотно заданной толщины поступает в трехвалковый каландр, затем – на охлаждающий стол с ножами для продольной обрезки кромок полотна по ширине. Поперечную резку на листы заданной длины выполняют гильотинными ножницами.

Наиболее существенными преимуществами этой технологии являются:

- ликвидация операций предварительного смешивания, пластикации и гомогенизации компонентов ДПКт;
- очень малое время (1–2 мин) пребывания древесного наполнителя при высокой температуре (200–220 °С), что сохраняет прочность древесного наполнителя и повышает прочность композита.

Достоинством классической технологии также являются высокая гибкость в организации производства и возможность применения более простого и дешевого оборудования. Полученные древесно-полимерные гранулы можно использовать не только для экструзии, но и для литья, прессования и других методов термоформования изделий.

Двухстадийный процесс может быть организован как на одном, так и на нескольких предприятиях (первое производит гранулы, остальные – готовую продукцию).

К недостаткам двухстадийного процесса следует отнести необходимость двойного разогрева материала и несколько большую потребность в производственных площадях.

Хотя двухшнековый экструдер является достаточно универсальной машиной, но на его основе создаются экструзионные линии, уже специально приспособленные к производству тех или иных продуктов.

Стандартизация оборудования естественным образом приводит к снижению производственных издержек, повышению качества и надежности машин.

Технологические процессы прессования изделий из ДПКТ.

Прессование с нагревом в форме. Технологический процесс производства изделий из готовых (гранулированных) термопластичных древесно-полимерных композиций методом прямого прессования в форме состоит из следующих операций:

- транспортирование и прием сырья в мешках с предприятий-изготовителей ДПКТ;
- хранение сырья; его растаривание и входной контроль (определение влажности);
- сушка и предварительный подогрев в термошкафах;
- дозирование (весовое и объемное);
- загрузка навески в форму;
- формование изделия с нагревом в пресс-форме;
- охлаждение под давлением;
- распрессовка;
- механическая обработка;
- контроль качества; упаковка и складирование;
- дробление отходов и возврат на переработку.

Для сокращения энергозатрат при прямом прессовании с нагревом материала в пресс-форме применяют следующие технологические приемы:

- 1) использование двух прессов: съемную пресс-форму с изделием нагревают между плитами одного пресса, а охлаждают в другом прессе;
- 2) использование одного пресса (с применением комбинированных плит, содержащих системы жидкостного нагрева и охлаждения).

Одной из первых технологий, примененных в формовании листовых и плитных изделий из ДПКт, была технология прессования листов из полипропилена и древесной стружки (близкая к технологии прессования древесностружечных плит), разработанная фирмой «Бизон» (ФРГ) [12].

Прессование с предварительным нагревом заготовок. Метод включает следующие технологические операции: вырезку заготовок, их нагрев, укладку в пресс-форму, выдержку в замкнутой пресс-форме под давлением, охлаждение и извлечение изделия. Как указывается в [17], фактически изготовление изделий по данной технологии является двухстадийным процессом. На первой стадии – это получение заготовок либо на специализированном предприятии, что гарантирует высокую производительность процесса и стабильное качество исходного материала, либо организация производства листовых заготовок непосредственно перед прессованием изделий.

Заготовки необходимо вырезать по форме изделия для уменьшения перемещения и нарушения структуры материала при прессовании. Для формирования конструктивных элементов на отдельных участках изделия (утолщений, ребер жесткости и т.п.) также вырезают заготовки подходящих размеров. Суммарная масса заготовок должна быть на 1–2 % больше массы изделия (запас на облой).

Перед укладкой в пресс-форму заготовки нагревают до температуры выше температуры плавления полимерной матрицы (но не выше 180 °C).

В данном случае контактный нагрев более эффективен с применением стационарных плит нагрева. Для предотвращения прилипания материала к поверхности нагревателя заготовки покрывают термостойким антиадгезионным слоем, например, фторопластовым.

Заготовки укладывают в пресс-форму (температура формующей поверхности формы 40...80 °С) за короткое время (до 15 с) аккуратно, чтобы избежать складок и стыков потока материала при заполнении формы. В зависимости от соотношения массы изделия к массе одной листовой заготовки (от соотношения толщин изделия и листовой заготовки) в средней части формы укладывают 2–4 заготовки друг на друга.

После укладки заготовок пресс-форму быстро смыкают до касания пуансоном пакета заготовок (холостой ход верхней плиты пресса). Затем уменьшают скорость смыкания и деформируют заготовки (рабочий ход) до полного смыкания формы. При быстром деформировании возможны нарушения структуры материала (местные разрывы полотна). После смыкания формы изделие охлаждают под давлением до температуры, при которой возможно его извлечение без повреждений.

Одной из первых технологических схем с предварительным нагревом листовых заготовок была следующая схема [12].

Заготовку нагревают в камере до пластично-вязкого состояния, на прессе формуют холодным пуансоном детали. После чего в них вырубным штампом просекают отверстия, удаляются кромки на прессе, и детали приобретают окончательные размеры. Данная схема производительна: время, затраченное на изготовление одной детали, около 20 с. Экономическая эффективность изготовления повышается при штамповке неостывшего после прессования или экструзии листа.

Без предварительного нагрева листовых заготовок (метод «холодного» формования). Согласно методу «холодного» формования, или методу формования в твердом состоянии [12, 17], листовая заготовка из ДПКт, нагретая до температуры на 20–25 °С ниже температуры плавления

полимерной матрицы, подвергается в течение 20–80 с пластической деформации при давлении 90–300 МПа. При «холодном» формовании отсутствует стадия охлаждения изделия под давлением и значительно сокращается стадия нагрева листовой заготовки. Кроме того, благодаря существенным различиям в характере полей напряжения не возникает разнотолщинность стенки изделия.

Следует отметить, что при формовании изделий из листовых заготовок можно осуществлять декорирование изделий, т.е. облицовывать поверхность пленками, тканью, ворсом, искусственной кожей и т.п. материалами. При правильном выборе облицовывающего материала и адгезива, соединяющего ДПКМт с материалом облицовки, формование изделия и облицовывание можно выполнять за одну операцию.

Прессование с предварительной пластикацией в червячном экструдере. Метод включает пластикацию термопластичных композиций в червячном экструдере, накопление дозы, формирование заготовки и прессование из нее изделия [17]. После дозирования компонентов ДПКт композицию пластицируют в экструдере. Пластикацию предпочтительно производить в двухчервячном экструдере. Заготовку необходимой длины, соответствующую навеске для прессования изделия (объемное дозирование), отрезают гильотинными ножницами от непрерывно экструдированной полосы. Далее заготовку от экструдера-пластикатора перемещают к прессу с помощью роликового или проволочных ленточных транспортеров. Чтобы исключить прилипание заготовки, ролики или проволоку покрывают антиадгезионными составами. Для поддержания температуры заготовки, близкой к температуре прессования, на участке перемещения от экструдера к прессу транспортер размещают внутри термоизолированного или нагреваемого канала. В пресс-форму заготовки подают и укладывают вручную или с помощью роботов-манипуляторов в зависимости от массы заготовки. В пресс-форме осуществляются формообразование и охлаждение изделия под давлением.

Для прессования используют как стандартные, так и специальные прессы с регулируемой скоростью смыкания: не менее 500 м/с при холостом ходе до касания заготовки и после раскрытия формы и 5–30 мм/с в процессе деформирования заготовки и на начальной стадии размыкания пресс-формы.

Основные параметры процесса: масса и размеры заготовки, температура заготовки и пресс-формы, усилие прессования и скорость деформирования заготовки, продолжительность выдержки под давлением (охлаждение в форме).

При такой технологии снижаются уровень термодеструкции материала (исключается один цикл нагрева выше температуры плавления) и энергозатраты при изготовлении изделий, отпадает необходимость в получении полуфабриката, сокращаются транспортные затраты, повышается гибкость производства [17]. К достоинствам метода относится простота перехода на композиции другого состава, здесь практически отсутствуют отходы, а те, что образуются, могут быть повторно переработаны в изделия.

Изделия, получаемые по данному методу, могут иметь достаточно сложную конфигурацию, двойную кривизну поверхности, значительные утолщения.

Особенности технологии литья под давлением высоконаполненных термопластов.

Структура материала, формирующегося при литье под давлением из термопластичных композиций, наполненных волокнистыми наполнителями, в том числе и растительного происхождения, существенно зависит от условий течения расплава [15, с. 372]. Наличие компонентов с различными упругими и теплофизическими свойствами и неоднородная структура материала в изделиях, формирующаяся в процессе литья, приводят к возникновению остаточных напряжений. В результате появляются дефекты формы изделий (коробление, утяжины), дефекты поверхности (усадочные раковины, микротрещины).

