

ПСАРЕВ Дмитрий Николаевич

**ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА
ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОК
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Мичуринск – Научоград РФ, 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО МичГАУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ли Роман Иннакентьевич

Официальные оппоненты: Юдин Владимир Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет»/кафедра надежности и ремонта машин им. И. С. Левитского, заведующий

Жачкин Сергей Юрьевич
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»/кафедра автоматизированного оборудования машиностроительного производства, профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I»

Защита диссертации состоится «21» мая 2015 года в 14 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Мичуринский государственный аграрный университет» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, зал заседаний диссертационных советов, тел/факс: 8 (47545) 9-44-12, E-mail: dissov@mail.ru/

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет» и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДМ 220.041.03,
кандидат технических наук, доцент

Михеев Н. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Корпусные детали являются базисными, ресурсными деталями, определяющими долговечность всего агрегата. Износ посадочных отверстий в корпусе коробки передач, приводит к перекосу колец подшипников, валов с шестернями, их повышенному изнашиванию и резкому сокращению ресурса. Основной причиной износа отверстий под подшипники в корпусных деталях является фреттинг-коррозия. Способы восстановления посадочных отверстий полимерными материалами исключают возникновение фреттинг-коррозии и повышают ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов.

Развитие отечественной химической промышленности сопровождается постоянным выпуском новых перспективных полимерных материалов различного назначения. Формируется благоприятная среда для разработки высокоэффективных технологий восстановления, обеспечивающих повышение ресурса корпусных деталей, надежности сельскохозяйственной техники, сокращение затрат на технический сервис.

Степень разработанности темы. Вопросам восстановления изношенных деталей с/х техники полимерными материалами посвящены труды Астанина В. К., Башкирцева В. Н., Гвоздева А. А., Котина А. В., Кононенко А. С., Курчаткина В. В., Ли Р. И., и многих других отечественных ученых. Анализ показал, что более технологичным является способ восстановления нанесением полимерного покрытия на изношенную поверхность отверстий. Однако в известных технологиях полимерное покрытие наносят вручную, усадка полимерного материала при отверждении влияет на точность размеров восстановленных отверстий.

Нами предлагается восстанавливать посадки подшипников в корпусных деталях методом ремонтных размеров. Посадочные отверстия растачивают под ремонтный размер. Предложен способ механизированного нанесения полимерного покрытия на подшипник. Необходимо разработать модель формирования покрытия из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника, провести исследования по выбору и обоснованию критерия подобия для моделирования процессов формообразования полимерного покрытия, что обеспечит значительное сокращение объема исследований и материальных расходов.

Чтобы исключить влияние усадки полимерного материала при отверждении и обеспечить заданные размеры покрытия, последнее после нанесения на подшипник термически обрабатывают и затем подвергают точению. Требуются теоретические и экспериментальные исследования, для обоснования параметров механической обработки резанием полимерных покрытий из раствора эластомера.

Работа выполнена в соответствии с госконтрактами №7133 р/9641 от 31.07.2009 г. и №8695р/13986 от 14.01.2011 г. по теме «Разработка комплексной технологии нанесения полимерных покрытий на наружные посадочные места подшипников в деталях машин», финансируемыми Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа "УМНИК") и планом госбюджетных научно-исследовательских работ ФГБОУ ВПО МичГАУ на 2011...2015 годы по теме № 14 «Разработка технологий восстановления и упрочнения деталей с.х. техники и технологического оборудования по переработ-

ке и хранению с.х. продукции» на кафедре «Стандартизация, метрология и технический сервис» Мичуринского государственного аграрного университета.

Цель работы. Разработка технологии механизированного нанесения покрытий из раствора эластомера Ф-40С на подшипники качения, обеспечивающей повышение точности и долговечности посадок подшипников при восстановлении корпусных деталей сельскохозяйственной техники методом ремонтных размеров.

Объект исследований. Пленки и покрытия из эластомера Ф-40С, посадки подшипников в корпусной детали, восстановленные эластомером Ф-40С.

Предмет исследований. Усадка покрытий из растворов эластомера Ф-40С различной вязкости, зависимости размеров покрытий из растворов эластомера Ф-40С от параметров режима окунания и нанесения, усилия резания и шероховатости от геометрических параметров резца, точности полимерных покрытий от режима резания, долговечность посадок подшипников в корпусной детали, восстановленных эластомером Ф-40С.

Методика исследования представлена теоретическими исследованиями на основе теорий гидродинамики, подобия и моделирования, обработки материалов резанием, экспериментальными исследованиями усадки, параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметров полимерных покрытий после нанесения, процесса механической обработки полимерных покрытий из раствора эластомера Ф-40С, долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С. Достоверность полученных результатов исследования обусловлена применением современного исследовательского оборудования и приборов, методов статистической обработки, результатами эксплуатационных испытаний.

На защиту выносятся:

- теоретические предпосылки комплексного формирования полимерных покрытий на наружных кольцах подшипников качения;
- результаты экспериментальных исследований усадки покрытий из растворов эластомера Ф-40С различной вязкости, параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметров полимерных покрытий после нанесения, процесса формирования полимерных покрытий при помощи критерия подобия, исследований процесса механической обработки покрытий из раствора эластомера Ф-40С, долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С;
- технология механизированного нанесения покрытий из раствора эластомера Ф-40С на подшипники качения.

Научная новизна. Заключается в получении модели формирования покрытия из раствора на вращающемся наружном кольце подшипника, обосновании выбора критерия подобия для моделирования процессов формирования полимерных покрытий на подшипниках, параметров механической обработки полимерных покрытий, исследовании усадки покрытий из растворов эластомера Ф-40С различной вязкости, параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметров полимерных покрытий после нанесения, исследовании процесса механической обработки покрытий из раствора эластомера Ф-40С, долго-

вечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С.

Практическая ценность заключается в разработанной технологии механизированного нанесения полимерных покрытий из раствора эластомера Ф-40С на подшипники качения.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Мичуринского государственного аграрного университета в 2009...2015 гг.; международных научно-практических конференциях в Бел. ГСХА (г. Белгород, 2009, 2011г.), ЛГТУ (г. Липецк, 2013г.), ГНУ ВИИТИН (г. Тамбов, 2009г.), МичГАУ (г. Мичуринск, 2014 г); заседании кафедры «Стандартизация, метрология и технический сервис» Мичуринского государственного аграрного университета в 2015 г.

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано – 10 печатных работ, в том числе четыре статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций составляет 5,3 п.л., автору принадлежит 2,9 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, содержит 62 рисунка, 11 таблиц, 5 приложений и библиографию из 115 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены актуальность темы и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе «Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследований» приведен анализ технологий восстановления посадок подшипников качения в корпусных деталях полимерными материалами, способов механизированного нанесения полимерных покрытий при восстановлении посадочных мест подшипников качения, моделирования процессов и критериев подбора, классификации полимеров по обрабатываемости резанием и способов их механической обработки.

