

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 2401 “С” 2023.12.29. 039 ПЗ

ХОДЮК ІРИНА АНАТОЛІВНА

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

конструювання та

дизайну _____

УДК 621.723.09

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету
конструювання та дизайну
(назва факультету (ННІ))

Ружи́ло З.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
надійності техніки
(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему „Дослідження технічного стану та розробка технології відновлення посадок корпусних деталей сільськогосподарської техніки”

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма _____ Технічний сервіс машин та обладнання с.г. виробництва
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

Попик П.С.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Ходюк І.А.

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет _____ конструювання та дизайну _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
надійності техніки

к.т.н., доц. _____ Новицький А.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Ходюк Ірина Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування _____
(код і назва)

Освітня програма _____ „Технічний сервіс машин та обладнання с.г. виробництва” _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи _____ „Дослідження технічного стану та розробка технології відновлення посадок корпусних деталей сільськогосподарської техніки” _____

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 29 ” грудня 2023 р. № 2401 «С» _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____ 2024.11.14. _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи 1. Технології відновлення посадок в корпусних деталях полімерними матеріалами. 2. Класифікація полімерних матеріалів з оброблюваності різанням та способи їх механічної обробки. 3. Способи механізованого нанесення полімерних покриттів на поверхні деталей. 4. Технологічні особливості нанесення полімерних покриттів на деталі. 5. Конструктивні параметри установок для нанесення полімерних покриттів на деталі типу «вал» 6. Нормативи затрати матеріалів для проведення технологічного процесу відновлення посадок в корпусних деталях с.г. техніки. 7. Нормативні документи з охорони праці та техніки безпеки, які регламентують процеси обробки поверхонь деталей сільськогосподарських машин.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Модель формування полімерного покриття на зовнішньому кільці підшипника.

2. Процес механічної обробки полімерних покриттів.

3. Довговічність посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених полімерними покриттями.

Перелік графічного матеріалу (за потреби). Схема установки для нанесення покриттів з розчинів полімеру.

Дата видачі завдання “ 12 ” вересня 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Попик П.С.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Ходюк І.А.

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	11
1.1. Технології відновлення посадочних місць підшипників кочення полімерними матеріалами	11
1.2. Методи механічного нанесення полімерних покриттів при відновленні посадочних місць.....	20
1.3. Класифікація полімерних матеріалів за оброблюваністю різанням та способами механічної обробки	25
1.4. Висновки. Мета і завдання дослідження	29
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ.....	32
2.1. Модель утворення покриття шляхом занурення деталі в розчин еластомеру.....	32
2.1.1. Втрати рідини при обтіканні зовнішньої поверхні підшипника	33
2.2. Параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів	36
2.2.1. Обґрунтування параметрів ріжучого інструменту для обробки еластомерних покриттів.....	36
2.2.2. Вплив режимів механічної обробки на якість полімерного покриття.....	41
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
3.1. Загальна методологія дослідження.....	46
3.2. Методика дослідження усадження еластомеру.....	47
3.3. Методика дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру.....	49
3.4. Методика дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру.....	53
3.5. Методологія визначення впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття	56

3.6. Методика дослідження довговічності посадочних місць підшипників в корпусах деталей відновлених еластомером	56
---	----

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		59
4.1. Дослідження усадження еластомеру		59
4.2. Дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру		60
4.3. Дослідження процесу механічної обробки нанесених покриттів		62
4.3.1. Дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру		62
4.3.2. Дослідження впливу режимів різання на шорсткість покриття		64
4.4. Дослідження довговічності посадочних місць відновлених еластомером		68
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ.....		70
5.1. Технологічні рекомендації		70
5.2. Розрахунок економічної ефективності відновлення нерухомих з'єднань еластомером		71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ		78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....		79

ВСТУП

Конкуrentоздатність вітчизняної продукції на світовому ринку значною мірою визначається її ціною. Витрати на підтримку працездатного стану сільськогосподарської техніки відіграють значну роль у визначенні цін на продукцію.

На ринок надходить вітчизняна сільськогосподарська техніка, за винятком тракторів МТЗ та комбайнів «Ростсільмаш», які мають низькі техніко-експлуатаційні показники та недостатню надійність. Заводи випускають в основному застаріле обладнання, розроблене 30-40 років тому. Через це сільгоспвиробники змушені використовувати спрощені технології, продуктивність яких у 10-15 разів нижча, ніж у передових країнах світу. В результаті виникають невиправдано великі втрати продукції, які є серйозним негативним чинником слабких економічних показників галузі. Наприклад, щорічні втрати зерна становлять 5 мільйонів т, м'яса - понад 0,1 млн. т, молока - близько 0,7 млн. т. тощо

Відсутність конкурентоспроможних внутрішніх поставок низки найменувань техніки змушує сільгоспвиробників купувати імпорتنу техніку. Попит на нього зростає: у 2007 р. до 2006 р. імпорт тракторів зріс на 182 %, зернозбиральних комбайнів – на 160 шт., запасних частин – на 173 % [1].

Ринок сільськогосподарської техніки в Україні у 2017 р. становив тис. одиниць: по сільськогосподарських тракторах – 45,9 (імпорт – 28,5), у тому числі з Білорусі (Мінський тракторний завод) – 20,4, тільки вітчизняних – 6,5; для зернозбиральних комбайнів – 72,5, у тому числі вітчизняних – 4,5 (імпортних – 2,6).

Подібна ситуація склалася і у великовантажному автомобільному транспорті.

Імпортна автотракторна техніка відрізняється високою продуктивністю, функціональністю і надійністю, а також підвищеним комфортом. Однак після певного терміну експлуатації закономірно виникають поломки, і в цьому випадку власник техніки стикається з тим, що вартість запчастин і ремонту значно перевищує вітчизняні аналоги. Враховуючи те, що дороге імпортне обладнання закуповується переважно в лізинг, витрати на підтримання його в робочому стані значно погіршують фінансове становище власників.

Серйозні негативні наслідки може спричинити велика кількість закупленої техніки, наприклад, закуплено 150 моделей тракторів у 12 компаній-виробників. Це призводить до труднощів із забезпеченням запасними частинами та технічним обслуговуванням [1].

Відновлення зношених деталей дозволяє значно скоротити витрати на ремонт машин і устаткування і підвищити їх надійність. Досвід передових компаній показує, що відновлення зношених деталей за сучасними прогресивними технологіями дозволяє істотно скоротити простої машин і обладнання, збільшити міжремонтний ресурс і знизити вартість запасних частин. На світовому та вітчизняному рівнях накопичено значний позитивний досвід відновлення зношених деталей, відновного ремонту та модернізації старих тракторів та іншої техніки. Бізнес у цій сфері постійно розвивається і має великі перспективи в Україні.

Підпрограма «Техніко-технологічна модернізація, інноваційний розвиток» у рамках Державної програми розвитку сільського господарства та регулювання ринків сільськогосподарської продукції, сировини і продовольства на 2013 – 2020 роки спрямована на підвищення ефективності та конкурентоспроможності продукції сільськогосподарських товаровиробників. за рахунок техніко-технологічної модернізації виробництва [3].

Розробка нових методів ремонту та перспективних технологій відновлення з використанням сучасних конструкційних і функціональних матеріалів є важливою частиною модернізації ремонтного виробництва сільськогосподарських підприємств. Це створює умови для підвищення надійності сільськогосподарської техніки, зниження витрат матеріалів на технічне обслуговування та підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на зовнішньому та внутрішньому ринках збуту.

Вартість кузовних деталей істотно впливає на розмір витрат на ремонт автотракторної техніки. Основною причиною є їх висока ціна порівняно з іншими типовими деталями. Ці деталі є основними ресурсними деталями, які в основному визначають термін служби всього агрегату.

Знос кріпильних отворів під підшипники - найпоширеніший дефект кузовних деталей. При цьому порушується співвісність і паралельність валів, відбувається перекіс шестерень і вінців підшипників. У передачах, навантажених моментом 100 Нм, при збільшенні зміщення від 0,05 до 0,2 мм тиск у зоні

контакту зубів зростає в 1,35 рази (від 23 до 31 Н/мм²), що значно знижує залишковий ресурс коліс [4, 5]. Зазор посадки підшипника 0,02 мм, порівняно з посадкою з натягом, знижує термін служби підшипника на 40-50% [6].

Знос отворів для кріплення підшипників у корпусних деталях спричинений фреттинг-корозією [7, 11]. Кріпильні отвори під підшипники в корпусних деталях відновлюють встановленням додаткової деталі, дуговим зварюванням, електроконтактним зварюванням сталеві стрічки, залізненням, електромеханічним наплавленням, електроіскровою обробкою [13...36]. Однак наведені способи не гарантують стійкості відновлених посадочних отворів до фреттинг-зношування.

Методи ремонту з використанням полімерних матеріалів запобігають фреттинг-корозії на посадочних місцях підшипників і збільшують термін служби підшипникових вузлів у кілька разів [38...57]. Вартість ремонту посадочних отворів у деталях кузова герметиком 6F в 11,4 рази нижча порівняно з обробкою поверхонь і в 9,4 рази нижча з залізненням [38].