Не оценивая влияние технологических параметров процесса формования и конструкции формирующей оснастки на свойства материала в изделии, рассмотрим влияние направления впрыска расплава. При заполнении формы в литниковых каналах и в самой форме развиваются высокие сдвиговые напряжения, которые приводят к ориентации волокна и к его разрушению.

Размеры литников и впусков при литье высоконаполненных композиций должны отвечать определенным требованиям [21]:

- обеспечивать хорошую передачу давления в форму: перепады давления в литниках и впусках не должны быть большими;
- способствовать сокращению цикла литья;
- не приводить к перерасходу материала.

При литье волокнистонаполненных термопластов рекомендуется применять литники трапециевидной формы в сечении. Высота сечения трапециевидного литника должна составлять не менее $\pi/4 = 0,785$ от наибольшей ширины литника: $h \geq 0,785H$. Толщина литника не должна быть меньше наибольшей толщины стенки изделия. В случае малых размеров впусков в них развиваются высокие сдвиговые напряжения, которые могут вызвать деструкцию материала при впрыске, и как следствие, охрупчивание изделия.

1.6 Выводы и задачи исследований

Исходя из приведенного обзора научно-технической и патентной литературы и анализа результатов, экспериментальных и теоретических исследований, проведенных многими авторами, можно сделать следующие выводы:

1. При анализе существующих подшипников скольжения установлено, что на многих машинах, работающих в условиях абразивной и коррозионной среды, целесообразно применять самосмазывающие подшипники скольжения на основе полимерных композиционных материалов.

2. Известные древесно-композиционные материалы, применяемые в подшипниках скольжения, имеют недостаточную теплопроводность и термостойкость, а также ограничения в их использовании вследствие пониженных упруго-прочностных характеристик.

3. Известные технологии и способы изготовления подшипников скольжения в ряде случаев трудоемки и сложны в изготовлении, либо имеют определенный предел в своем использовании.

Задачи исследования:

1. На основании анализа характеристик подшипников скольжения выделить группу свойств определяющих их качество;

2. Разработать материал и конструкцию подшипника скольжения, обладающего достаточной для рассматриваемых узлов трения работоспособностью в условиях повышенных нагрузок, скоростей скольжения и абразивной среды;

3. Разработать методику и выполнить экспериментальные исследования температуры и износостойкости подшипника скольжения, в котором применяется вкладыш из древесно-металлической композиции, работающего в условиях самосмазывания;

4. Провести анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполнить расчет экономического эффекта от внедрения результатов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общие вопросы трения в машинах

В правильно спроектированном и точно изготовленном и собранном подшипнике скольжения смазка служит промежуточной средой, разделяющей трущиеся поверхности пары вал — подшипник при ее нормальном режиме работы. Она должна уменьшать отрицательное влияние непосредственного взаимодействия элементов этой пары при отклонении режима работы машины от нормального. Поэтому в правильно спроектированном, точно изготовленном и собранном подшипнике всегда будет обеспечена его длительная работоспособность, поскольку изнашивание неизбежно только при пуске и остановке. Потеря элементами подшипниковой пары скольжения их первоначальных рабочих размеров вследствие изнашивания трущихся поверхностей при пуске и остановке и перегрузочных режимах происходит в течение небольшого промежутка времени по сравнению с общим временем работы узла. Это выгодно отличает опоры скольжения от опор качения, выход из строя которых вследствие контактных усталостных явлений и износа контактирующих поверхностей происходит за меньший промежуток времени в результате постоянного взаимодействия элементов трущейся пары.

При внешнем трении все процессы локализованы в весьма тонких поверхностных слоях соприкасающихся тел, в которых происходит и изменение конфигурации трущихся тел. Помимо того внешнее трение в большинстве случаев сопровождается процессами изнашивания и изменения формы контактирующих поверхностей.

Внутреннее же трение проявляется при изменении конфигурации отдельных сколь угодно малых частей рассматриваемого тела и протекает в значительных объемах, а зачастую и во всем объеме, занимаемым телом.

Частным случаем трения скольжения является так называемое трение верчения, под которым понимается трение скольжения в случае, когда относительное движение тел есть вращение вокруг оси, совпадающей с общей нормалью к поверхностям контакта, при номинальной площади контакта по крайней мере на порядок меньшей характерного размера меньшего из контактирующих тел.

Если касательная составляющая активных сил, стремящихся к вызвать относительное перемещение тел, входящих в пару трения, меньше некоторого ее предельного значения, уравнивается касательной составляющей полной реакции таким образом, что соприкасающиеся тела находятся в покое, то такое состояние тел называется трением покоя. Весьма малые, не свыше нескольких микрон, лишь частично обратимые смещения в поверхностных слоях, обладающих упругими и пластическими свойствами соприкасающихся тел, при трении покоя в области контакта будут иметь величину, пропорциональную I касательной — составляющей активных сил. Смещения при трении покоя называются предварительными смещениями. Таким образом, при трении покоя между соприкасающимися телами образуются напряженные, лишь частично обратимые связи, которые могут сохраняться неопределенное время. Когда возрастающая от нуля касательная — составляющая активной силы, достигнет некоторого значения, которому будет соответствовать максимальная величина предварительного смещения, возрастающая от нуля касательная — составляющая полной реакции, также достигнет максимального значения. Предельная величина этой реакции называется полной силой трения покоя или просто силой трения покоя. Предварительным смещениям, меньшим максимальных, будет соответствовать сила трения, называемая неполной силой трения покоя. Трение покоя называют еще статическим трением I в отличие от кинетического трения или трения движения.

Трение движения имеет место при больших полностью необратимых перемещениях, величина которых не зависит уже от касательной —

составляющей активных сил, а тела, образующие пару трения, обладают некоторой относительной скоростью. Касательная — составляющая полной реакции, соответствующая трению движения, называется силой трения движения.

Нарушение работоспособности подшипника скольжения происходит по наступлении предельного износа S_{np} : [20]

$$S_{np} = S_{min} + (I_v + I_{подш}), \quad (2.1)$$

где S_{min} , - исходный зазор в подшипнике, мм;

I_v и $I_{подш}$ — предельный износ вала и вкладыша подшипника, мм.

Величины I_v и $I_{подш}$ на режиме установившегося трения определяются по формуле:

$$I = i \cdot v \cdot T, \quad (1.2)$$

где i - интенсивность изнашивания,

v - скорость скольжения,

T - продолжительность работы.

2.2. Определение температурного режима работы древесно-металлических подшипников

Для повышения долговечности прессованного древесного материала вкладыша предлагается разместить в нем теплопроводящие элементы, как на поверхности вкладыша, так и на удалении от неё. Теплопроводящие элементы могут быть изготовлены из материалов, обладающих повышенной теплопроводностью, например, бронзы. Полученный в результате такой комбинации материал сочетает теплопроводные свойства металлических составляющих и диссипативные характеристики древесины.

Конструкция предлагаемого подшипника скольжения приведена на и представляет собой обойму из металла, в которую впрессованы вкладыши, из прессованных древесных брусков с радиальным расположением волокон и

расположенных между ними металлических вставок 3 из антифрикционной бронзы, имеющих форму цилиндра.

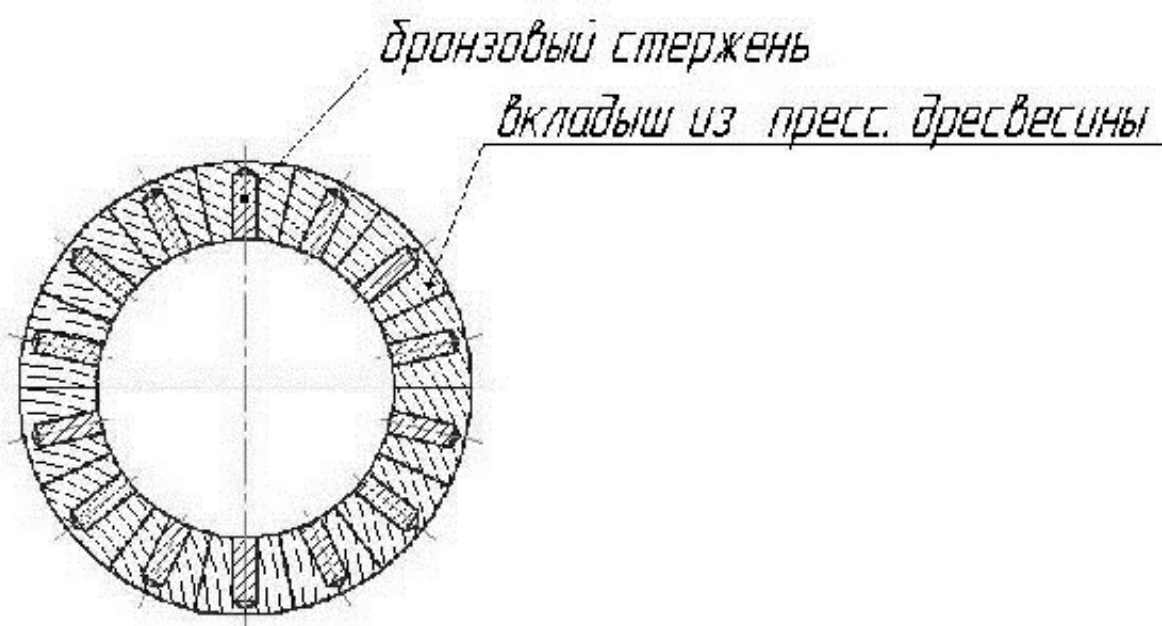


Рисунок 2.1 - Сечение подшипника

Наличие металлических вставок позволяет повысить теплопроводность вкладыша и увеличить грузоподъемность и допускаемую скорость скольжения.