Решению научных задач и проблем технологии ремонта и восстановления изношенных деталей посвящены труды Батищева А. Н., Бугаева В. А., Голубева И. Г., Ерохина М. Н., Жачкина С. Ю., Курчаткина В. В., Казанцева С. П., Ли Р. И., Лялякина В. П., Пучина Е. А., Черноиванова В. И., Юдина В. М. и многих других отечественных ученых.

Посадочные отверстия в корпусных деталях восстанавливают установкой дополнительной детали, электродуговой наплавкой, электроконтактной приваркой стальной ленты, железнением, хромированием. Однако эти способы не обеспечивают фреттингостойкость восстановленных посадочных отверстий.

Способы восстановления посадочных отверстий полимерными материалами отличаются простотой и низкой себестоимостью, исключают возникновение фреттинг-коррозии, повышают ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов. Анализ показал, что наиболее технологичным является способ восстановле-

ния нанесением полимерного покрытия на изношенную поверхность отверстий. Однако известные технологии предусматривают ручное нанесение полимерного покрытия, не исключают влияние усадки полимерного материала при отверждении, что влияет на точность размеров восстановленных отверстий.

Предлагается восстанавливать посадки подшипников в корпусных деталях методом ремонтных размеров. Посадочные отверстия в зависимости от износа растачивают под три ремонтных размера

$$D_{рем1} = D_{ном} + 0,1мм; D_{рем2} = D_{ном} + 0,15мм; D_{рем3} = D_{ном} + 0,2мм,$$

где $D_{рем1}$, $D_{рем2}$, $D_{рем3}$ – первый, второй и третий ремонтные размеры; $D_{ном}$ – номинальный диаметр отверстия.

Обработанное отверстие комплектуют новым подшипником, на наружное кольцо которого, нанесено полимерное покрытие из раствора эластомера Ф-40С соответствующей толщины, обеспечивающее неподвижность соединения.

В результате анализа механизированных способов предложено наносить покрытие окунанием подшипника в ванну с раствором полимерного материал. Покрытие должно формироваться равномерным за счет вращения подшипника и течения полимерного раствора под действием силы тяжести. Необходимо разработать модель формирования покрытия из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника.

В работе Щетинина М. В. получен критерий подобия для исследования ресурса посадок, восстановленных полимерным материалом, это позволяет значительно уменьшить объем испытаний и материальных затрат. Необходимы исследования по выбору и обоснованию критерия подобия для моделирования процессов формообразования полимерного покрытия.

Чтобы исключить влияние усадки полимерного материала при отверждении и обеспечить заданный размер полимерного покрытия, последнее после нанесения на подшипник, предлагается термически обрабатывать и затем подвергать механической обработке резанием. Выбран способ точения. Анализ показал, что эластомер Ф-40С относится к полимерным материалам первой группы обрабатываемости, следует ожидать получения непрерывной сливной стружки, высокой точности размеров и низкой шероховатости обработанной поверхности. Необходимы теоретические и экспериментальные исследования, которые позволят обосновать параметры механической обработки резанием полимерных покрытий эластомеров, разработать технологические рекомендации.

На основании проведенного анализа в диссертационной работе сформулированы следующие задачи исследований:

- разработать модель формирования покрытия из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника;
- обосновать выбор критерия подобия для моделирования процессов формирования полимерных покрытий на подшипниках качения;
- исследовать процесс механической обработки покрытий из раствора эластомера Ф-40С;

– исследовать усадку покрытий из растворов эластомера Ф-40С различной вязкости, параметры режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметры полимерных покрытий после нанесения;

– исследовать долговечность посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С;

– разработать технологию восстановления посадочных отверстий корпусных деталей эластомером Ф-40С и оценить ее технико-экономическую эффективность.

Во второй главе «Теоретические предпосылки комплексного формирования полимерных покрытий на наружных кольцах подшипников качения» разработана модель формирования покрытия окунанием из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника, выбран критерий подобия для моделирования процессов формирования полимерных покрытий, обоснованы параметры механической обработки резанием полимерных покрытий эластомеров.

Модель формирования покрытия окунанием из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника. На рисунке 1, показаны этапы формирования полимерного покрытия на подшипнике. Подшипник погружают в ванну с раствором полимера. Подшипник вращают три – четыре оборота, затем ванну опускают (рисунок 1, а). При вращении нарост жидкости перераспределяется по поверхности из четвертого в первый квадрант (рисунок 1, б), затем во второй, и далее в третий квадранты (рисунок 1, в). При вращении с оптимальной скоростью на поверхности формируется покрытие относительно равной толщины (рисунок 1, г). Представим поверхность подшипника, как канал прямоугольного сечения с малой кривизной по длине (рисунок 2).

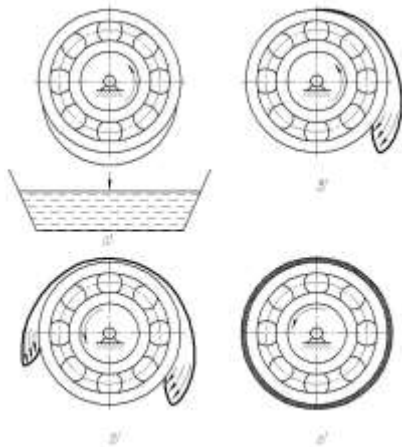


Рисунок 1 – Распределение полимерного раствора по поверхности наружного кольца при вращении подшипника

Запишем уравнение Бернулли

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2}{2g} + h_{w1-2}, \quad (1)$$

где $Z_1, Z_2, \frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}, \frac{\alpha_1 \cdot \vartheta_1}{2 \cdot g}, \frac{\alpha_1 \cdot \vartheta_1}{2 \cdot g}$ – геометрический, пьезометрический и скоростной напоры в сечениях 1-1 и 2-2; h_{w1-2} – общие потери напора; P_1, P_2 – давление в сечениях 1-1 и 2-2; α_1, α_2 – коэффициенты кинетической энергии, учи-

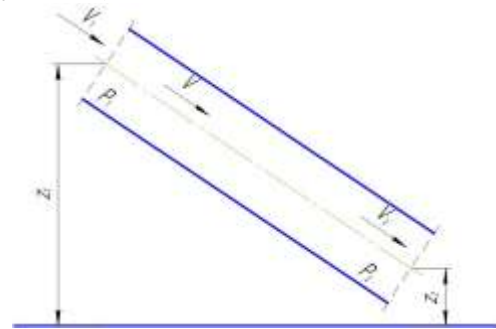


Рисунок 2 – Канал прямоугольного сечения малой кривизны по длине:
 Z_1, Z_2 – геометрический напор в сечениях 1-1 и 2-2; P_1, P_2 – давление в сечениях 1-1 и 2-2; ϑ_1, ϑ_2 – средняя скорость потока в сечениях 1-1 и 2-2

тывающие фактическую скорость потока в сечениях 1-1 и 2-2; g_1, g_2 – средняя скорость потока в сечениях 1-1 и 2-2; γ – удельный вес жидкости; g – ускорение свободного падения.