Завдяки наявності полімерного покриття збільшується деформація доріжки кочення підшипника в зоні його контакту з навантаженими тілами кочення. Це призводить до збільшення площі контакту і зменшення контактних напружень. В результаті довговічність підшипника 205 з покриттям ВК-50 становить 4,1, а ущільнення 6F в 5,43 раза вище розрахункового [41].

Розвиток вітчизняної хімічної промисловості супроводжується постійним випуском нових перспективних полімерних матеріалів різного призначення. Створено сприятливе середовище для розробки вискоєфективних рекупераційних технологій, які забезпечують продовження терміну служби корпусних деталей, надійність сільськогосподарської техніки та зниження витрат на технічне обслуговування.

Мета роботи: розробити технологію машинного нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру на підшипники кочення, що забезпечує підвищення точності та довговічності посадочних місць підшипників при відновленні корпусних деталей сільськогосподарської техніки методом розмірного ремонту.

Предмет дослідження: Полімерні покриття, гнізда підшипників у корпусній частині, відновлені еластомером.

Предмет дослідження: усадка полімерних покриттів із розчинів еластомерів різної в'язкості, залежно від розміру полімерних покриттів, параметрів занурення та режиму нанесення, сили різання та шорсткості геометрії. параметри фрези, точність полімерних покриттів в режимі різання, довговічність гнізда підшипників в деталях корпусу відновлені еластомером.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено нову технологію та технологічне обладнання для машинного нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру на підшипники кочення та подальшої механічної обробки, яке впроваджено в ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області. .

Публікації. За темою магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 3 тези доповідей, які доповідались на 77-й Всеукраїнській науково-практичній студентській конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: Конструювання та дизайн» (26-27 березня 2024 року) м. Київ, на VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., професора Крамарова Володимира Савовича (23-24 лютого 2024 р.), м. Київ.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1. Технології відновлення посадочних місць підшипників кочення полімерними матеріалами

Роботи Ачкасова К.А., Астаніна В.К., Батіщева А.Н., Бугаєва В.А., Голубєва І.Г., Єрохіна М.Н., Жачкіна С.Ю., Курчаткіна В.В., Казанцева С.П., Лі Р.І., Лялякіна В.П., Нагорнова С.А., Петрашева А.І., Пучіна Е.А., Черноіванова В.І. і багато інших вітчизняних вчених віддані розв'язанню наук задачі та проблеми технології ремонту та відновлення зношених деталей.

Вартість корпусів вузлів і агрегатів істотно впливає на суму витрат на ремонт автотракторної техніки. Основною причиною є їх висока ціна порівняно з іншими типовими деталями. У таблиці 1.1 наведені ціни на корпусні деталі та агрегати автомобіля КАМАЗ.

Таблиця 1.1.

Ціна кузовних деталей і агрегатів автомобіля КАМАЗ

нем ає	Найменування житлової частини (об'єкта)	Умовне позначення	Ціна, грн*	Ціна деталі в % від ціни за вузол
1	Корпус коробки передач. Коробка передач в зборі	1701010-154 1700025-152	21337 101000	22
2	Корпус роздавальної коробки. Роздавальна коробка в зборі	1802010-10-65111 1800020-4310	21765 60000	36,2
3	Блок циліндрів Двигун	1002012-21-74021 1000412 -740	95398 323167	29,5

*Прайс-лист ТОВ «Агрі-Інжиніринг».

Ціна КП в зборі 101 000 грн. Ціна корпусу КП становить 22% від його початкової вартості (21337 грн). Частка картера роздавальної коробки в ціноутворенні всієї роздавальної коробки ще вище - 36,2%. Вартість блоку циліндрів 95 398 грн, що становить 29,5% від ціни двигуна (323 167 грн).

Деталі корпусу є основними частинами і тому значною мірою визначають ресурси всього підрозділу.

Від 60 до 90% корпусних деталей бракуються і відправляються на реставрацію через знос опорних отворів. Фретинг-корозія є основною причиною зношування отвору сидла [7, 11, 15].

Проф. Котиним А. І.Н. з колегами досліджували технічний стан деталей коробки передач автомобіля ГАЗ-3307 [40]. Мікрометричним вимірюванням встановлено, що в досліджуваних корпусах редукторів у 83 % від усієї проби спостерігається збіжність осей отворів понад допустимі значення, а в 79 % - непаралельність (рис. 1.1).

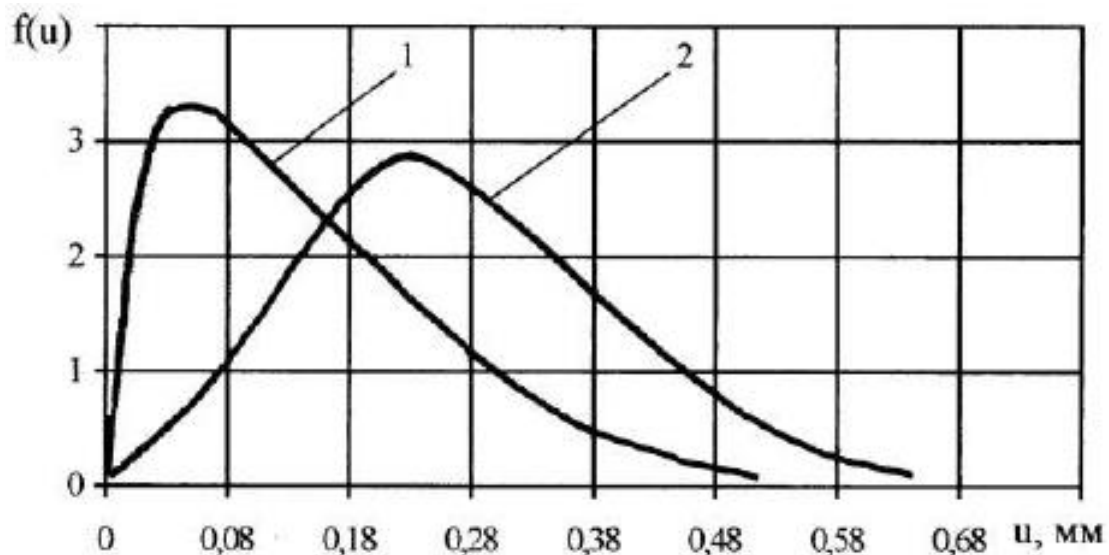


Рис. 1.1. Розподіл відхилень осей посадочних отворів картера під підшипники первинного і вторинного валів і блоку шестерень проміжного вала: 1 - непаралельність осей посадочних отворів картера; 2 - перекіс цих осей.

Дослідження показали, що знос отворів кріплення шестерень не перевищує 0,2 мм і до 40% досліджуваних отворів потребують ремонту (рис. 1.2).

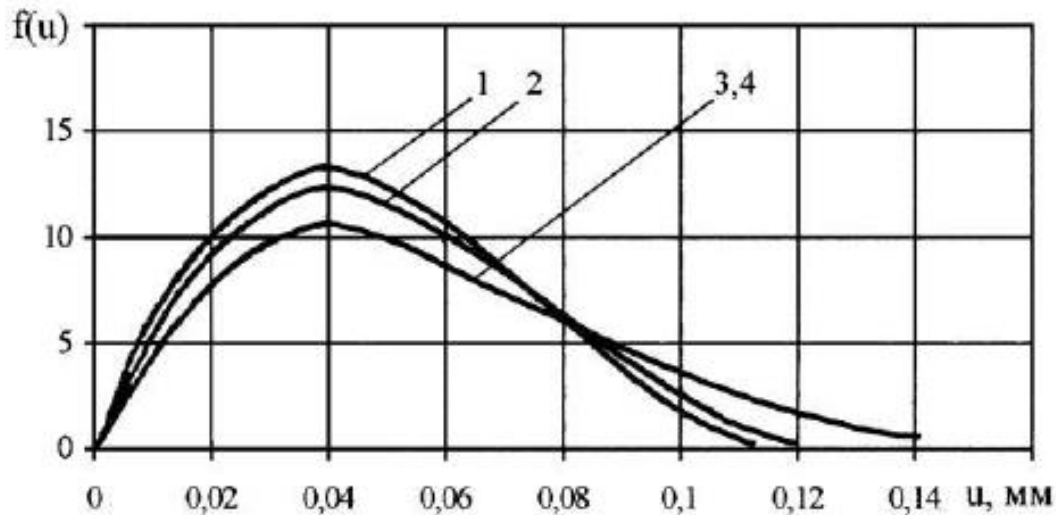


Рис. 1.2. Розподіл зносу отворів кріплення картера підшипників валів: 1 - задній первинний вал; 2 - передній вторинний вал; 3 - блок передньої шестерні проміжного вала; 4 - задня шестерня проміжного вала.

Дунаєвим А. В. дослідив залежність зносу підшипників від посадкового зазору та перекосу підшипників у картері коробки передач трактора 3 класу. [60]. Автором встановлено, що зазор підшипника 0,3 мм збільшує знос підшипника в 1,25-1,35 рази. При збільшенні зазору підшипника з 0,4 до 0,8 мм швидкість зносу зростає з 1,67 до 1,75 рази.