Так как одной из основных причин выхода древесных подшипников скольжения из строя является термическая деструкция материала то повысить работоспособность такого узла трения можно путем увеличения отвода тепла с поверхности трения и прежде всего за счет увеличения теплопроводности материала.

При передаче тепла через подшипник из прессованной древесины большое влияние оказывает толщина вкладыша и направление волокон. Количество тепла, передаваемое через вкладыш, обратно пропорционально его толщине. Однако минимальная толщина вкладыша, обеспечивающая отвод тепла, не должна быть меньше толщины, обеспечивающей устойчивость втулки.

Теплопроводность прессованной древесины по сравнению с бронзой меньше поперек волокон в 150-200 раз и вдоль волокон в 80...85 раз.

Для теоретической оценки влияния металлических элементов на температурный режим работы подшипника скольжения рассматривалось решение задачи определения температуры вкладыша в зависимости от условий эксплуатации.

Для оценки температуры, возникающей в зоне контакта подшипника и цапфы вала использовалась известная методика, согласно которой, выделяемая в установившемся процессе трения тепловая энергия и энергия, поглощаемая вкладышем равны и определяются по следующим зависимостям

Для определения величины максимальной температуры в древеснометаллическом вкладыше использовалась упрощенная методика ее расчета [20], в соответствии с которой в режиме установившегося режима трения выделяемая тепловая энергия W_n равна поглощаемой W_e , т.е. $W_n = W_e$

$$W_i = f \cdot P \cdot v, \quad (2.1)$$

$$W_a = k(t_i - t_a)F, \quad (2.2)$$

где W_n - тепловыделение в подшипнике, Дж/с;

W_e - количество тепла, передаваемое подшипником во внешнюю среду, Дж/с;

f - коэффициент трения;

P - нагрузка, Н;

v - скорость скольжения, м/с;

k - коэффициент теплопередачи, Дж/м²·с·°С;

F - площадь поверхности корпуса подшипника, м²;

t_n - температура рабочей зоны подшипника, °С;

t_e - температура окружающей среды, °С.

Температура рабочей поверхности вкладыша может быть рассчитана по следующей зависимости

$$t_i = \frac{W_n}{k \cdot F} + t_a, \quad (2.3)$$

Для оценки температуры в подшипнике с древесно-металлическим вкладышем использовалась зависимость для определения коэффициента теплопередачи с учетом теплопроводящих свойств составляющих элементов и особенностей конструкции.

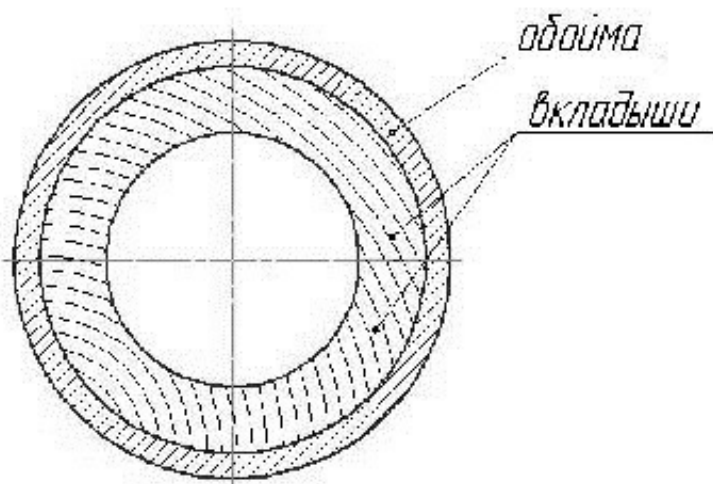


Рисунок 2.2 - Двухслойная модель подшипника скольжения с древесно-металлическим вкладышем

Физико-механические свойства каждого слоя в этом случае вычисляются по аналогии с композиционными материалами [30]. Теплопроводность древесно-металлического материала вкладыша определяется по следующей зависимости:

$$\lambda = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 n_2, \quad (2.4)$$

где n_1 и n_2 - объемные доли компонентов;

λ_1 и λ_2 теплопроводности каждого материала.

В рассматриваемом случае коэффициент теплопередачи рассчитывается по зависимости для случая многослойного цилиндра:

$$\frac{1}{k} = D \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_a}, \quad (2.5)$$

где D – наружный диаметр цилиндрической части корпуса, м;

d_i и d_{i+1} – диаметры слоя подшипника (внешний и внутренний), м;

α_a – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности подшипника во внешнюю среду, Дж/м²·с·°С.

Исследовавшиеся в работе [30] вставки в форме тавра оказались не вполне технологичными, поэтому обосновывалась возможность в качестве основного варианта использовать цилиндрические, конические и клиновидные металлические элементы

Высота металлической вставки в этом случае может быть принята равной 0,8-1,0 толщины вкладыша, т.е.:

$$h = (0,8 \dots 1,0) \frac{d_2 - d_1}{2}. \quad (2.6)$$

где d_1 и d_2 – внутренний и внешний диаметры вкладыша.

Поскольку важным для создания требуемых физико-механических характеристик древесно-металлических материалов является соотношение древесной и металлической составляющей, проводились расчеты объемных и геометрических параметров древесной основы и металлической составляющей вкладышей.

Объем вкладыша составляет:

$$V_{\text{вк}} = \frac{\pi \cdot b}{4} (d_2^2 - d_1^2), \quad (2.7)$$

где b – ширина вкладыша.

Объем металлических составляющих может быть рассчитан по формуле:

$$V_{\text{мет}} = V_{\text{вк}} \cdot n, \quad (2.8)$$

где $V_{\text{вк}}$ – объем одной вставки,

n – количество вставок.

Так как металлическая вставка принимается в форме цилиндра, то объем металлических составляющих равен:

$$V_{i\text{дв}} = \frac{\pi d_{\text{дв}}^2 \cdot h \cdot n}{4}, \quad (2.9)$$

Объем древесной составляющей рассчитывался как:

$$V_{\text{дв}} = V_{\text{двв}} - V_{i\text{дв}} = \frac{\pi \cdot b}{4} (d_2^2 - d_1^2) - \frac{\pi d_{\text{дв}}^2 \cdot h \cdot n}{4}, \quad (2.10)$$

Коэффициент соотношения металлической и древесной составляющих определяется как:

$$K = \frac{\pi d_{\text{дв}}^2 \cdot h \cdot n}{4} / \frac{\pi \cdot b}{4} (d_2^2 - d_1^2) - \frac{\pi d_{\text{дв}}^2 \cdot h \cdot n}{4}, \quad (2.11)$$

После преобразования уравнения, получаем

$$K = \frac{d_{\text{дв}}^2 \cdot n}{4 \cdot b (d_2 + d_1) - d_{\text{дв}}^2 \cdot n}, \quad (2.12)$$

Используя полученную зависимость, можно, задаваясь геометрическими характеристиками подшипника и, требуемым соотношением древесной и металлической фазы, рассчитать необходимое количество металлических вставок и их размеры.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включает:

1. изготовление прессованной древесины;
2. изготовление древесно-металлического подшипника
2. определение изменения температуры образцов;
3. определение износостойкости образцов.

3.2 Методика изготовления образцов

Образцы изготавливали из сосны березы и клена.