Жидкость движется по руслу самотеком, поэтому выполняется условие: $P_1 = P_2 = P_{атм}$, где $P_{атм}$ – атмосферное давление.

Уравнение неразрывности потока жидкости

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{W_2}{W_1}, \quad (2)$$

где W_1, W_2 – живое сечение потока в сечениях 1-1 и 2-2.

Исходя из условия равнотолщинности покрытия, имеем равенство

$h_1 = h_2 = \dots h_n$, где $h_1, h_2, \dots h_n$ – толщина полимерного покрытия в сечениях 1-1, 2-2, ... n-n, т.е. $W_1 = W_2$ и, в соответствии с (2), $g_1 = g_2$.

Формула (1) получила вид

$$Z_1 - Z_2 = h_{w1-2} \quad (3)$$

Потери давления на трение P_f при движении жидкости от сечения 1-1 к сечению 2-2 следует рассчитывать по формуле

$$P_f = h_{w1-2} \rho g, \quad (4)$$

где ρ – плотность жидкости.

Наружная поверхность подшипника является дном, а ограничительные шайбы с обеих сторон боковыми стенками прямоугольного канала сечением $h \times B$ (h – высота, B – ширина кольца подшипника). Рассмотрим два нормальных поперечных сечения потока 1-1 и 2-2, размещенных на расстоянии ℓ . Ширину потока примем равной единице. Объем жидкости между сечениями 1-1 и 2-2 имеет форму прямоугольного параллелепипеда размерами $\ell \times y \times 1$ (рисунок 3).

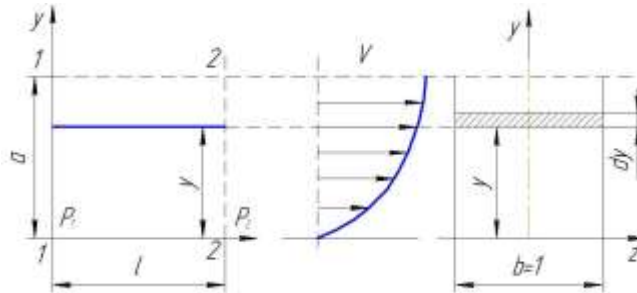


Рисунок 3 – Схема для рассмотрения ламинарного течения жидкости на поверхности наружного кольца подшипника под действием перепада давления

Условие равномерного движения рассматриваемого объема потока вдоль оси Ox имеет вид

$$yP_f = \mu \left(\frac{dg}{dy} \right) \ell, \quad (5)$$

где P_f – потери давления на трение, Па; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с; dg/dy – градиент скорости, y – нормаль к поверхности потока, м; ℓ – расстояние между сечениями 1-1 и 2-2.

В соответствии с (5) приращение скорости dg имеет вид

$$d\vartheta = \frac{P_f}{\mu l} y dy \quad (6)$$

Проинтегрировав выражение (6), введя граничные условия, получили

$$\vartheta = \frac{P_f}{2\mu l} y^2 \quad (7)$$

Расход q , приходящийся на единицу ширины потока имеет вид

$$dq = \vartheta dS = \frac{P_f}{2\mu l} y^2 dS \quad (8)$$

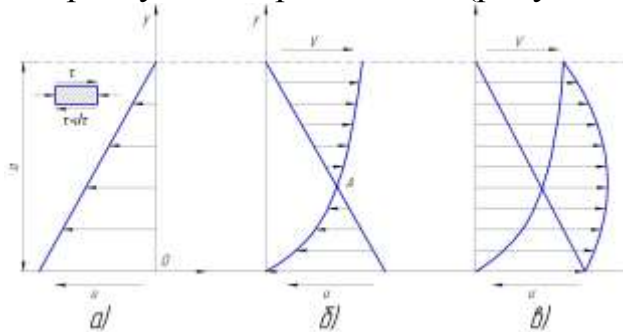
Проинтегрировав выражение (8) получили

$$q = \frac{P_f}{2\mu l} \int_0^a y^2 dS = \frac{P_f}{2\mu l} \left(\frac{y^3}{3} \Big|_0^a \right) = \frac{P_f a^3}{6\mu l} \quad (9)$$

Потерю давления на трение в зазоре шириной $b \neq 1$ следует рассчитывать по формуле

$$P_f = \frac{6\mu l Q}{a^3 b} \quad (10)$$

При вращении кольца подшипника его поверхность увлекает за собой жидкость, при этом возникает фрикционное безнапорное движение. Выделим в этом потоке элемент и рассмотрим условия равновесия (рисунок 4)



а) при движении русла; б) при встречном движении русла и потока жидкости; в) при движении русла и потока жидкости в одном направлении

Рисунок 4 – Профили скоростей в потоке:

$$\tau = -\mu \frac{d\vartheta}{dy} = C \quad (11)$$

Проинтегрировав формулу (11), определив c и C_1 , исходя из условий на границах потока: при $y = 0$, $\vartheta = u$, $C_1 = u$; при $y = a$, $\vartheta = 0$, $c = \frac{\mu u}{a}$, получили формулу скорости

$$\vartheta = -\frac{\mu u}{a} \frac{y}{\mu} + u = u - \frac{uy}{a} = u \left(1 - \frac{y}{a} \right) \quad (12)$$

Расход жидкости q , приходящегося на единицу ширины потока b определяем по формуле (13)

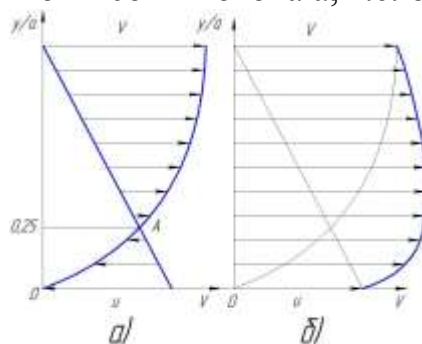
$$q = u \int_0^a \left(1 - \frac{y}{a} \right) dy = u \left(\int_0^a 1 dy - \int_0^a \frac{y}{a} dy \right) = u \left[y \Big|_0^a - \frac{1}{a} \left(\frac{y^2}{2} \Big|_0^a \right) \right] = \frac{ua}{2} \quad (13)$$

С учетом перепада давления в жидкости закон распределения скоростей, в зависимости от направления движения русла, имеет вид формулы

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_z \pm \mathcal{G}_u = \frac{P_f}{2\mu\ell} y^2 \pm u\left(1 - \frac{y}{a}\right), \quad (14)$$

где \mathcal{G}_z и \mathcal{G}_u – скорости слоев жидкости за счет геометрического напора и фрикционного безнапорного движения.