Шубін А.Г. встановив, що посадковий зазор підшипника 0,02 мм зменшує ресурс підшипника на 40-50% порівняно з посадкою на розтяг [6].

Посадкові отвори підшипників у корпусних деталях відновлюють установкою додаткової деталі, дуговим зварюванням, електроконтактним зварюванням сталеві стрічки, залізненням, електромеханічним наплавленням та електроіскровою обробкою [1, 12, 37]. Однак перераховані вище способи не гарантують стійкість відновлених посадочних отворів до фреттинг-зносу.

Методи відновлення з використанням полімерних матеріалів запобігають фреттинг-корозії на посадочних місцях підшипників і в рази збільшують термін служби підшипникових вузлів [48, 59].

Для відновлення посадочних місць підшипників в деталях кузова з полімерних матеріалів використовуються три способи [38, 41, 58]:

1 – нанесення полімерного композитного матеріалу на зношену поверхню отвору та формування отвору до номінального розміру;

2 - Кріплення зовнішнього кільця підшипника в зношеному отворі за допомогою клеїв;

3 – Нанесення покриття з розчинів еластомерів на зношену поверхню отвору без формування та запресовування підшипника в нього.

В ГОСНИТИ розробили технологію відновлення посадкових отворів у деталях кузова за допомогою епоксидних композицій, яка реалізує перший спосіб [66]. Технологія включає наступні операції: очищення поверхні посадкової ями, знежирення, приготування епоксидної композиції, нанесення композиції шаром 1...1,5 мм на підготовлену поверхню лунки, часткове затвердіння (до пластичного стану).), калібрування на заданий розмір і форму, остаточний склад затверджувача, видалення напливів, візуальний контроль якості покриття (рис. 1.3).

Для відновлення кріпильних отворів корпусних деталей епоксидні склади повинні мати не тільки високу адгезію до основи і достатню міцність, але і високі тиксотропні властивості, що запобігають стікання матеріалу по вертикальних стінках отвору. Для цього до складу вводять різні наповнювачі. Рекомендований склад композицій (в масових частках):

- смола епоксидна ЕД-16-100, порошок залізний - 120, портландцемент марки 500 - 60, олігоамід Л-19 - 35;

- смола епоксидна ЕД-1-100, дибутилфталат - 15, порошок заліза - 160, поліетиленполіамін - 11.

Зазначені засоби застосовуються для відновлення зношених отворів підшипників у корпусах водяних насосів, коробок передач, роздавальних коробок, у кришках ГРМ двигунів тощо.

Для калібрування отворів з полімерним покриттям використовують механічні або гідравлічні преси, вертикально-свердлильні та розточувальні верстати, штангенциркулі певних розмірів.

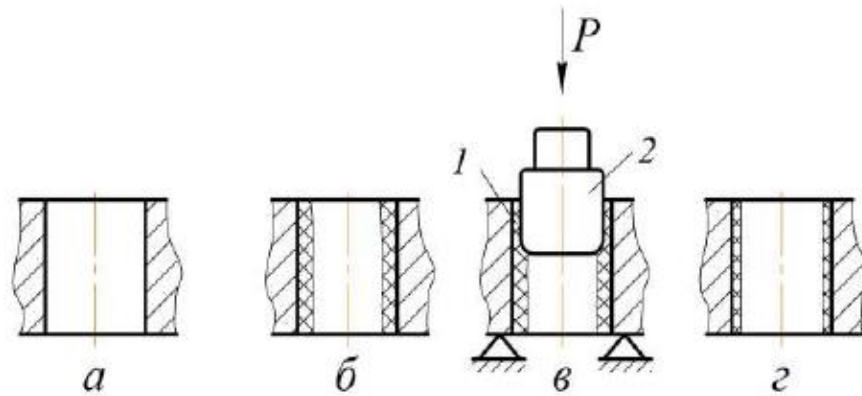


Рис. 1.3. Послідовність етапів відновлення шляхом калібрування корпусної деталі: а - підготовлений отвір для відновлення; б – отвір із частково затверділим епоксидним покриттям; в – калібрування закритого отвору; 1 – епоксидна композиція; 2 - калібр; г – покриття композицією епоксидної смоли після повного затвердіння.

Конструкція калібру наведена на рисунку 1.3, в. Калібр має заокруглену західну частину. Штангенциркуль виготовляється з урахуванням припуску на градування (допуск враховує усадку полімерного матеріалу), який повинен бути визначений дослідним шляхом для конкретних складів епоксидних композицій, розмірів ремонтних отворів і умов калібрування.

Робочі поверхні вимірювачів хромовані, шліфовані та поліровані. На їх поверхні висвердлюють одну або дві маслорозвідні канавки (малокаліберної висоти ці канавки не роблять). Щоб уникнути прилипання епоксидної композиції робочу поверхню калібру перед повіркою змащують тонким шаром масла АКЗп-6.

Переміщенням калібру вздовж осі отвору усуваються відхилення від правильної геометричної форми, отвір приймає остаточний розмір і ущільнюється шаром полімерного матеріалу.

Після калібрування відновлену деталь витримують 10 годин при кімнатній температурі або 2 години при 60°C , якщо для затвердіння використовувався поліетиленполіамін.

При використанні затверджувача гарячого затвердіння олігоамід Л-19 після калібрування деталь витримують при температурі 50°C 2 години, потім при 100°C 1 годину і при 150°C 1 годину.

Деталь охолоджується разом з нагрівальним шафою зі швидкістю 1 градус/хв.

Діаметр відновленого отвору вимірюється після повного охолодження деталі.

До недоліків методу можна віднести:

1. Вплив усадки на кінцевий розмір отвору в полімерному покритті, оскільки повне (остаточне) затвердіння полімерного покриття відбувається після його калібрування. Залежно від точності підбору наповнювачів при приготуванні полімерної композиції і в'язкості полімерного покриття на момент його калібрування, усадка може приймати різні значення, створюючи тим самим похибку в кінцевому розмірі отвору полімерного покриття. .

2. Необхідність використання наповнювачів, що забезпечують необхідні тиксотропні властивості.

У роботі Котіна А. В. [40] запропоновано спосіб відновлення посадочних отворів частин тіла методом розмірного калібрування. Для реалізації методу розроблено полімерний композиційний матеріал на основі анаеробного герметика АН-6Б: герметик Анатерм-6Б - 100 м.ч., тальк - 20 м.ч., бронзова пудра - 2 м.ч.

Зношений отвір полірується до металевого блиску і знежирюється. Потім на поверхню отвору наносять полімерний композиційний матеріал (ПКМ) і в стиснутому стані вводять оправку 3 з ковзними кільцями 4 (рис. 1.4).

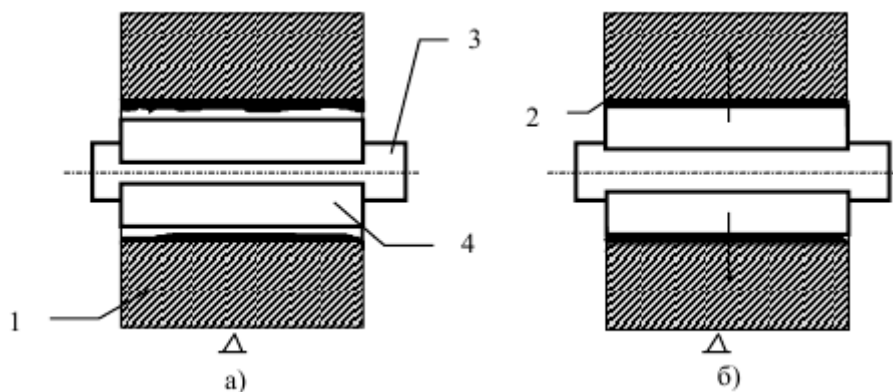


Рис. 1.4. Схема формування полімерної композиції на поверхні зношеного отвору корпусної деталі: а) оправка з кільцями в стислуому стані; б) калібрування полімерної композиції стисливими кільцями; 1 - корпус; 2 - шар полімеру; 3 - оправка; 4 - півкільця.

Для запобігання прилипання ПКМ до кілець ковзання їх перед формуванням покривають маслом АКЗп-6. Кільця, вставлені в отвір, стискаються до певного розміру, що забезпечує калібрування полімерного покриття. Після завершення процесу загартування ПКМ кільця приводять у стиснутий стан і оправку виймають з отвору.

Спосіб не усуває вплив усадки на кінцевий розмір отвору з полімерним покриттям. Під час роботи підшипникового вузла клейове з'єднання нагрівається до температури 70...90 °С, що додатково полімеризує полімерну матрицю, тобто полімеризація відбувається на більшу глибину. Тому змінюється розмір відновленого отвору.

В якості останніх для реставрації посадочних місць підшипників у кузовних деталях адгезивами використовують анаеробні герметики, акрилатні клеї та композиційні матеріали на їх основі [67...73].