Исследуемые образцы представляли собой элементы вкладыша подшипника скольжения и изготавливались следующим образом. Вначале брусковые заготовки из древесины влажностью 70..80% помещались в горячую пропиточную ванну, где осуществлялась их проварка в 30% растворе карбамида при температуре 90...100 °С в течение 2 часов. Затем они переносились в холодную ванну, содержащую 25% раствор карбамида. Пропитка в холодной ванне длилась 20...22 часов при температуре 16...18 °С.

Затем пропитанные карбамидом древесные бруски прессовались до степени прессования 50...60%.

Прессование древесных заготовок осуществлялось с помощью винтового пресса.

После этого пресс-форма помещалась в сушильную камеру, где при температуре 120...125°С выдерживалась в течение 4...5 часов. Влажность образцов после сушки составляла 1 ...2%. Затем форма разбиралась, и из нее извлекались отдельные элементы вкладыша, которые склеивались эпоксидным клеем, после чего осуществлялась механическая обработка внутреннего и наружного радиусов.

Заключительной стадией изготовления образцов являлась их пропитка в индустриальном масле в течение 80 часов при температуре 60°C.

Металлические элементы предложенного антифрикционного древесно-металлического вкладыша изготавливались из бронзы марки Бр05Ц5С5.

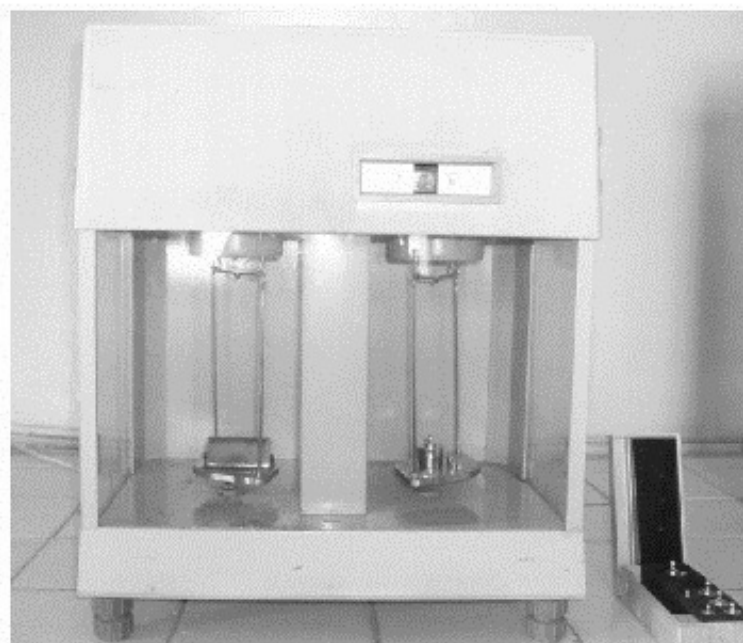


Рисунок 3.1 - Вес образцов определяли на весах модели ВЛР-200 г

3.3. Методика проведения трибологических испытаний образцов

Тестовые испытания на износ полученных покрытий проводили на машинах трения:

- с вращательным движением по схеме «диск-колодка» (стандартная машина трения СМЦ-2 (рис. 3.6)
- с вращательным движением по схеме «диск-колодка» (самодельная машина (рис 3.5).

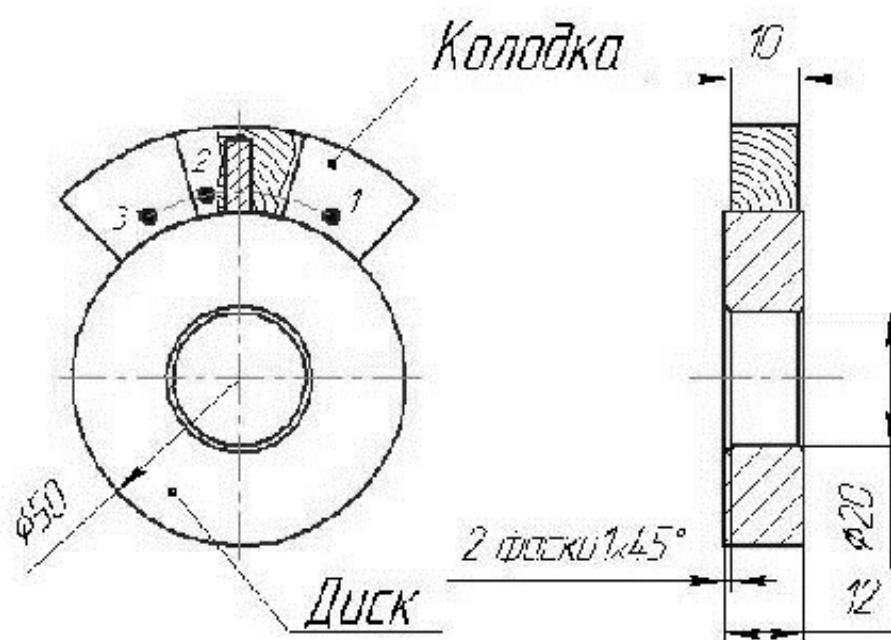


Рисунок 3.2 -Схема контактирования образцов при испытаниях на износ

Для измерения температуры в поверхностном слое применялись три мультиметра и три термопары ХК (рис. 3.3) с диапазоном измеряемых температур —50...+204 °С.

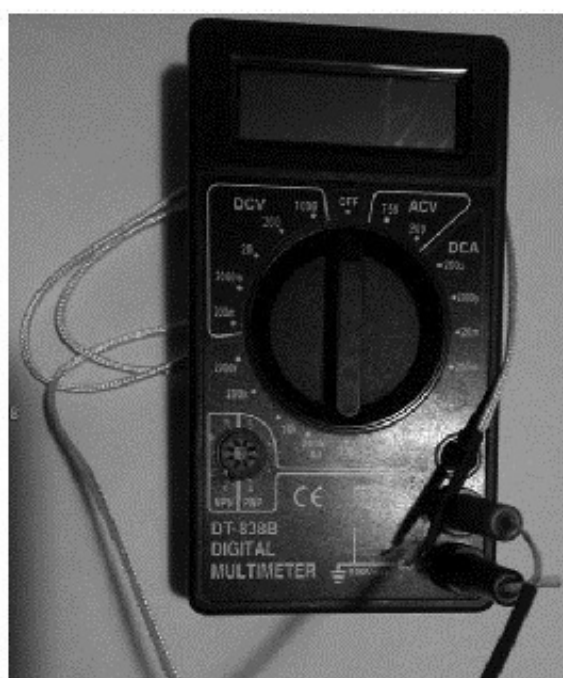


Рисунок 3.3 - Мультиметр с термопарой

Схема размещения термопар в образце представлена на рисунке 3.4.

Отверстия для термопары

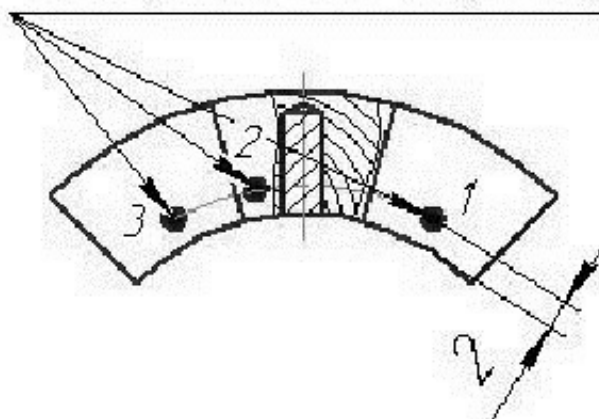


Рисунок 3.4 - Схема размещения термопар в образце

Такая схема размещения термопар позволяет, определить температуру материала на удалении 2мм от поверхности вблизи металлической вставки, на удалении от нее, а также оценить среднюю температуру, элемента вкладыша.

В качестве испытательного оборудования при проведении предварительных исследований изнашивания при приложении постоянных нагрузок была принята существующая самодельная машина трения.



Рисунок 3.5 -Машина трения

Испытания при возвратно-поступательном движении образца считаются «мягкими», потому что применяются невысокие нагрузки и небольшие скорости перемещения образца. Для определения износостойкости покрытий в расширенном диапазоне нагрузок были проведены испытания при более «жестких» режимах. Испытания на износостойкость образцов сплава Д1 с покрытием и без покрытия проводились на стандартной машине трения СМЦ-2 в ФГБОУ ВО КНИТУ им. Туполева.