Важное значение для формирования полимерного покрытия имеет уровень размещения т. А, относительно высоты потока a , т.е. отношение y/a (рисунок 5).



а) при встречном движении русла и потока жидкости; б) при движении русла и потока жидкости в одном направлении

Рисунок 5 – Профили скоростей в потоке при отношении $y/a=0,25$:

Отношение составляет $y/a = 0,25$. В т. А скорость потока равна 0. Ниже т. А слой жидкости в 1/4 потока по высоте движется в направлении движения русла за счет фрикционного безнапорного движения со скоростью \mathcal{G}_u . Выше точки А, слой жидкости в 3/4 потока по высоте движется в направлении движения потока за счет перепада давления P_f со скоростью \mathcal{G}_z (рисунок 5, а). Для получения равнотолщинности покрытия необходимо вращать подшипник максимальное количество оборотов. Во втором и третьем квадрантах, где имеет место попутное движение потока жидкости и русла, скорость \mathcal{G} в соответствии с формулой (14) складывается из скоростей \mathcal{G}_z и \mathcal{G}_u (рисунок 5, б). Профиль скорости относительно равномерный и, в соответствии с формулой (2), живое сечение потока будет значительным, что создает условия для стекания раствора с поверхности подшипника в третьем квадранте.

При отношении $y/a = 0,75$ только 3/4 потока по высоте движется со скоростью \mathcal{G}_u , и 1/4 потока по высоте со скоростью \mathcal{G}_z . Для получения равнотолщинности покрытия необходимо минимальное количество оборотов подшипника, по сравнению с $y/a=0,25$. Профиль скорости во втором и третьем квадрантах складывается из скоростей \mathcal{G}_z и \mathcal{G}_u . Профиль скорости отличается значительной неравномерностью по сравнению с $y/a = 0,25$ и $y/a = 0,5$. Максимальная скорость потока в 3,2 раза превышает скорость потока в случае $y/a = 0,25$ и 2,13 раза превышает скорость потока в случае $y/a = 0,5$. В соответствии с уравнением неразрывности потока жидкости живое сечение потока будет иметь минимальный размер по сравнению с $y/a = 0,25$ и $y/a = 0,5$, что исключает вероятность стекания раствора с поверхности подшипника в третьем квадранте. Для обеспечения равнотолщинно-

сти полимерного покрытия параметры безнапорного фрикционного движения следует выбирать из соотношения $0,75 \leq y/a \leq 0,9$.

В точке А скорость потока равна 0, т.е. скорости \mathcal{G}_z и \mathcal{G}_u равны. Тогда в соответствии с формулой (14) получим формулу

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_z - \mathcal{G}_u = \frac{P_f}{2\mu\ell} y^2 - u(1 - \frac{y}{a}) = 0 \quad (15)$$

После преобразования формулы (15) получили формулу для определения линейной скорости движения русла u

$$u = \frac{P_f y^2}{2\mu\ell(1 - \frac{y}{a})} \quad (16)$$

Частоту вращения подшипника следует определять по формуле (17)

$$n = \frac{u}{\pi D_n} = M_n \frac{P_f y^2}{2\pi\mu\ell D_n (1 - \frac{y}{a})}, \quad (17)$$

где D_n – диаметр подшипника, м; M_n – поправочный коэффициент по частоте вращения подшипника.

При получении формул (16) и (17) принято допущение, что наружное кольцо в первом и четвертом квадрантах представляет собой брус малой кривизны. Это допущение вносит погрешность в результаты расчетов по формулам (16) и (17). Необходимо экспериментально проверить корректность формулы (17) и внести в нее поправочный коэффициент M_n .

Моделирование процессов движения реальных жидкостей выполняют с применением теории гидродинамического подобия. Если на жидкость действуют силы вязкости, давления и инерции, гидродинамическое подобие геометрически подобных потоков будет иметь место при равенстве безразмерного критерия подобия – числа Рейнольдса

$$R_e = \left(\frac{\mathcal{G}L}{\nu} \right)_1 = \left(\frac{\mathcal{G}L}{\nu} \right)_2 = idem, \quad (18)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости; L – характерный размер, например, гидравлический диаметр D_c .

Формулу (18) преобразовали к виду (19)

$$R_e = \frac{2gy^2 h_n B}{\pi\nu^2 (1 - \frac{y}{h_n})(B + h_n)}, \quad (19)$$

где h_n – толщина полимерного слоя; B – ширина кольца подшипника.
или

$$R_e = M_{y/h} \frac{gh_n^3 B}{\nu^2 (B + h_n)}, \quad (20)$$

где $M_{y/h}$ – коэффициент, при соотношении $y/h_n = 0,80; 0,85$ и $0,90$ коэффициент $M_{y/h} = 2,038; 3,068$ и $5,16$ соответственно.

Формула (20) позволяет по известному числу Рейнольдса, для ранее исследованного раствора полимерного материала, и кинематической вязкости раствора

нового полимерного материала определить его оптимальную толщину, при которой формируется наиболее равномерное покрытие. Для этого представили формулу (20) в виде кубического уравнения

$$M_{y/h} B g x^3 - R_e v^2 x - R_e v^2 B, \quad (21)$$

где $x = h_n$.

Решив уравнение (21) получили:

для соотношения $u/h_{п} = 0,8$ формулу

$$y = h_n = u + g = \sqrt[3]{0,2453 \frac{R_e v^2}{g} + \sqrt{(-0,2453 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,1636 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} + \sqrt[3]{0,2453 \frac{R_e v^2}{g} - \sqrt{(-0,2453 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,1636 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} \quad (22)$$

для соотношения $u/h_{п} = 0,85$ формулу

$$y = h_n = u + g = \sqrt[3]{0,163 \frac{R_e v^2}{g} + \sqrt{(-0,163 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,1086 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} + \sqrt[3]{0,163 \frac{R_e v^2}{g} - \sqrt{(-0,163 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,1086 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} \quad (23)$$

для соотношения $u/h_{п} = 0,9$ формулу

$$y = h_n = u + g = \sqrt[3]{0,0969 \frac{R_e v^2}{g} + \sqrt{(-0,0969 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,0646 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} + \sqrt[3]{0,0969 \frac{R_e v^2}{g} - \sqrt{(-0,0969 \frac{R_e v^2}{g})^2 + (-0,0646 \frac{R_e v^2}{Bg})^3}} \quad (24)$$

Рассчитав оптимальную толщину полимерного слоя $h_{п}$, затем по формуле (16) определяют скорость движения русла и в заключении по формуле (17) частоту вращения подшипника n рассматриваемого типоразмера.