Анаеробні герметики створені на основі полімеризаційних сполук акрилового ряду, як правило, диметилакрилатних ефірів поліалкіленгліколів, які мають високу швидкість перетворення в просторово зшиті полімери. Анаеробні герметики добре зчіплюються з чорними та кольоровими металами. Матеріали є реакційноздатними пластиками, тому вони мають високу стійкість до води, масел, палива, органічних розчинників, кислот, лугів та інших хімічних речовин. Після завершення полімеризації анаеробні герметики зберігають свої експлуатаційні властивості в діапазоні від -60 до +150 °С [74].

В нашій країні споживачам представлений широкий асортимент герметиків торгових марок «Анатерм» та «Унігерм». Іноземними постачальниками анаеробних герметиків в Україну є «ЛОСТАІТ» (Англія) та «THREE BOND» (Японія).

Серед вітчизняних анаеробних герметиків для санації суцільних опорних з'єднань найбільшою популярністю користуються герметики АН-6, АН-6Б, АН-6К, АН-103, УГ-7, УГ-8, УГ-11 [38, 41, 55, 68, 75].

Щетинін М.В. досліджував акриловий клей АН-105 (ТУ 2257-445-00208947-2005) виробництва ФГУП «НДІ полімерів» (м. Дергачі Харківської області). Клей відноситься до категорії високоміцних клеїв. Матеріал розфасовують у повітропроникні поліетиленові флакони масою 50; 100 або 200 гр. Термін служби

клею до 1 року. Двокомпонентний клей компонент А - червоний, компонент В - зелений. В'язкість матеріалу 2000...2500 МПа·с, міцність на розрив 30...35 МПа. Акриловий клей АН- 105 є універсальним і призначений для склеювання металу, скла, ламінованого скла, кераміки та пластмас [76]. За результатами досліджень розроблено технологію відновлення міцних з'єднань підшипників кочення [56].

Дослідженнями доведено високу адгезію матеріалу і ударостійкість клейових з'єднань. Під час склеювання компонент А наноситься на одну частину, а компонент В - на сполучену частину, після чого створюється міцне з'єднання.

Для відновлення посадочних місць підшипників в деталях кузова за допомогою клею потрібні центрувальні пристрої. На рис. 1.5 зображено центруючий пристрій для склеювання корпусу водяного насоса і підшипників 304, 305 [55, 77].

Однак при перевстановленні підшипників в вузлах трансмісії трактора виникає проблема забезпечення співвісності склеєних деталей. Закріпити вал з підшипниками і шестернями у вертикальному положенні досить складно, виникають питання при виборі технологічних баз і т. д. З цієї причини забезпечення співвісності осей посадочних отворів з осями підшипників в вузлів трансмісії є значною технологічною проблемою, яка гальмує розвиток відновлення посадок кузовних деталей за допомогою клеїв.

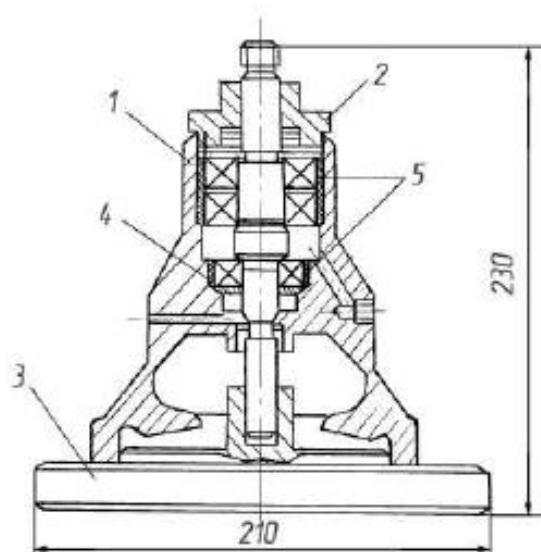


Рис. 1.5. Центруючий пристрій для склеювання корпусу водяного насоса двигуна ЗМЗ-53 з підшипниками на валу: 1 - корпус водяного насоса; 2 - кришка приладу; 3 - корпус приладу; 4, 5 - клей.

Третій спосіб відновлення посадочних місць підшипників реалізований в технології відновлення посадочних отворів деталей кузова за допомогою герметика 6F. Розчин еластомеру пошарово наносять пензликом у вигляді покриття на зношену поверхню монтажного отвору корпусної деталі. Після нанесення покриття проводять затвердіння при підвищеній температурі 150 °С і витримці 3 год [38].

Багаторічний практичний досвід ремонту техніки показав високу ефективність технології санації та герметика 6F.

Відновлення опорних отворів герметиком 6F забезпечує багаторазове збільшення терміну служби деталей кузова. До недоліків технології можна віднести відносно низьку точність розмірів відновлюваних отворів через усадку полімерного матеріалу при термообробці, ручний спосіб нанесення, що призводить до низької продуктивності процесу.

Герметик 6F являє собою продукт комбінації каучуку СКН-40 і смоли ФКУ на основі заміщеного фенолу зі структурою вінілацетилену. Еластомер продавався в рулонах. Перед застосуванням герметик розрізають на частини і розчиняють в ацетоні в пропорції 20 мас.ч. ацетон на 1 мас.ч. протягом дня регулярно збовтувати ємність з розчином. Покриття мають високу адгезію до чорних і кольорових металів, а також мають хімічну стійкість [48, 50, 51]. Випуск герметика 6F був припинений, і розробник випустив його аналог - лак Ф-40. Різниця в загальному стані. Лак Ф-40С випускається у вигляді готового до застосування розчину. Це значно спрощує використання матеріалу під час відновлення. Лак Ф-40 (ТУ 6-06-246-92) являє собою розчин суміші каучуку і модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [78]. Еластомер розливають у вигляді розчину в пластикові ємності різного об'єму. В даний час виробництво еластомеру Ф-40 припинено, а його модифікація Ф-40С випускається дослідними партіями.

Найбільш технологічним є спосіб відновлення посадкових отворів в деталях корпусу, який заснований на нанесенні полімерного покриття на зношену поверхню отворів. Однак існуючі технології передбачають ручне нанесення

матеріалу і не виключають усадки полімерного матеріалу при твердінні, що призводить до низької точності розмірів відновлюваних отворів.

Пропонується відновлювати гнізда підшипників у корпусних деталях методом розмірного ремонту [58]. Залежно від зносу посадочні отвори свердляться на три ремонтні розміри:

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

де $D_{\text{рем1}}$, $D_{\text{рем2}}$, $D_{\text{рем3}}$ – перший, другий і третій ремонтні розміри; $D_{\text{ном}}$ – номінальний діаметр отвору.

Оброблений отвір оснащений новим підшипником, на зовнішнє кільце якого нанесено полімерне покриття з розчину еластомеру Ф-40С відповідної товщини, що забезпечує нерухомість з'єднання. Так як в процесі експлуатації відреставрованої деталі корпусу зношується тільки полімерне покриття, отвір, виточений під ремонтний розмір, більше не зношується. Це істотно збільшує ресурс посадкових отворів, а значить і корпусних деталей.

Щоб виключити ефект усадки полімерного матеріалу при твердінні і забезпечити задані розміри полімерного покриття, рекомендується після нанесення на підшипник піддати покриття термічній обробці, а потім механічній обробці шляхом різання. . Необхідно проаналізувати існуючі способи машинного нанесення полімерних покриттів та обґрунтувати вибір способу покриття підшипника.

1.2. Методи механічного нанесення полімерних покриттів при відновленні посадочних місць

Покриття з полімеру наносяться на посадочні місця підшипників вручну кистю, центрифугуванням (частини корпусу), заливкою та зануренням, а також формують покриття за допомогою ракеля (вала).

Сидниною Т.І. розроблено технологію відновлення торцевих щитів електродвигунів герметиком 6Ф. Торцеві щити відновлені відцентровим литтям. Установка для нанесення покриттів методом відцентрового лиття, зображена на рис. 1.6.

Нанесення покриттів методом відцентрового лиття з розчинів еластомерів здійснюється на установці, що складається з токарно-гвинторізного верстата 1К62, торцевої плити 2 і ливарного пристрою 3. Лицьова плита кріпиться оправкою 1 в патроні машини (рис. 1.7).

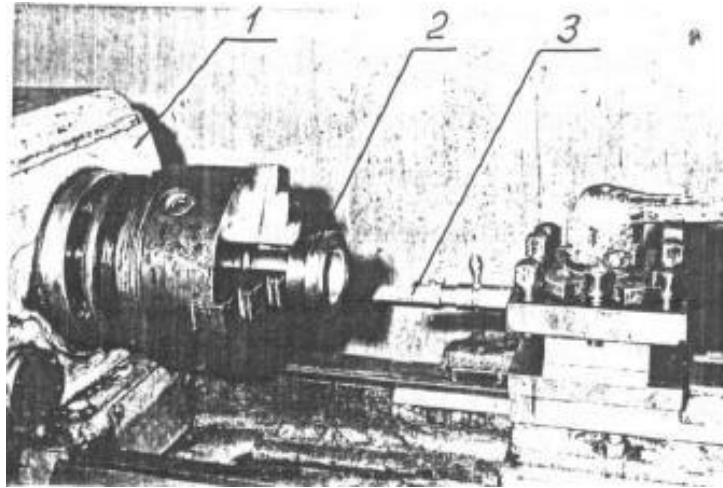


Рис. 1.6. Лабораторне обладнання для нанесення покриттів відцентровим литтям: 1 - токарно-гвинторізний верстат; 2 - передня панель; 3 - заправний пристрій.