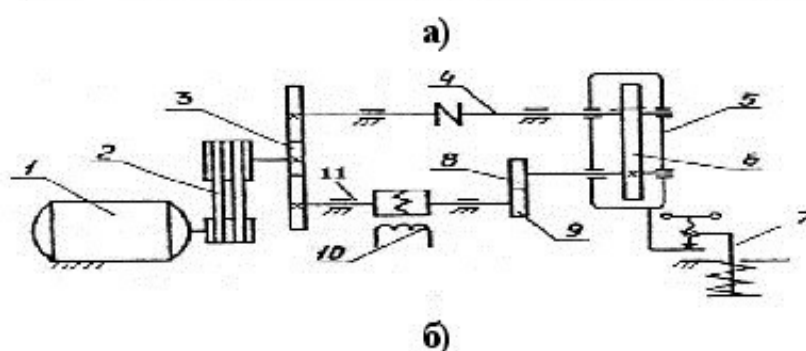
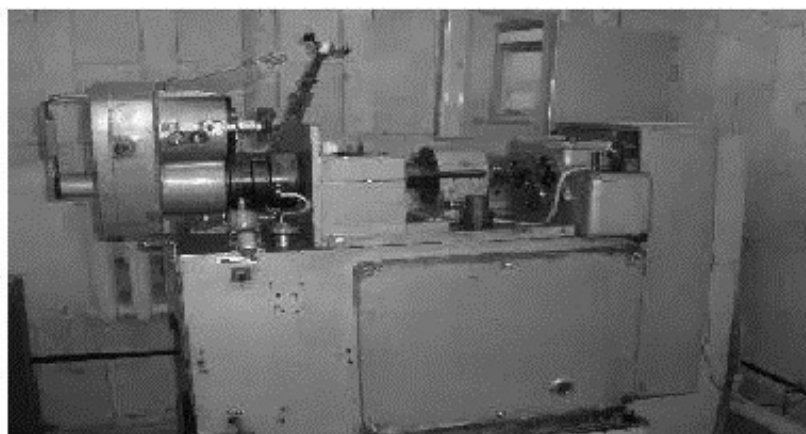
Машина СМЦ-2 (рис.3.6) служит для испытаний материалов на износ, а также для определения их фрикционных свойств в условиях трения скольжения или качения. Испытания могут проводиться при нормальных или повышенных температурах для разных схем нагружения: «диск-диск», «шпатель-штулка», «диск-колодка».

Пара трения «диск-колодка» используется для моделирования работы трибосопряжений сухого и граничного трения и поэтому лучше всего подходит для испытаний покрытий, полученных с помощью электроискрового легирования на алюминиевых сплавах.

Техническая характеристика машины трения СМЦ-2.

Потребляемая мощность, КВт	- 2,2
Частота вращения вала контртела, об/мин	- 300,500,1000
Максимальный момент трения, Нм	-15
Диапазон изменения момента трения, Нм	-1,5 ÷ 15
Диапазон изменений нагрузки, Н	-200 ÷ 2000

Испытания образцов из сплава Д1 с покрытиями из алюминиево-оловянного сплава проводились по схеме: «диск - колодка» (рис. 3.2.). Диск был изготовлен из закаленной из закаленной стали 45 с микротвёрдостью 6500 ± 500 МПа.



1- электродвигатель, 2- клиноременная передача со сменными шкивами, 3- шестерни привода образца и контртела, 4 – промежуточный вал, 5- каретка, 6- сменные шестерни привода образца, 7- нагружающее устройство, 8- образец, 9 – контртело, 10- индукционный датчик момента трения, 11 – торсион.

Рисунок 3.7- Общий вид машины СМЦ-2 (а) и ее кинематическая схема (б).

Для устранения систематических ошибок при проведении сравнительных испытаний покрытий соблюдались следующие положения:

- в пределах одной серии испытаний технология изготовления образцов с помощью электроискрового легирования и технология испытаний на износостойкость были одинаковыми;
- все замеры производились одними и теми же измерительными средствами;

- все эксперименты одной серии проводились на одной установке по одной и той же схеме («диск – колодка») и при одних и тех же параметрах.

Износ замерли весовым способом и микрометром размеров вкладышей.

Измерение размеров вкладышей проводили цифровым микрометром ASIMETO 116-01-0 (рис.3.8) с диапазоном измерения 0-25 мм и ценой деления 0,001 мм. (Погрешность $\pm 0,002$ мм Внесен в Госреестр СИ)

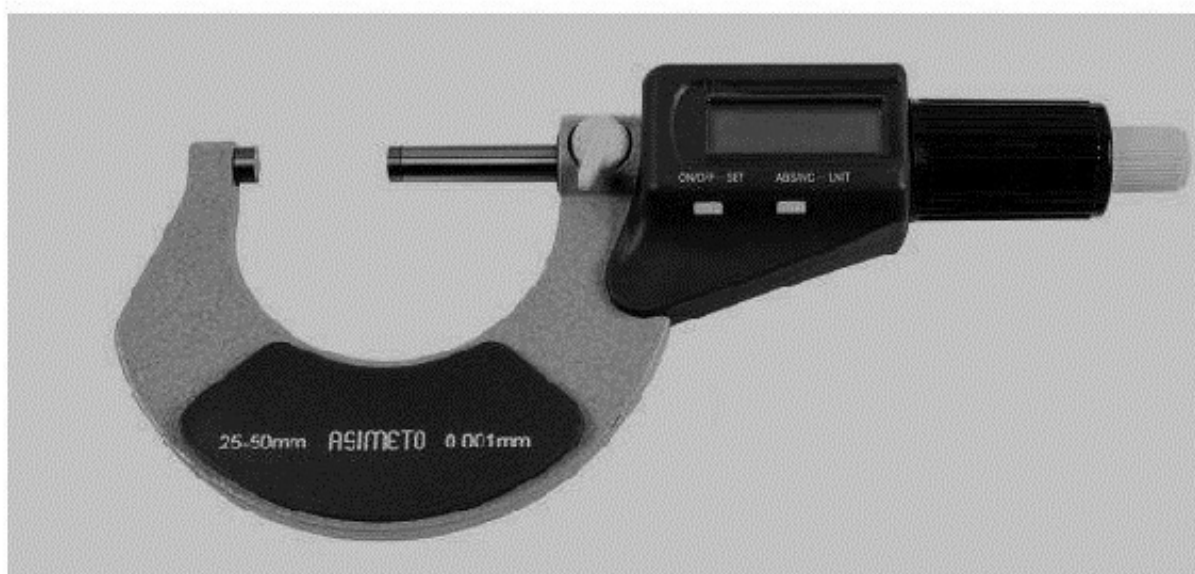


Рисунок 3.8 - Цифровой микрометр ASIMETO 116-01-0

Поверхность скольжения полученного древесно-металлического образца обрабатывалась шлифовальным бруском до получения шероховатости $R_a - 0,32...0,63 \mu\text{м}$.

Для обеспечения условий смазывания в процессе проведения испытаний использовалась схема, при которой перед испытаниями на обе поверхности наносился слой пластичного смазочного материала. Затем смазка в объеме 1 мл подавалась в зону трения периодически с интервалом 15 мин, что позволяло поддерживать режим граничной смазки.

Продолжительность испытаний на износ одного образца составляла 150 мин.

Скорость скольжения контробразца устанавливалась равной 10 м/с.

Нормальная нагрузка при испытаниях принималась равной 50Н.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментов по исследованию температуры поверхностей трения

Продолжительность опытов по исследованию температуры образцов при трении одного образца составляла 60 мин.

Температура

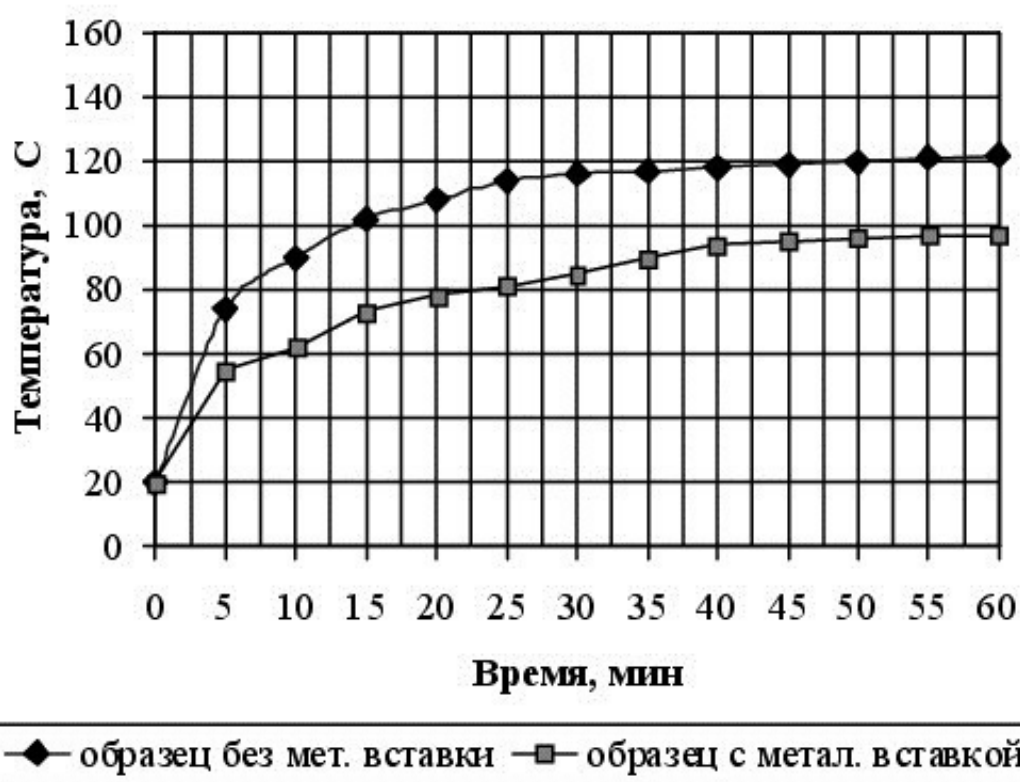


Рисунок 4.1- Зависимость температуры на поверхности образца из клена.