Параметры механической обработки резанием полимерных покрытий эластомеров. Силы, воспринимаемые передней и задней поверхностями режущего клина инструмента, группируют в три составляющие: P_z , P_y и P_x .

Геометрические параметры резца влияют на значения сил P_z , P_y , P_x . Известно, что каждый материал в определенных условиях обработки имеет критический передний угол γ , при котором радиальная составляющая сила $P_y = 0$. Точение пластмасс с таким углом обеспечивает лучшую точность размеров и шероховатость обработанной поверхности. Составляющие силы резания P_z и P_x имеют малые значения (при точении термопластов $P_z = 2...50$ Н) и нет необходимости по ним рассчитывать мощность привода станка или механизма подачи. Поэтому эти составляющие силы резания P_z и P_x в диссертации не исследовали. Исследовали влияние переднего угла γ на радиальную составляющую силы P_y , чтобы определить оптимальный передний угол γ . Основным фактором, влияющим на выбор переднего угла, является твердость обрабатываемого материала. Так как эластомер Ф-40С относится к первой группе обрабатываемости, предварительно выбрали значения передних углов $\gamma = 10...20^\circ$.

Остальные параметры резца выбрали в соответствии со справочными рекомендациями. С учетом вышеизложенного выбраны следующие геометрические

параметры резца для обработки полимерных покрытий из эластомера Ф-40: значения переднего угла $\gamma = 10..20^\circ$; заднего угла $\alpha = 25^\circ$; главного угла в плане $\varphi = 45^\circ$; вспомогательного угла $\varphi_1 = 15^\circ$; радиуса при вершине резца $r = 0,5$ мм.

Износостойкость резцов группы ВК в 6 раз выше резцов группы ТК, т.к. первые имеют в 1,6...2,6 раза большую теплопроводность. Поэтому для обработки эластомера Ф-40С, ввиду его низкой теплопроводности, выбрали резец ВК-8.

При назначении режимов резания следует выбрать такие сочетания скорости резания, глубины и подачи, при которых будет получена высокая стойкость резцов и производительность обработки с обеспечением заданного качества обработанной поверхности детали.

Выбран и требует экспериментального уточнения режим механической обработки полимерных покрытий из эластомера Ф-40С: глубина резания $t = 0,2..0,3$ мм, подача $S = 0,02..0,05$ мм/об; скорость резания $\mathcal{G} = 2,7; 4,1; 5,4$ м/с.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» приведены общая методика исследований и частные методики исследования усадки, параметров окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметров формирования полимерных покрытий, процесса механической обработки покрытий из эластомера Ф-40С, долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С.

Для исследования усадки полимерных покрытий, использовали растворы эластомера Ф-40С вязкостью: $\nu = 3157; 329$ и 160 мм²/с. Необходимую вязкость обеспечивали добавлением ацетона в концентрированный раствор эластомера Ф-40С. Вязкость раствора эластомера Ф-40С $\nu = 3157$ мм²/с контролировали вискозиметром типа ВНЖ (ГОСТ 10028-81Е), вязкость растворов $\nu = 329$ и 160 мм²/с – вискозиметром типа ВПЖ-2 (ГОСТ 10028-81). Образцами являлись отвержденные пленки, нанесенные на подложку из фторопласта. Форма пленок прямоугольная, размеры 60x15 мм.

Толщину пленок измеряли в трехкратной повторности рычажной скобой СРП-25 (ГОСТ 11098-75). Усадку материала U рассчитывали по формуле

$$U = \left(1 - \frac{h_{nk}}{h_p}\right) \times 100\%, \quad (25)$$

где h_p и h_{nk} – толщина полимерной пленки до и после отверждения, мм.

Для исследования параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С разработана лабораторная установка (рисунок 6). Установка смонтирована на базе токарного станка 1К62 и включает в себя центрирующую сборочную оправку 1, ванночку для полимерного раствора 2 и стойку магнитную 3.



Рисунок 6 – Лабораторная установка для нанесения полимерных покрытий

Стойка магнитная МВ-В служит для крепления ванночки и ее перемещения по высоте при окунании подшипников в полимерный раствор. Центрирующая оправка служит для центрирования и сборки подшипников.

Токарный станок 1К62 оснащен преобразователем частоты общепромышленного применения ЕІ-7011, который позволяет бесступенчато регулировать частоту вращения шпинделя от 0 мин⁻¹. Количество оборотов подшипников в ванночке с раствором составляло $N_{об} = 1; 2; 3; 4; 5$ и 6. После опускания ванночки подшипники вращали в течение 10 мин при температуре 23°C. Подшипники с полимерным покрытием выдерживали в течение 24 ч при температуре 23°C, после чего рычажной скобой СР-100 (ГОСТ 11098-75) измеряли диаметр, рассчитывали толщину полимерного покрытия и ее среднее значение.

При исследовании зависимости толщины покрытия от количества нанесенных слоев раствора эластомера Ф-40С образцами являлись пленки, размером 60x15. Количество слоев: 3...4. Толщину пленок измеряли в трехкратной повторности рычажной скобой СРП-25.

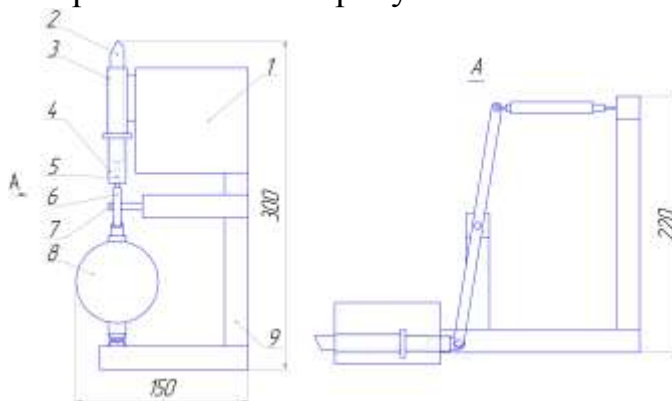
Исследования зависимости толщины покрытия от частоты вращения подшипника n проводили на лабораторной установке (рисунок 6). Покрытие из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 3157$ мм²/с наносили на подшипники 209 при частоте вращения: $n = 1,0; 2,0; 3,0; 3,5$ и 4,0 мин⁻¹, вязкостью $\nu = 329$ мм²/с – при частоте вращения: 2,0; 3,5; 6,5; 8,0 и 10,0 мин⁻¹, вязкостью $\nu = 160$ мм²/с – при частоте вращения: 3,5; 5,0; 7,5; 10,0 и 12,0 мин⁻¹.