Опорна пластина 6 встановлена на одній з центруючих планок щок 5 і притиснута гвинтом 2. Напірна кришка 4 запобігає розбризкуванню розчину при заливці.

Заливка розчину здійснюється за допомогою розливного пристрою, який кріпиться до фрезотримача токарного верстата за допомогою оправки 1 (рис. 1.8). На ролику 2 встановлений жолоб 3. Робочий об'єм жолоба можна змінювати переміщенням його відносно ролика 2 на ширину від b_{\min} до b_{\max} . Ширина жолоба встановлюється рівною ширині посадкового місця підшипника в щиті. За допомогою штангенциркуля у вал підшипникового щита вводять заливний пристрій з необхідною кількістю полімерного розчину. При заданій частоті обертання деталей 1400 хв^{-1} ролик 2 повертається на кут 180° . Після цього деталь обертають 5-10 хвилин, щоб розчин не витікав.

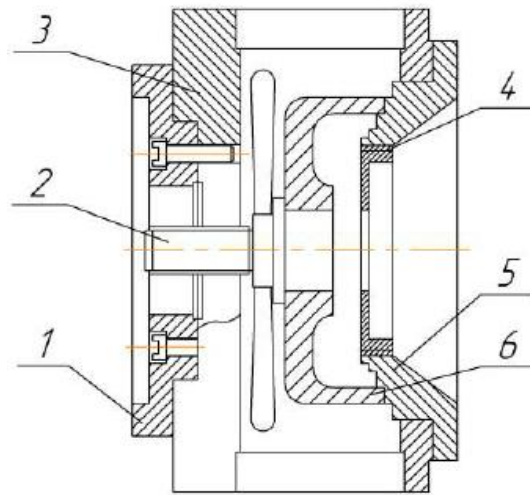


Рис. 1.7. Схема шайби: 1 - оправка; 2 - гвинт; 3 - корпус; 4 - кришка; 5 - щока; 6 - торцевий щит електродвигуна серії 4А.

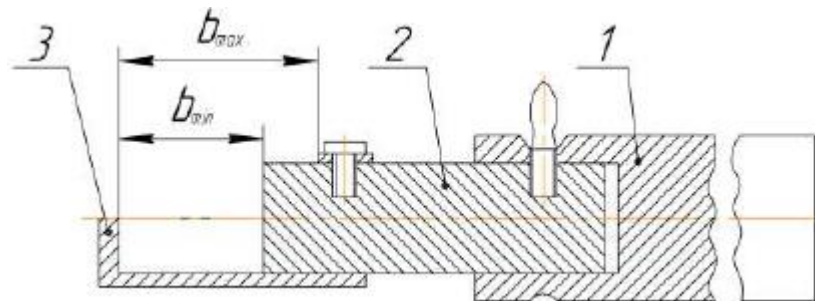


Рис. 1.8. Заправний пристрій: 1 - оправка; 2 - ролик; 3 - жолоб.

Вплив результуючої відцентрової сили створює гладке полімерне покриття рівномірної товщини. Після розбирання несучу пластину гартують у сушильній шафі при температурі $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 3 годин.

Метод відцентрового лиття добре зарекомендував себе при відновленні посадкових отворів в торцевих щитах електродвигунів. Однак застосувати його при відновленні посадкових отворів корпусів редукторів і роздавальних коробок непросто через складну конфігурацію деталей корпусу, а також розташування осей отворів.

Процес нанесення полімерного покриття на деталі типу «вал» наведено на рисунку 1.9. Дозовану кількість розчину полімеру подають із ємності 2 на обертову деталь 1. Для отримання покриття певної товщини на певній відстані від деталі встановлюють валик 3. Коли валик контактує з в'язким полімером покриття, виникає тертя кочення. В результаті поверхня покриття гладка і без задирок. Ролик 3 і частина 1 обертаються в протилежних напрямках. За

допомогою штангенциркуля і металевого щупа між деталлю і роликом встановлюють зазор 0,05 мм.

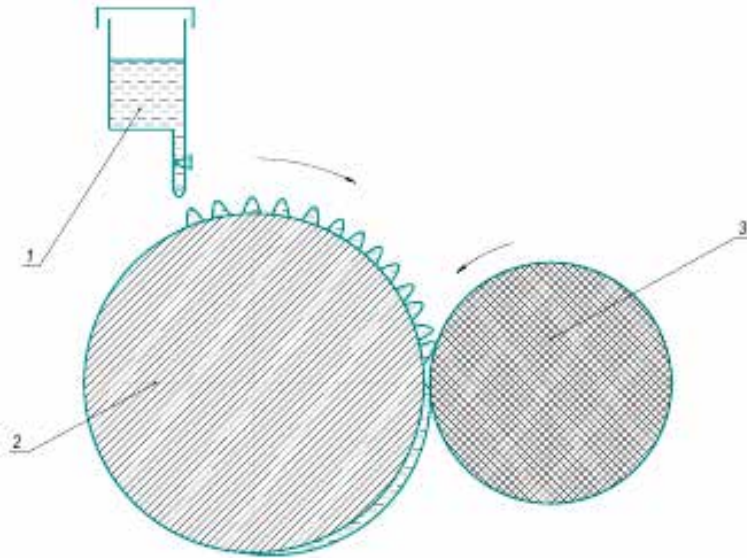


Рис. 1.9. Спосіб нанесення полімерного покриття на деталі типу «вал»: 1 - резервуар; 2 - деталь; 3 - фторопластовий ролик.

Однак застосування цього методу ускладнюється складністю забезпечення заданої точності при виготовленні фторопластового валика. Якщо в лабораторних умовах спосіб зарекомендував себе досить добре для нанесення покриття на одну деталь, то для умов промислового виробництва, де необхідно наносити покриття відразу на кілька деталей типу «хвиля», він виявився складним. Спотворення геометричних розмірів валика призводить до його биття і утворення різної товщини полімерного покриття.

Аязбаєвим М.Д. розроблено технологію відновлення посадочних місць підшипників на валах герметиком 6Ф [48]. Деталі типу «вал» відновлюються шляхом занурення та заливки ракеlem. Принципова схема установки для нанесення покриттів з полімерних розчинів зануренням і заливкою наведена на рисунку 1.10.

Нанесення покриттів методом занурення і заливки здійснюється на установці, що складається з ванни 7 для занурення і бака 6 для заливки деталі, електроприводу, обертання якого передається на деталь 5, гвинтового механізму 8 для регулювання положення. ванни 7 по висоті і механізмом регулювання товщини покриття. До складу останнього входять ракель 4, стержень 3, мікрометрична головка 1 і пружина 2. Ракель розташований нижче осі деталі

$(0,2...0,3) d_{\text{вал}}$. Зазор S між ракелем і інструментом регулюється мікрометричною головкою. При нанесенні покриттів зануренням деталь занурюють у розчин полімеру на глибину 2...3 мм. Після кількох обертів деталі навколо осі ванну 7 опускають так, щоб деталь не торкалася розчину. Щоб розчин не витікав, деталь обертають навколо осі протягом 5...8 хв.

При нанесенні покриттів, наприклад на шийку вала, її поверхню заливають розчином полімеру з ємності 6. Деталь робить кілька обертів навколо осі. Потім подачу розчину припиняють і деталь обертають 5-8 хвилин, щоб розчин не витікав.

Перед нанесенням покриттів зануренням і наливом з регулюванням їх товщини за допомогою ракеля 4 останній встановлюють на відстані S від поверхні деталі 5. При нанесенні покриттів ракель видаляє надлишки полімерного розчину, вирівнює покриття і забезпечує заданий діаметр деталі. Після цього ракель знімають і деталі повертають навколо осі протягом 5...8 хв.

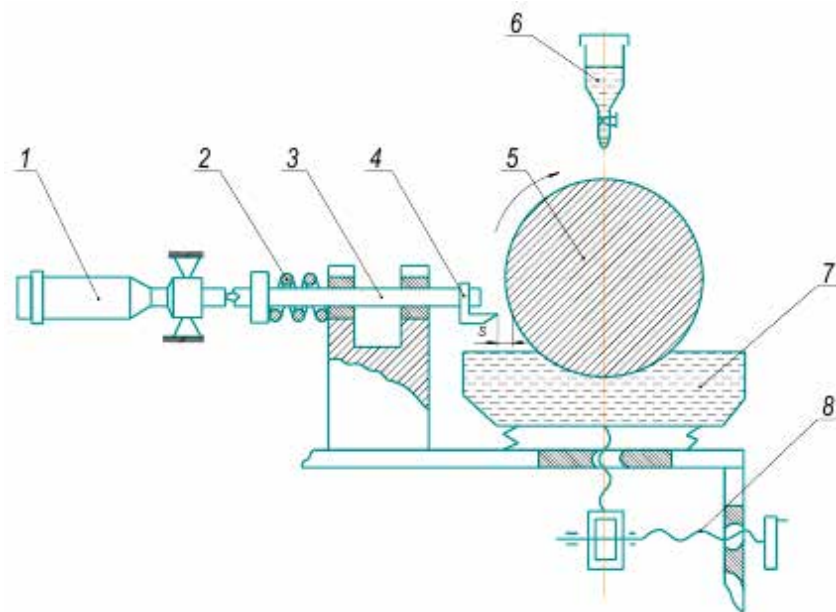


Рис. 1.10. Схема установки для нанесення покриттів із розчинів полімерів методом занурення та заливки: 1 - мікрометрична головка; 2 - пружина; 3 - стрижень; 4 - ракель; 5 - деталь; 6 - резервуар; 7 - ванна; 8 - гвинтовий механізм; S - зазор між ракелем і деталлю.