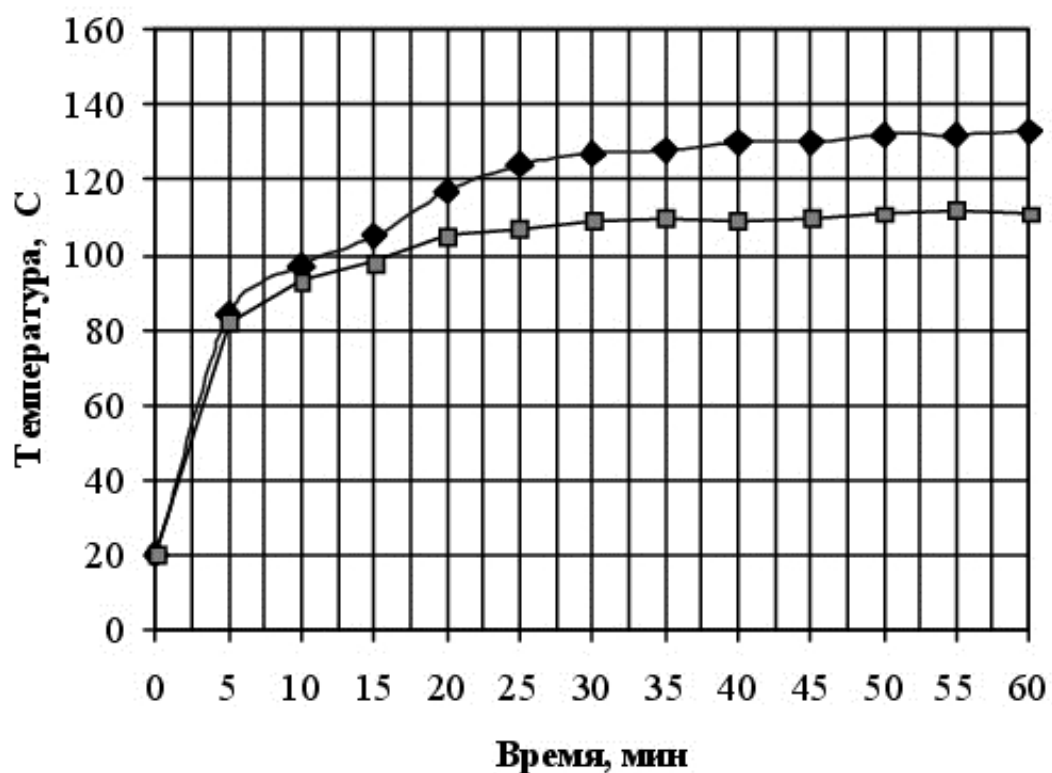


Рисунок 4.2- Зависимость температуры на поверхности образца из сосны.

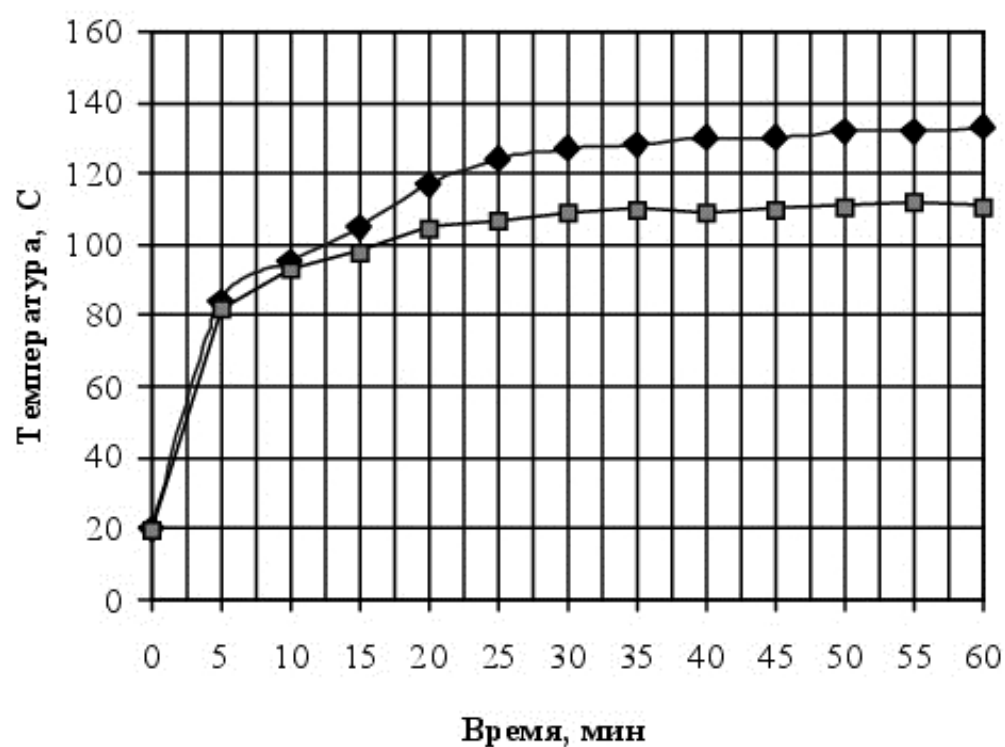


Рисунок 4.3- Зависимость температуры на поверхности образца из березы.

Как видно из графиков применение металлических вставок позволяет снизить температуры поверхности на 20...30% на образцах из сосны, березы и клена. Наименьшую температуру имеет образец из клена

4.2 Результаты экспериментов по исследованию износостойкости

Результаты износных испытаний приведены на рисунках 4.4-4.6.

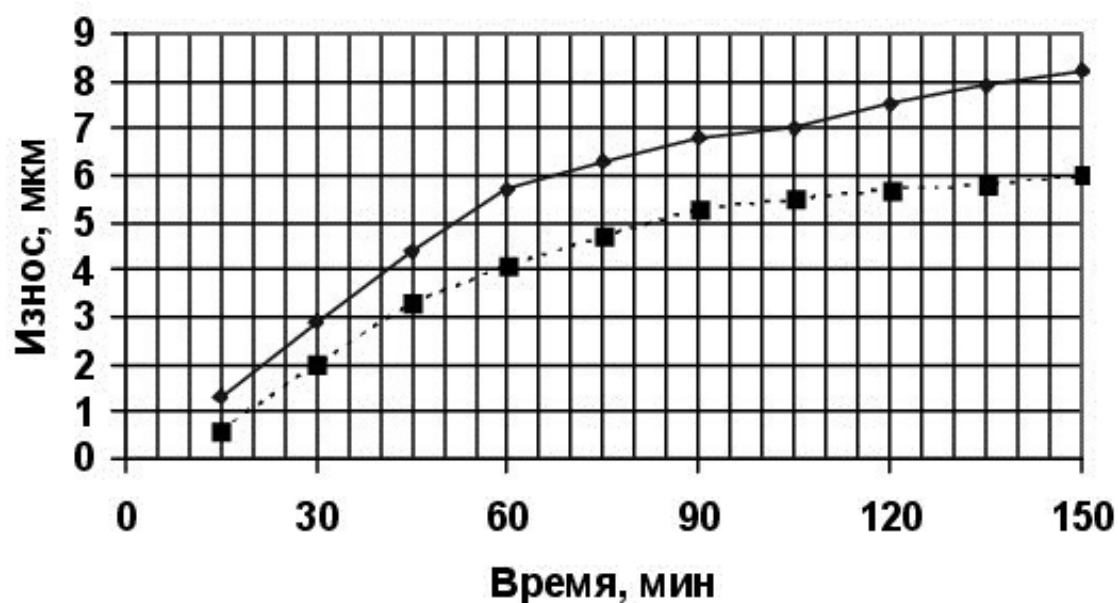


Рисунок 4.4- Зависимость износа поверхности образца из клена.