Подшипники, при заданной частоте вращения, окунали в ванночку с раствором эластомера Ф-40С и через три оборота ванночку опускали. Вращение подшипников продолжалось в течение 10 мин при температуре 23°C. Подшипники с полимерным покрытием выдерживали в течение 24 ч при температуре 23°C. Рычажной скобой СР-100 измеряли диаметр, рассчитывали толщину полимерного покрытия и ее среднее значение. Для расчета овальности измеряли диаметр во взаимно-перпендикулярных плоскостях. Для расчета конусности измеряли диаметр подшипника в начале и конце полимерного покрытия по ширине. Повторность измерений трехкратная с усреднением значений.

Адгезионные свойства материала оценивали прочностью связи с металлом при отслаивании образцов (ГОСТ 21981-76). Наносили покрытия из эластомера Ф-40С вязкостью: $\nu = 3157; 329$ и 160 мм²/с. Усилие отслаивания полимерного покрытия от металлической подложки определяли на разрывной машине ИР5047-50.

Исследования формирования полимерных покрытий из раствора эластомера вязкостью: $\nu = 130$ и 100 мм²/с проводили по критерию подобия – числу Рейнольдса. По формуле (23), приняв $R_e = 4,78 \times 10^{-3}$, рассчитали толщину полимерного слоя: $h_{п} = 0,152$ и 0,117 мм при вязкости раствора эластомера Ф-40С $\nu = 130$ и 100 мм²/с соответственно. По значениям $h_{п} = 0,152$ и 0,118 мм, соотношению $y/h_{п} = 0,85$, используя формулы (16) и (17), рассчитали частоту вращения подшипников: $n = 4,86$ и 4,078 мин⁻¹ при вязкости раствора эластомера Ф-40С $\nu = 130$ и 100 мм²/с соответственно. Округлили значения до $n_{ф} = 5,0$ и 4,0 мин⁻¹ и при этой частоте вращения подшипников наносили полимерные покрытия. Нанесение покрытий, измерение толщины покрытий, определение овальности и конусности покрытий осуществляли по методике, описанной выше.

При исследовании оптимального угла резания покрытий эластомера Ф-40С подшипники с покрытием собирали в центрирующей оправке. В ходе эксперимента обработку покрытий из эластомера Ф-40С вели резцами со значением переднего угла $\gamma = 10; 15$ и 20° . Глубина резания $t = 0,2$ мм, подача $S = 0,02$ мм/об, частота вращения шпинделя токарного станка 1К62 $n = 2000$ мин⁻¹. Для измерения радиальной составляющей силы резания P_y разработали лабораторную установку, конструктивная схема которой показана на рисунке 7.



1 – резцедержатель станка; 2 – резец; 3 – направляющая резца; 4 – держатель резца; 5 – шток; 6 – коромысло; 7 – ось коромысла; 8 – веса ВБ-10; 9 – стойка
Рисунок 7 – Принципиальная схема лабораторной установки для измерения радиальной составляющей силы резания P_y :

Шероховатость обработанной поверхности определяли, используя двойной микроскоп Линника типа МИС-11.

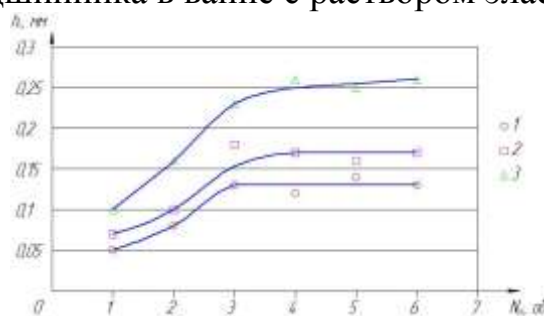
Исследования влияния режимов резания на шероховатость полимерного покрытия проводили резцом ВК-8 с оптимальным значением переднего угла $\gamma = 15^\circ$, заднего угла $\alpha = 25^\circ$; главного угла в плане $\phi = 45^\circ$; вспомогательного угла $\phi_1 = 15^\circ$; радиуса при вершине резца $r = 0,5$ мм. Глубина резания составляла $t = 0,2$ мм, подача $S = 0,02; 0,05$ и $0,08$ мм/об, частота вращения шпинделя станка $n = 1000; 1500$ и 2000 мин⁻¹. Определение овальности и конусности покрытий осуществляли рычажной скобой СР-100 по методике, описанной выше.

Исследование долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С, проводили на вибростенде. Нагрузка на подшипники 209 составляла 20 кН. За критерий долговечности посадок приняли наработку до сдвига наружного кольца подшипника в посадочном отверстии.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены результаты исследования усадки, параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С и параметров полимерных покрытий после нанесения, процесса механической обработки полимерных покрытий из раствора эластомера Ф-40С, долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С.

Исследование усадки эластомера Ф-40С. Исследованиями установлено, что минимальную усадку $U = 7\%$ имеет покрытие, из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 3157$ мм²/с. С уменьшением вязкости раствора эластомера Ф-40С усадка полимерного покрытия после отверждения увеличивается до 3,43 раза, что объясняется большим количеством испаряющегося ацетона из раствора.

Исследование параметров режима окунания деталей в раствор эластомера Ф-40С. На рисунке 8 показана зависимость толщины покрытия $h_{\text{п}}$ от количества оборотов $N_{\text{об}}$ подшипника в ванне с раствором эластомера Ф-40С.



1 – при вязкости $\nu = 160$; 2 – при вязкости $\nu = 329$; 3 – при вязкости $\nu = 3157$ мм²/с

Рисунок 8 – Зависимость толщины полимерного покрытия $h_{\text{п}}$ от количества оборотов $N_{\text{об}}$ подшипника в ванне с раствором эластомера Ф-40С:

С увеличением количества оборотов подшипника до трех, в ванне с полимерным раствором вязкостью $\nu = 160$ мм²/с, толщина полимерного покрытия $h_{\text{п}}$ возрастает. При большем количестве оборотов толщина полимерного покрытия стабилизируется. Аналогичная зависимость наблюдается при вращении подшипников в ванне с раствором эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 329$ и 3157 мм²/с. Поэтому рекомендуемое количество оборотов подшипника в ванне с раствором эластомера Ф-40С $n = 3 \dots 4$ оборота.

Исследование геометрических характеристик полимерных покрытий.

Исследования показали, что толщина покрытия, нанесенного из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 160$ мм²/с, с увеличением количества нанесенных слоев возрастает по линейной зависимости от 0,11 до 0,52 мм, при вязкости $\nu = 329$ мм²/с – от 0,13 до 0,61 мм, при вязкости $\nu = 3157$ мм²/с – от 0,26 до 0,71 мм. Для получения полимерного покрытия достаточной, следует нанести четыре слоя из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 160$ мм²/с, три слоя раствора эластомера Ф-40С вязкостью $\nu = 329$ мм²/с или два слоя раствора вязкостью 3157 мм²/с.