Якщо нанести п'ять шарів і висушити кожен, то можна отримати полімерне покриття товщиною до 0,26 мм.

Недоліком цього методу є те, що при формуванні покриття за допомогою ракеля на поверхні полімеру утворюються задирки, затверділий полімер прилипає до ріжучої кромки ракеля, і, таким чином, необхідна шорсткість і точність покриття не досягається. гарантований. Після термообробки герметика 6Ф розмір (товщина) покриття змінюється відповідно до усадки полімерного матеріалу. Усадка залежить від в'язкості розчину полімеру, геометричних розмірів деталі та умов затвердіння і її важко визначити математично.

Найбільш прийнятним з розглянутих методів є останній спосіб. Враховуючи усунення недоліків описаного раніше способу, пропонується нанесення покриття шляхом занурення підшипника у ванну з розчином полімерного матеріалу. Завдяки обертанню підшипника і текучості полімерного розчину під дією сили тяжіння покриття повинно формуватися рівномірно. Необхідно розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника обертання.

1.3. Класифікація полімерних матеріалів за оброблюваністю різанням та способами механічної обробки

Плаستيки - це неметалічні матеріали, до складу яких входять синтетичні високомолекулярні смоли з добавками наповнювачів, пластифікаторів, барвників та інших речовин, які надають пластмасам певних споживчих властивостей. За поведінкою під дією температури пластмаси поділяються на два види: термопласти та реактивні пластмаси. Термопласти, що перебувають у твердому стані при кімнатній температурі, при нагріванні вище 70...100° С без хімічних перетворень переходять у пластичний стан і знову тверднуть при охолодженні. Реакторні пластмаси при нагріванні не розм'якшуються і не змінюють своїх властивостей. При нагріванні вище критичної для цього матеріалу температури вони починають карбонізуватися, горіти або іншим чином руйнуватися [85].

Перевагами пластиків є: достатня міцність, високі теплоізоляційні властивості, шумопоглинаючі та амортизаційні властивості, стійкість до корозії, можливість фарбування в різні кольори.

Пластмаси мають ряд недоліків: порівняно низьку термостійкість, повзучість, старіння під впливом температури, світла і вологості, анізотропні

властивості. Працездатність пластикових деталей зберігається в діапазоні температур від - 60 до + 200 ° С. Спеціальні види пластмас зберігають свої працездатність до температури +350 ° С. Пластмаси мають більшу, ніж метали, здатність до повзучості. Старіння пластмас під впливом зовнішніх факторів характеризується інтенсивністю, внаслідок чого вихідні якості знижуються на 15-30%.

Подураєв В.Н. сформулював властивості пластмас при різанні [86]:

1) тенденція до сколювання під час точіння, що призводить до сколювання обробленої поверхні на вході та виході з інструменту, шорсткість збільшується. Щоб уникнути цього, ріжучий клин інструменту повинен мати великі передній і задній кути. Підвищений знос ріжучого інструменту призведе до збільшення шорсткості обробленої поверхні;

2) анізотропія пластичних властивостей і підвищені абразивні властивості деяких пластмас призводять до сильного зносу і перешкоджають отриманню обробленої поверхні з малою шорсткістю. Наприклад, знос різця при точінні склопластику перевищує знос при обробці сталей 30, 50 і чавуну;

3) низька теплопровідність пластмас є причиною зниження тепловіддачі від зони різання, що призводить до сильного нагрівання ріжучого інструменту, розплавлення, утворення задирок і руйнування обробленої поверхні. При механічній обробці реактивних пластмас утворюється багато пилу, що вимагає використання спеціальних відсмоктувальних пристроїв.

4) використання охолоджувальної рідини часто неможливе через гігроскопічність деяких пластмас або через утворення пасти з пилу та охолоджувальної рідини, яка потрапляє на інструмент і ускладнює обробку, або прилипає до поверхні деталей машини та спричиняє їх наступна корозія.

Стиснене повітря найчастіше використовується для охолодження при переробці пластмас;

5) пружна деформація пластмасових деталей при обробці, підвищений коефіцієнт лінійного розширення пластмас, сильний знос фрез ускладнюють досягнення розмірів деталей високої точності.

Обробка полімерів різанням оцінюється залежно від того, легше чи важче їх різати. Для кількісної оцінки оброблюваності полімерів найчастіше

використовується критерій оцінки швидкості різання - відносний коефіцієнт обробки K_v . Вона визначається як відношення швидкості різання V обробленого матеріалу до швидкості різання V_{et} матеріалу, який використовується як стандарт, за однакових періодів стабільності та інших ідентичних умов: $K_v = V/V_{et}$. В якості еталона вибирається ретельно досліджений матеріал, властивості якого найбільш схожі з обробленим.

Полімерний матеріал відноситься до категорії важко оброблюваних при значеннях коефіцієнта відносної оброблюваності $K_v < 1$ і до категорії легко оброблюваних при значеннях $K_v > 1$.

Штучний Б.П. класифікував пластмаси на шість груп за оброблюваністю різанням [85]. До першої групи оброблюваності відносяться термопласти без наповнювача, які мають відносно однорідні властивості і легко піддаються токарній обробці. При точінні таких матеріалів утворюється суцільна стружка і досягається низька шорсткість обробленої поверхні.

До другої групи відносяться термопласти (полістирол, фторопласт) з металевим порошковим наповнювачем. Такі матеріали відносно легко піддаються токарній обробці, але через наявність металевих порошоків існують особливості процесу обробки та призначення ріжучого інструменту.

Третя група включає реактивні пластики категорій пінопласт і пінопласт. Ці матеріали мають високу пористість, є найлегшими і не піддаються обробці стандартними ріжучими інструментами.

При обробці використовуються інструменти спеціальної конструкції, що мають великі передні кути і малі кути заточування; використання теплоносія виключено.

До четвертої групи належать реактивні пластмаси з порошковим наповнювачем типу деревної муки, які мають сильну абразивну дію на ріжучий клин інструменту. При різанні утворюється дрібний, дуже дрібний скол, є схильність до відколів країв оброблених поверхонь.

До п'ятої групи технологічності відносяться реактивні пластмаси з волокнистими наповнювачами, наприклад скловолокно АГ-4Б. Через наявність волокнистих наповнювачів такі матеріали важко піддаються обробці і мають високу абразивну дію на ріжучий інструмент.

Шоста група включає реактивні пластмаси з листовим і шаровим наповнювачем. Матеріали відрізняються анізотропними властивостями і поділяються на дві підгрупи. Відносно легко обробляються текстоліти і гетинакси, які не містять абразивних компонентів. Склотекстоліти, органо- і боропластики мають високі абразивні властивості і найгірше піддаються обробці з усіх видів пластмас.

Обробка пластмас різними видами механічної обробки дозволяє досягти необхідної точності розмірів і шорсткості поверхні деталей. Максимальна точність розмірів (від 6 до 8 квалітету) і мінімальна шорсткість обробленої поверхні ($R_a = 0,16 \dots 1,25$ мкм) досягаються шліфуванням, тонким точінням, свердлінням і токарною обробкою. Свердління та фрезерування призводить до підвищення шорсткості та зниження точності розмірів оброблених поверхонь.

В якості можливих методів обробки полімерних покриттів Ф-40С розглядаємо шліфування і точіння з їх перевагами і недоліками.

Подрібнення пластмас забезпечує: високу формостійкість (якість 6...8); мала шорсткість обробленої поверхні ($R_a = 0,16 \dots 0,63$ мкм); видалення задирок, ліній, смуг; надання обробленої поверхні прозорості та блиску тощо.

З усіх видів абразивної обробки пластмас для полімерних покриттів Ф-40С найбільше підходять циліндричне шліфування і безцентрове шліфування.

Для циліндричного шліфування пластмасових заготовок застосовують шліфувальні круги діаметром від 200 до 500 мм. Чорні або зелені круги з карбїду кремнію використовуються для шліфування термопластів і ненаповнених реактивних пластмас. Кола з звичайного білого електрокорунду використовуються для обробки пластмас з порошковим наповнювачем. Пластмаси шостої групи оброблюваності, що мають високі абразивні властивості, обробляють кругами з природних і синтетичних алмазів.