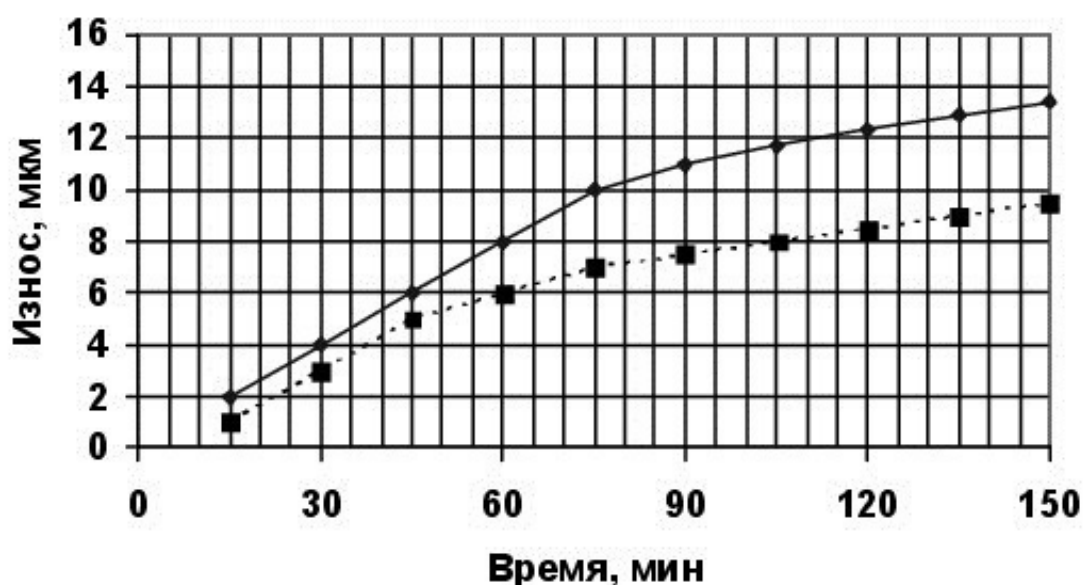


Рисунок 4.5- Зависимость износа поверхности образца из клена.

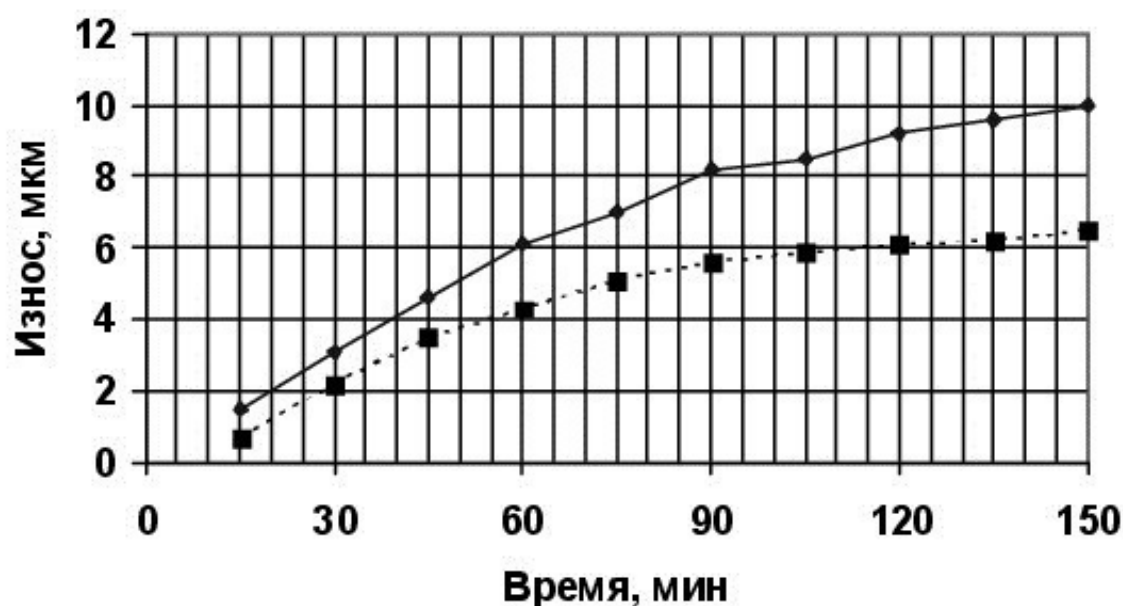


Рисунок 4.6- Зависимость износа поверхности образца из березы.

Как видно из графиков применение металлических вставок позволяет снизить износ поверхности на 20...30% на образцах из сосны, березы и клена.

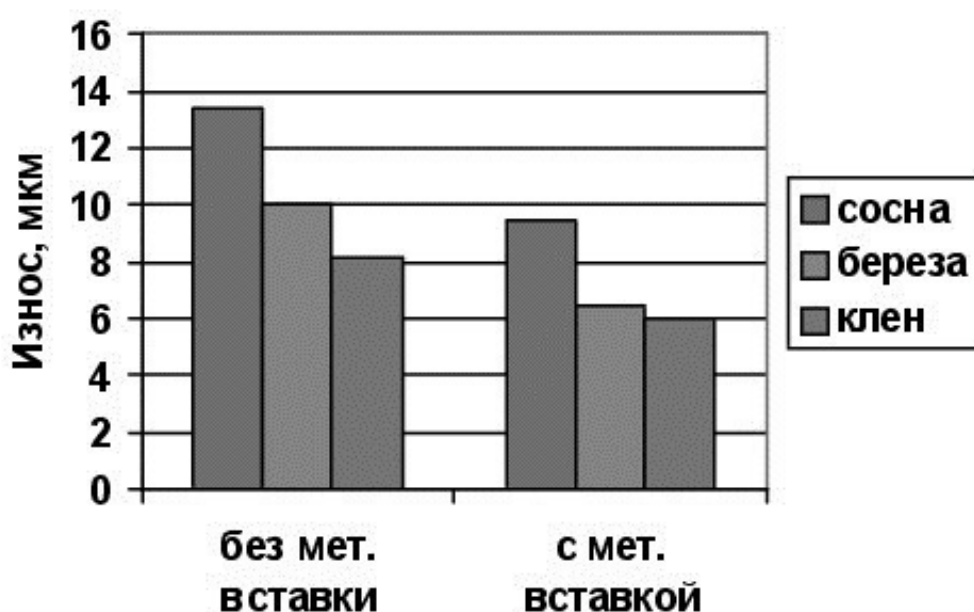


Рисунок 4.7- Зависимость износа поверхности образцов

Как видно из графика 4.7 наименьший износ имеет образец из клена

4.3 Результаты технико-экономической оценки предлагаемого материала древесно-металлического подшипника

Экономическая эффективность от внедрения предлагаемого материала древесно-металлического подшипника установлена согласно выражению:

$$\mathcal{E}_y = \left(\frac{C_n - C_{\text{ост}}^n}{P_n} - \frac{C_y - C_{\text{ост}}^y}{P_y} \right) P_y \cdot N_{\Gamma} \quad (4.1)$$

где C_n, C_y – отпускная цена новой и модернизированной детали соответственно, руб.;

P_n, P_y – ресурс новой и модернизированной детали соответственно, ч;

$C_{\text{ост}}$ – остаточная стоимость новых и модернизированных деталей после предельного износа, руб.;

N_{Γ} – годовой объем модернизированных деталей, шт.

Таблицу 4.1 – Показатели оценки использования разработанной конструкции древесно-металлического подшипника

Наименование показателей	Вариант	
	новая запчасть	предлагаемый
1. Годовой объем модернизированных деталей, шт.	—	1000
2. Цена новой детали, руб.	1800	—
3. Отпускная цена модернизированной детали, руб.	—	1250
4. Ресурс новой детали, ч	500	—
5. Ресурс модернизированной детали, ч	—	650
6. Экономический эффект, руб.	—	1090050
7. Срок окупаемости капитальных вложений, лет	—	0,25

Использование разработанной конструкции древесно-металлического подшипника позволит увеличить ресурс на 20..30% получить годовой экономический эффект 1090050руб. при сроке окупаемости 0,25 года

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В результате анализа литературных данных установлено, что работоспособность подшипников скольжения из прессованной древесины во многих случаях ограничивается ее низкой теплопроводностью.