Исследования зависимости толщины покрытия $h_{\text{п}}$, нанесенного из раствора эластомера Ф-40С вязкостью 3157 мм²/с, от частоты вращения подшипника n показали, что при $n = 1$ мин⁻¹ полимерный раствор подтекает в первом и четвертом квадрантах наружного кольца подшипника. Покрытие имеет минимальную толщину $h_{\text{п}} = 0,15$ мм. Овальность и конусность покрытия имеют максимальные значения и составляют: $O_{\text{п}} = 0,037$ мм, $K_{\text{п}} = 0,019$ мм. При $n = 3$ мин⁻¹ подтеканий полимерного раствора не обнаружено. Толщина покрытия $h_{\text{п}} = 0,26$ мм. Овальность и конусность покрытия имеют минимальные значения $O_{\text{п}} = 0,028$ мм, $K_{\text{п}} = 0,011$ мм. С увеличением частоты вращения подшипника до $n = 3,5$ и $4,0$ мин⁻¹ условия равномерного распределения полимерного раствора по поверхности подшипника ухудшаются, вследствие увеличения скорости безнапорного движения нижних слоев потока полимерного раствора. По этой причине овальность покрытия увеличилась до $O_{\text{п}} = 0,029$ и $0,030$ мм, а конусность до $K_{\text{п}} = 0,012$ и $0,014$ мм при частоте вращения подшипника $n = 3,5$ и $4,0$ мин⁻¹ соответственно. Следовательно,

при нанесении покрытий из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $3157 \text{ мм}^2/\text{с}$ оптимальной частотой вращения подшипника является $n=3 \text{ мин}^{-1}$.

Подобная картина наблюдается при нанесении покрытий из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 329$ и $160 \text{ мм}^2/\text{с}$. Оптимальная скорость вращения подшипников при которой формируется полимерное покрытие максимальной толщины и с минимальными отклонениями по размерам: при нанесении покрытий из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 160$ и $329 \text{ мм}^2/\text{с}$ $n = 7,5$ и $6,5 \text{ мин}^{-1}$, соответственно.

Сравнение расчетной частоты вращения подшипника с опытными значениями показало, что значение поправочного коэффициента в формуле (17) составляет $M_n = 10$.

Исследование адгезии полимерных покрытий. Минимальную адгезию $F = 3,32 \text{ кН/м}$ имеет покрытие из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$. Адгезия покрытия из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 329 \text{ мм}^2/\text{с}$ составляет $F = 7,18 \text{ кН/м}$. Максимальную адгезию $F = 10,1 \text{ кН/м}$ имеет покрытие из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$, что в 1,4 и 3,1 раза выше адгезии покрытий, нанесенных из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 329$ и $3157 \text{ мм}^2/\text{с}$. Адгезия определяется смачиваемостью, которая существенно зависит от вязкости адгезии. Поэтому для обеспечения высокой адгезии рекомендуется наносить покрытия из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Исследование процесса формирования полимерных покрытий при помощи критерия подобия. Расчетная толщина покрытия из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 130 \text{ мм}^2/\text{с}$ составляет $h_p = 0,151 \text{ мм}$, а фактическое значение $h_\phi = 0,142 \text{ мм}$. Разница составила 6%. Расчетная толщина покрытия из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $V = 100 \text{ мм}^2/\text{с}$ составляет $h_p = 0,118 \text{ мм}$, а фактическое $h_\phi = 0,107 \text{ мм}$. Разница составила 9,3%, что является хорошим результатом. Оценку сходимости оптимальных расчетных значений скорости вращения подшипника с фактическими оценивали отклонениями от формы полимерного покрытия. Овальность и конусность полимерных покрытий из раствора эластомера Ф-40С вязкостью $v = 100$ и $130 \text{ мм}^2/\text{с}$ при оптимальной скорости вращения подшипника имели минимальные значения. Причины были изложены выше.

Исследование и определение оптимального угла резания эластомера Ф-40С. Установлено, что при увеличении переднего угла γ от 10 до 15° , усилие резания P_y уменьшилось с $10,2$ до $8,5 \text{ Н}$. Увеличение переднего угла γ до 20° приводит к уменьшению усилия резания до $P_y = 5,3 \text{ Н}$. По сравнению с передними углами 10 и 15° , усилие резания P_y уменьшилось на 48 и 37,6% соответственно. Однако при этом шероховатость обработанной поверхности изменяется по нелинейной зависимости с минимумом $R_a = 1,2 \text{ мкм}$ при значении $\gamma = 15^\circ$. Поэтому оптимальным значением переднего угла резца ВК-8 приняли $\gamma = 15^\circ$.

Исследование влияния режимов резания на шероховатость полимерного покрытия. Исследования показали что, с увеличением подачи S шероховатость обработанной поверхности R_a возрастает. При $S = 0,02 \text{ мм/об}$ шероховатость обработанной поверхности покрытия Ф-40С минимальная и составляет $R_a = 1,2$

мкм. При $S = 0,08$ мм/об шероховатость обработанной поверхности покрытия Ф-40С максимальная и составляет $R_a = 2,1$ мкм.

Глубина резания не значительно изменяет шероховатость обработанной поверхности, поэтому ее приняли постоянной $t = 0,2$ мм.

Шероховатость обработанной поверхности R_a не значительно увеличивается с ростом скорости резания. С повышением частоты вращения шпинделя станка овальность O_n и конусность K_n обработанной поверхности покрытия из эластомера Ф-40С увеличиваются. При частоте вращения $n = 2000$ мин⁻¹ овальность в 2,75 раза превышает овальность при $n = 1000$ мин⁻¹ и в 2,2 раза при $n = 1500$ мин⁻¹, конусность в 3 раза превышает овальность при $n = 1000$ мин⁻¹ и в 2,25 раза при $n = 1500$ мин⁻¹. Увеличение овальности и конусности объясняется ростом амплитуды вибраций шпинделя станка при повышении частоты вращения. Скорость резания наиболее значимо влияет на износ и стойкость резцов. В то же время точение на пониженных скоростях резания уменьшает производительность операции. Поэтому оптимальной скоростью резания следует принять 4,1 м/с, что соответствует для подшипника 209 частоте вращения шпинделя станка $n = 1500$ мин⁻¹.

Исследование долговечности посадок подшипников в корпусных деталях, восстановленных эластомером Ф-40С. Посадка с толщиной полимерного покрытия 0,1 мм, оставалась работоспособной до конца испытаний. Сдвиг наружного кольца подшипника в посадочном отверстии в течение 330 ч стендовых испытаний не зафиксирован. Поэтому допустимая толщина полимерного покрытия из эластомера Ф-40С на подшипнике 209, обеспечивающая безотказную работу восстановленной посадки при циклической радиальной нагрузке 20 кН составляет 0,1 мм.