Завдяки низькій термостійкості пластмас вони активно прилипають до зерен і до з'єднання шліфувального круга. Це призводить до сильного відкладення солі на кругу і, як наслідок, до опіків поверхні різку, що неприпустимо.

Безцентрове шліфування використовується для обробки реактивних пластмас. Процес здійснюється на безцентрово-шліфувальних верстатах для обробки металу. Щоб виключити сильне закупування пір кола, їх активно

охолоджують емульсією. При безцентровому шліфуванні гетинакс, текстоліт, склотекстоліт забезпечують низьку шорсткість поверхні і високу точність розмірів, однак через використання охолоджуючої рідини після шліфування деталей необхідно просушити стисненим повітрям. Це необхідно тому, що не висихаючи, матеріал деталі активно вбирає охолоджуючу рідину і змінює свій розмір (розбухає).

Тому шліфування полімерних матеріалів має суттєвий недолік: засолювання шліфувального круга і, таким чином, необхідність використання охолоджуючої рідини в процесі обробки.

Останнє негативно позначається на прецизійних властивостях полімерного покриття та його довговічності через гігроскопічність полімерних матеріалів.

Як зазначалося вище, тонке точіння пластмас забезпечує марку 6...8 і малу шорсткість обробленої поверхні в діапазоні $Ra = 0,16...0,63$ мкм. Враховуючи те, що глибина різання полімерного покриття Ф-40С становить $t = 0,1...0,3$ мм, для таких покриттів цілком підходить тонке точіння. Таким чином, еластомер Ф-40С відноситься до полімерних матеріалів першої групи оброблюваності, слід розраховувати на отримання безперервно текучої стружки, високу стабільність розмірів і малу шорсткість обробленої поверхні. Особливо варто підкреслити, що, як і при шліфуванні, охолоджуюча рідина не потрібна, що негативно позначається на прецизійних властивостях полімерного покриття і його довговічності.

Для обґрунтування параметрів механічної обробки різанням (чистого точіння) полімерних покриттів з еластомерів та розробки технологічних рекомендацій необхідні теоретичні та експериментальні дослідження.

1.4. Висновки. Мета і завдання дослідження

Вартість основних деталей істотно впливає на кількість матеріальних ресурсів, що витрачаються на ремонт автотракторної техніки. Основною причиною є їх висока ціна порівняно з іншими типовими деталями. Деталі корпусу є основними частинами і тому значною мірою визначають ресурси всього підрозділу. 60-90% корпусних деталей вибраковують через знос отворів кріплення підшипників і відправляють на реставрацію [62].

Фретинг-корозія є основною причиною зносу посадкових отворів [7, 11, 12, 15].

Аналіз літературних джерел показав, що методи відновлення з використанням полімерних матеріалів запобігають фретинг-корозії на посадочних місцях підшипників і збільшують термін служби підшипникових вузлів у кілька разів [38, 41, 68, 75].

Найбільш технологічним є спосіб відновлення посадкових отворів в деталях корпусу, який заснований на нанесенні полімерного покриття на зношену поверхню отворів. Однак існуючі технології передбачають ручне нанесення полімерного покриття і не виключають усадки полімерного матеріалу при твердінні, що призводить до низької точності розмірів відновлюваних отворів.

Пропонується відновлювати гнізда підшипників у корпусних деталях методом розмірного ремонту [58]. Залежно від ступеня зносу отвори для кріплення свердяться на три ремонтних розміри. У оброблений отвір встановлюється новий підшипник, на зовнішнє кільце якого наноситься полімерне покриття з розчину еластомеру Ф-40С відповідної товщини, що забезпечує нерухомість з'єднання.

Для реалізації методу ремонтних розмірів запропоновано спосіб нанесення на підшипники кочення полімерних покриттів певного ремонтного розміру [58, 87, 92]. Покриття наноситься шляхом занурення підшипника у ванну з розчином полімерного матеріалу. За рахунок обертання підшипника і течії полімерного розчину під дією сили тяжіння покриття повинно формуватися рівномірно. Необхідно розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника обертання.

Перспективним напрямком розвитку науки про використання полімерних матеріалів у ремонті сільськогосподарської техніки є дослідження з використанням моделювання. Потрібні теоретичні дослідження для вибору та обґрунтування критерію подібності для моделювання процесів формування полімерного покриття при зануренні розчину полімеру в підшипник, що призведе до суттєвого скорочення обсягу досліджень та зменшення матеріальних витрат.

Для запобігання ефекту усадки полімерного матеріалу під час твердіння та забезпечення заданих розмірів полімерного покриття після нанесення на

підшипник його термічно обробляють, а потім піддають механічній обробці різанням [58]. На відміну від металів, полімерні матеріали мають особливі специфічні властивості: низьку теплопровідність, високу еластичність, гігроскопічність та ін. Тому механічна обробка полімерних матеріалів має особливості, які необхідно враховувати для отримання якісної обробленої поверхні. Потрібні теоретичні та експериментальні дослідження, які дозволять обґрунтувати параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів з еластомерів та розробити технологічні рекомендації.

Необхідно на основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити технологію покриття підшипників кочення розчином еластомеру Ф-40С і подальшої їх механічної обробки.

Метою магістерської роботи є розробка технології машинного нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру на підшипники кочення, що забезпечує підвищення точності та довговічності посадочних місць підшипників при відновленні корпусних частин сільськогосподарської техніки методом ремонту. розміри.

На основі проведеного аналізу в магістерській роботі були сформульовані наступні завдання дослідження:

- розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника обертання;
- дослідження процесу механічної обробки полімерних покриттів з розчину еластомеру;
- дослідження довговічності посадочних місць підшипників в деталях кузова, відновлених еластомером Ф-40С.
- розробка технології відновлення посадкових отворів деталей корпусу еластомером та оцінка його техніко-економічної ефективності.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Модель утворення покриття шляхом занурення деталі в розчин еластомеру

Основні етапи формування полімерного покриття зовнішньої поверхні підшипника кочення схематично представлено на рисунку 2.1.

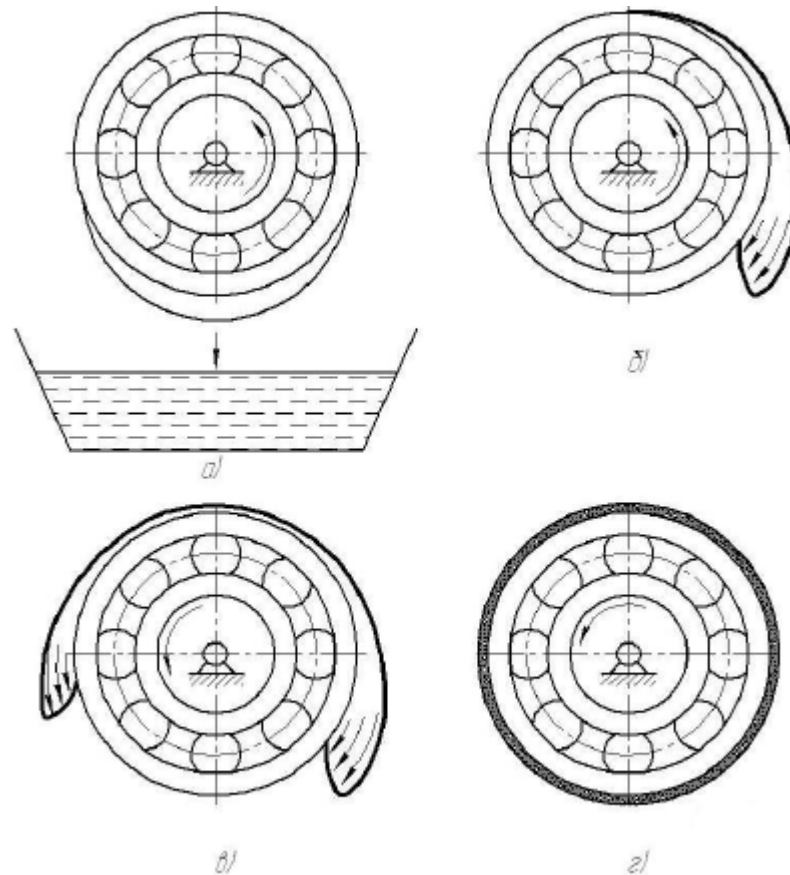


Рис. 2.1. Розподіл шару рідкого полімеру на поверхні зовнішнього кільця під час обертання підшипника

Спочатку підшипник занурюють на кілька мм у ванну з полімерним розчином. Підшипник повертають на три-чотири оберти, потім ванну опускають (рисунок 2.1 а). Внаслідок контакту на зовнішньому кільці підшипника утворюється шар рідини (розчину полімерного матеріалу) певної товщини [92].

Під дією сили тяжіння в нижній частині підшипника утворюється скупчення рідини. Обертання викликає перерозподіл по поверхні з четвертого в перший квадрант (рис. 2.1 б), потім у другий і потім у третій квадрант (рис. 2.1 в). При

оптимальній швидкості після кількох обертів на зовнішньому кільці утворюється відносно рівномірне товсте покриття.