2. Предложен новый принцип формирования структуры древеснометаллических вкладышей подшипников скольжения, отличающихся размерами, формой и характером размещения металлических элементов в древесной основе, обеспечивающих повышенную теплопроводность и диссипативные свойства.

3. Решена задача рационализации свойств материала, которая позволяет установить долю металлических и древесных составляющих в зависимости от заданных эксплуатационных требований. Рекомендуются металлические вставки в форме цилиндра, разработана методика определения их размеров и характера размещения в древесной основе вкладыша.

4. В результате исследования влияния металлических элементов на характеристики подшипникового узла установлено, что наличие металлической составляющей позволяет не только снижать температуру материала, но и износ на 20...30%.

5. Использование разработанной конструкции древесно-металлического подшипника позволит увеличить ресурс на 20...30% получить годовой экономический эффект 1090050руб. при сроке окупаемости 0,25 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абушенко А. Оборудование для экструзии изделий из ДПКТ /А. Абушенко, И. Воскобойников, В. Кондратюк // Дерево.RU–2008. –№ 5. – С. 102–107.
2. Абушенко А., Воскобойников И. Вечное, жидкое дерево. Дерево.RU – 2008. – № 2. – С. 78–84.
3. Абушенко А. Полимер и дерево: выигрышная комбинация. Пластикс. – 2010. – № 1–2. – С. 46–52.
4. Авдеев, Д.Т. Материалы и конструкции самосмазывающихся подшипников скольжения / Д.Т. Авдеев, Н.В. Бабец, С.С. Мусиенко. - Новочеркасск: - 1993. - 113 с.
5. Амиров, Р.Р. Получение и исследование свойств древесно-наполненных полипропиленов различных марок / Р.Р. Амиров, Л.М. Амирова, О.Н. Беззаметнов, В.В. Горбачук // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. - 2012. - Т. 154. - №3. - С. 90-104.
6. Белый, В. А. Трение и износ материалов на основе полимеров /В.А. Белый, А.И. Свириденко, М.И. Петроковец, В.Г. Савкин. - Минск: Наука и техника, -1976. - 432 с.
7. Вигдорович А.И. Древесные композиционные материалы в машиностроении: справочник / А.И. Вигдорович, Г.В. Сагалаев, А.А. Поздняков. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.
8. Васильев, В.В. Композиционные материалы: Справочник / В.В.Васильев, Б.Д. Протасов. В.В. Болотин, В.М. Термопольский. - М.:Машиностроение.-1990. - 512 с.
9. Галимов, Э.Р. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения / Э.Р. Галимов, Е.П.Круглов, Н.Я. Галимова, М.М.Ганиев, А.Т. Аблясова, А.Г. Схиртладзе, С.Ю.Юрасов, Р.Ф. Шарафутдинов, Е.И. Швеева // Учебное пособие / Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт. - Казань: - 2016. - 265 с.

10. Готлиб, Е.М. Композиционные материалы на основе эпоксиполимеров для изделий машиностроения / Е.М. Готлиб, Э.Р. Галимов, Н.Я. Галимова, Э.Э. Шарафутдинова, М.М. Ганиев, И.Ф. Гумеров, С.Ю. Юрасов, В.И. Астащенко, А.В. Беляев // Учебное пособие / Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт. - Казань: - 2016. - 203 с.
11. Гвоздев, А.А. Технология повышения долговечности узлов трения при ремонте сельскохозяйственной техники с использованием модифицированных полимерных композиций: автореф. дис. докт. техн. наук/ А.А. Гвоздев. - М.: - 2010. - 35 с.
12. Глухих В.В. Получение, свойства и применение биоразлагаемых древесно-полимерных композитов (обзор) // В.В. Глухих, А.Е. Шкуро, Т.А. Гуда, О.В. Стоянов // Казань: Вестник Казан. технолог. у-та. – 2012. –Т. 15. – № 9. – С. 75–82
13. Ахметзянов Р.Р. Композиционные материалы на основе серного связующего и дисперсных наполнителей для изделий машиностроения: автореф. дис. канд. техн. наук. Казан. (Приволж.) федер. ун-т. Набережные Челны, 2017. 20 с.
14. Ахметзянов Р.Р., Гайфуллин Р.Р., Хайбрахманов И.И. Дисперсно-наполненные композиционные материалы на основе неорганических полимеров /В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса. Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. Казань, 2019. С. 131-134.
15. Ахметзянов Р.Р., Низкотемпературный способ получения материалов из отходов теплоэнергетических и нефтехимических предприятий / Р.Р. Ахметзянов, И.Г. Хабибуллин, Х.С. Фасхутдинов, Х.В. Гибадуллина // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2009. № 4 (35). С. 34-36.

16. Ахметзянов Р.Р., Разработка составов и технологии изготовления дисперсно-наполненных композиционных материалов для узлов трения / Р.Р. Ахметзянов, Т.Н. Вагизов, Э.Р. Галимов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2019. Т. 75. № 2. С. 61-65.
17. Клёсов А. А. Древесно-полимерные композиты. – СПб: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
18. Колодяжная, И.Н. Технологическое обеспечение долговечности роликовых узлов картофелеуборочных машин применением подшипниковскользящих из полимерных материалов: дис. канд. техн. наук / И.Н. Колодяжная. - Рязань: - 2011. - 181 с.
19. Козырева Л.В. Повышение долговечности подшипников сельскохозяйственной техники применением наноматериалов: автореф. дис. докт. техн. наук / Л.В. Козырева. - М.: - 2011. - 33 с.
20. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. - М.: Машиностроение. - 1983. - 481 с.
21. Купчинов, Б. И. Технология конструкционных материалов и изделий на основе измельченных отходов древесины / Б. И. Купчинов, Н.В. Немогай, С.Ф. Мельников; под ред. В.А. Белого; АН Беларуси, Ин-т механики металлополимерных систем. - Минск: Навука і тэхніка, -1992.198 с.
22. Патент на изобретение № 2410350 от 27.01.2011 г. по заявке № 2008115180/03 от 17.04.2008 г. Вяжущее для получения композиционных материалов / Хабибуллин И.Г., Фасхутдинов Х.С., Ахметзянов. Р.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ; бюлл. №30. - 4 с.
23. Пат. № 2254361, Российская Федерация, МПК C10M 125/00, C10M 125/04, C10M 125/28, C10M 125/02, C10M 145/18, C10M 103/02, C10N 50/08 Антифрикционный самосмазывающий материал [Текст] / В.Г. Мельников, Е.А. Бельцова, Ю.К. Щипалов, А.С. Корников; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный

- химико-технологический университет» - 2003137338/04; заявл.24.12.2003; опубл.20.06.2005.
24. Пресман Г., Семочкин А. Оцениваем качество ДПК-профиля. Пластикс. – 2012. – № 1–2. – С. 55–58.
 25. Сангалов, Ю.А. Дисперсная древесина как перспективное химическое сырье / Ю.А. Сангалов, С.Г. Карчевский, В.П. Ионов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. - 2014. - Т.19. - №4. - С 5-15.
 26. Семочкин А., Пресман Г. ДПК: стандарты качества // Пластикс. –2013. – № 3. – С. 41–44.
 27. Ставров В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учебное пособие. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
 28. Хайбрахманов И.И., Гайфуллин Р.Р., Ахметзянов Р.Р. Получение металлокерамических материалов для покрытий по энергосберегающей технологии / В сборнике: Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Труды III международной научно-практической конференции. Казань, 2019. С. 286-290.
 29. Хабибуллин И.Г., Получение порошковых материалов с применением промышленных отходов / И.Г. Хабибуллин, Х.С. Фасхутдинов, Р.Р. Ахметзянов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2008. - Т. 3. - № 1 (7). - С. 151-153.
 30. Шевелева, Е.В. Повышение работоспособности подшипнико скольжения деревообрабатывающего оборудования на основе использования древесно-металлических композиционных материалов: дис. канд. техн. наук /Е.В. Шевелева. - Брянск: - 2004. - 146 с.

Статьи автора:

1. Ахметзянов Р.Р., Гайфуллин Р.Р., Хайбрахманов И.И. Дисперсно-наполненные композиционные материалы на основе неорганических полимеров /В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса. Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. Казань, 2019. С. 131-134.
2. Хайбрахманов И.И., Гайфуллин Р.Р., Ахметзянов Р.Р. Получение металлокерамических материалов для покрытий по энергосберегающей технологии / В сборнике: Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Труды III международной научно-практической конференции. Казань, 2019. С. 286-290.