В пятой главе «Реализация результатов исследований и их технико-экономическая оценка» приведены разработанная технология механизированного нанесения полимерных покрытий из раствора эластомера Ф-40С на подшипники качения и ее экономическая эффективность.

Технология включает три операции: нанесение полимерного покрытия, термическая обработка покрытий, механическая обработка покрытий.

Операция нанесения полимерного покрытия включает: зачистку посадочных мест наружных колец подшипников до металлического блеска; сборку подшипников в центрирующем приспособлении и установку в патрон токарного станка; обезжиривание посадочных мест подшипников; включение привода станка и установку заданной скорости вращения подшипников; заполнение ванночки раствором эластомера Ф-40С; вращение подшипников в течение трех оборотов и опускание ванночки; вращение подшипников в течение 10 мин; повтор переходов для нанесения второго, третьего и четвертого слоев покрытия; останов станка, разбор центрирующего приспособления; контроль качества покрытия.

Технология внедрена в ИП «Шестопалов И.А.» Добринского района Липецкой области. Для оценки надежности восстановленных посадок в корпусных деталях с февраля 2013г. по ноябрь 2014г. проведены эксплуатационные испытания автотракторной техники. Отказы техники в период испытаний по причине низкого ресурса восстановленных посадок в корпусных деталях не наблюдались. Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии – 410 тыс. руб.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе Мичуринского государственного аграрного университета при изучении дисциплин профессионального цикла студентами инженерных направлений подготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Получена модель формирования покрытия из раствора эластомера на вращающемся наружном кольце подшипника. Скорость вращения подшипника при формировании покрытия следует рассчитывать по формуле (17). Для обеспечения равномерности полимерного покрытия параметры безнапорного фрикционного движения следует выбирать из соотношения $0,75 \leq y/a \leq 0,9$.

2 Параметры исследуемого процесса формирования на подшипнике покрытия из раствора эластомера отражает критерий подобия – число Рейнольдса R_e , которое следует определять по формуле (20). Зная параметры формирования равномерного покрытия, из исследованного ранее полимерного материала и рассчитав по ним число Рейнольдса, можно для нового полимерного материала по формуле (22), (23) или (24) рассчитать оптимальную толщину полимерного слоя и, затем по формуле (16) скорость движения русла и в заключении частоту вращения подшипника. Разница между расчетными и фактическими значениями параметров процесса нанесения полимерных покрытий не превышает 10%, что вполне приемлемо.

3 Для механической обработки полимерных покрытий из эластомера Ф-40 рекомендуется резец ВК-8. Определены оптимальные геометрические параметры резца: передний угол 15° ; задний угол 25° ; главный угол в плане 45° ; вспомогательный угол 15° ; радиус при вершине резца 0,5 мм. Оптимальный режим механической обработки покрытий из эластомера Ф-40С: глубина резания 0,2...0,3 мм, подача 0,02 мм/об; скорость резания 4,1 м/с.

4 Для обеспечения высокой адгезии следует наносить покрытия из раствора эластомера Ф-40С вязкостью 160 мм²/с. Рекомендуемое количество оборотов подшипника в ванне с раствором эластомера Ф-40С $N_{об} = 3$ оборота. Для получения покрытия на подшипник следует нанести четыре слоя из раствора эластомера Ф-40С. Оптимальная частота вращения подшипника 209 при которой формируется покрытие максимальной толщины и с минимальными отклонениями по размерам – $n = 7,5$ мин⁻¹.

5 Посадки подшипников с покрытием из эластомера Ф-40С в корпусных деталях, имеют высокую долговечность. Рекомендуется восстанавливать посадочные отверстия в корпусных деталях с диаметральным износом до 0,2 мм.

6 По результатам исследований разработана технология механизированного нанесения покрытий из раствора эластомера Ф-40С на подшипники качения, которая внедрена в ИП «Шестопалов И. А.» Добринского района Липецкой области. Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии составил 410 т. р.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1 Псарев, Д. Н. Теоретические аспекты формообразования полимерного покрытия на наружном кольце вращающегося подшипника качения [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Вестник МичГАУ. – 2014. – №5. – С.46-51.

2 Псарев, Д. Н. Модель формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // – Клеи. Герметики. Технологии. – 2015. – №2. – С. 34-38.

3 Псарев Д.Н. Теоретические аспекты нанесения полимерных покрытий на подшипники качения [Текст] / Псарев Д.Н., Киба М.Р., Ли Р.И., // Научный журнал «Научное обозрение». – 2015. – №3. С. 44-49;

4 Псарев, Д. Н. Технологические аспекты нанесения полимерных покрытий на подшипники качения [Текст] / Псарев Д.Н., Ли Р.И., // Научный журнал «Научное обозрение». – 2015. – №4. С. 71-74;

В сборниках научных трудов и материалах конференции:

5 Псарев, Д. Н. Технология нанесения полимерных покрытий на наружные посадочные места подшипников в деталях машин [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Материалы XIII международной научно-производственной конференции 19-22 мая 2009 г. Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 2009. – С. 201.;

6 Псарев, Д. Н. Повышение точности полимерных покрытий, нанесенных на наружные посадочные места подшипников в деталях машин [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Материалы XV международной научно-практической конференции: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве с/х продукции – Новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. ГНУ ВИИТИН. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2009. - С. 597-601.;

7 Псарев, Д. Н. Перспективные способы нанесения полимерных покрытий на посадочные места подшипников в деталях типа «вал» [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Материалы XV Международной научно-производственной конференции: Проблемы с.х. производства на современном этапе и пути их решения. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 2011. - С. 209.;

8 Псарев, Д. Н. Теоретические аспекты обоснования параметров механической обработки деталей с полимерными покрытиями [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение». – 2014. - №1(1). – С. 332-337;

9 Псарев, Д. Н. Обоснование параметров механической обработки деталей с полимерными покрытиями [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: матер. Международной научно-практической конференции 23–25 апреля 2014 года. – Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2014. – 271 с.;

10 Псарев, Д. Н. Модель формообразования покрытия металлополимерного подшипника качения [Текст] / Ли Р. И., Псарев Д. Н., // Современная металлургия начала нового тысячелетия. К 80-летию НЛМК: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. 17-21 ноября 2014 г. Ч. 1. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, с. 125-131.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре МичГАУ

Подписано в печать 20.03.15г. Формат 60x84¹/₁₆, Бумага офсетная № 1.

Усл.печ.л. 1,2 Тираж 100 экз. Ризограф Заказ № 18252