Виходячи з геометричних розмірів підшипника та реологічних властивостей розчину полімерного матеріалу, визначимо гідравлічні властивості трубопроводу прямокутного перерізу, по якому тече рідина, утворюючи шар рівномірної товщини.

2.1.1. Втрати рідини при обтіканні зовнішньої поверхні підшипника

Розглянемо розміщення підшипника відносно опорної поверхні (рисунок 2.2). Підшипник закріплений інструментом у патроні токарного верстата. Вісь підшипника збігається з віссю шпинделя. Відстань від верхньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини відліку є геометричним тиском Z_1 на ділянці 1-1. Відстань від нижньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини відліку є геометричним тиском Z_2 на ділянці 2-2.

Уявімо поверхню зовнішнього кільця підшипника, через яку проходить потік рідини, у вигляді труби з прямокутним перерізом і малим радіусом кривизни по довжині (рисунок 2.3).

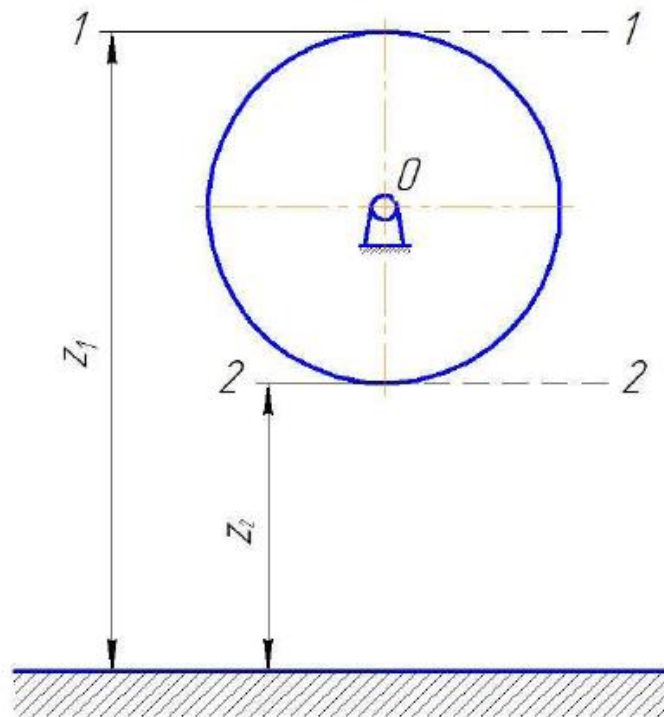


Рис. 2.2. Розміщення підшипника відносно площини порівняння

Z_1 - відстань від верхньої точки поверхні зовнішнього кільця до опорної поверхні (геометричний тиск на ділянці 1-1); Z_2 - відстань від нижньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини відліку (геометричний тиск в перетині 2-2)

Напишемо рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2}{2g} + h_{w1-2}, \quad (2.1)$$

де Z_1, Z_2 - геометричний тиск в перерізах 1-1 і 2-2;

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$ - п'єзометричний тиск в секціях 1-1 і 2-2;

$\frac{\alpha_1 \vartheta_1}{2g}, \frac{\alpha_2 \vartheta_2}{2g}$ - Швидкісний друк в секціях 1-1 і 2-2;

h_{w1-2} - загальні втрати тиску;

P_1, P_2 - тиск в положеннях 1-1 і 2-2;

α_1, α_2 - коефіцієнти кінетичної енергії з урахуванням фактичної витрати на ділянках 1-1 і 2-2;

ϑ_1, ϑ_2 - середня швидкість течії на ділянках 1-1 і 2-2;

γ - питома вага рідини;

g - прискорення вільного падіння.

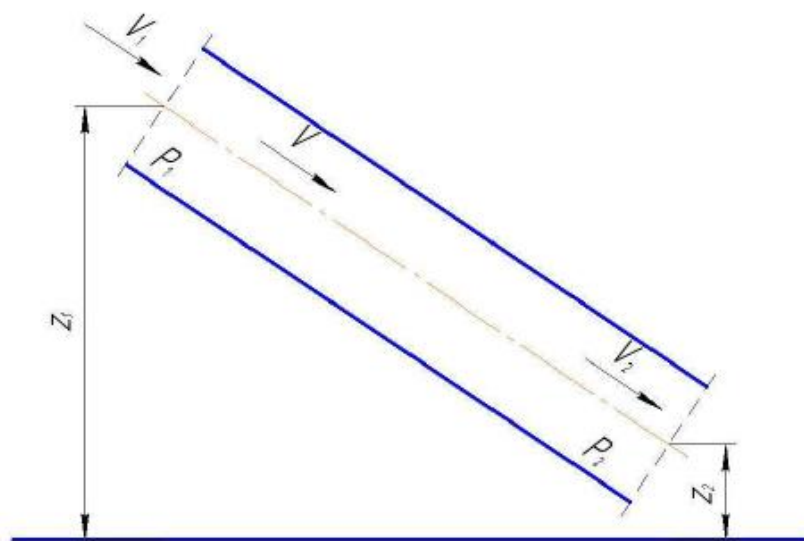


Рис. 2.3. Трубопровід прямокутного перетину з невеликим вигином по довжині

Z_1, Z_2 - геометричний тиск в перерізах 1-1 і 2-2; P_1, P_2 - тиск в секціях 1-1 і 2-2; ϑ_1, ϑ_2 - середня швидкість течії на ділянках 1-1 і 2-2

Рідина рухається вздовж шару (зовнішньої поверхні підшипника) під дією сили тяжіння, так що виконується умова

$$P_1 = P_2 = P_{\text{атм}}, \quad (2.2)$$

де $P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск.

Напишемо рівняння безперервності потоку рідини

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{W_2}{W_1}, \quad (2.3)$$

де W_1, W_2 - перетин потоку на ділянках 1-1 і 2-2.

Припускаючи однакову товщину шару, має місце рівність

$$h_1 = h_2 = \dots h_n,$$

де $h_1, h_2, \dots h_n$ - товщина полімерного покриття в ділянках 1-1, 2-2, ... nn.

Застосовується рівняння $W_1 = W_2$.

Тоді згідно з виразом (2.3) отримуємо рівність

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 \quad (2.4)$$

З урахуванням рівнянь (2.2) і (2.4) формула (2.1) набуває вигляду

$$Z_1 - Z_2 = h_{w1-2} \quad (2.5)$$

Як видно з формули (2.5), сумарні втрати напору дорівнюють різниці геометричних напорів Z_1 і Z_2 .

Визначимо перепад тиску P_f (втрата тиску на тертя – різниця тиску, необхідна для подолання опору тертя при русі рідини від ділянки 1-1 до ділянки 2-2)

$$P_f = h_{w1-2} \rho g, \quad (2.6)$$

де ρ – густина еластомера.

Однак дуже високі значення слід присвоювати швидкості каналу, тобто частоті обертання підшипника, тобто при частоті обертання $n \geq 20 \text{ хв}^{-1}$ розчин полімерного матеріалу витікає з поверхні підшипника під дією відцентрової сили [38].

Частоту обертання підшипника слід визначати за формулою

$$n = \frac{u}{\pi D_n} = M_n \frac{P_f y^2}{2\pi\mu l D_n \left(1 - \frac{y}{a}\right)}, \quad (2,7)$$

де D_n - діаметр деталі, м;

M_n - поправочний коефіцієнт частоти обертання підшипника.

u - лінійна швидкість потоку, м/с;

P_f - перепад тиску, Па;

μ - динамічний коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с;

l - відстань між секціями 1-1 і 2-2;

$\frac{y}{a}$ - відношення висоти розміщення до висоти потоку;

a - нормаль до поверхні потоку, м.

2.2. Параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів

2.2.1. Обґрунтування параметрів ріжучого інструменту для обробки еластомерних покриттів

При обточуванні пластичних мас різальний клин інструменту сприймає зусилля, що діють на передні поверхні N і F і задні поверхні N_1 і F_1 (рисунок 2.4). Сили N і F активно впливають на процес стружкоутворення. Сили N_1 і F_1 не беруть участі в процесі утворення стружки і є результатом пружної реакції обробленого матеріалу. Зусилля, що сприймаються передньою і задньою поверхнями ріжучого клина інструменту, групуються в три складові: P_z , P_y і P_x .

Зусилля P_z є основною складовою, оскільки вона використовується для розрахунку рушійної сили металообробного верстата, міцності різальних інструментів тощо. Сила P_y є радіальною складовою сили, яка використовується для розрахунку пружних деформацій заготовок. P_x - осьова складова сили, яка використовується для розрахунку механізму подачі.

Значення сил різання P_z , P_y , P_x визначаються динамометрами в рамках експериментальних досліджень, на підставі яких виникають такі аналітичні залежності [58]

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}}; P_y = C_{P_y} \cdot t^{x_{P_y}} \cdot S^{y_{P_y}}; P_x = C_{P_x} \cdot t^{x_{P_x}} \cdot S^{y_{P_x}}.$$

де C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} - постійні коефіцієнти;

$xP_z, yP_y \dots yP_x$ - ступеневі показники.

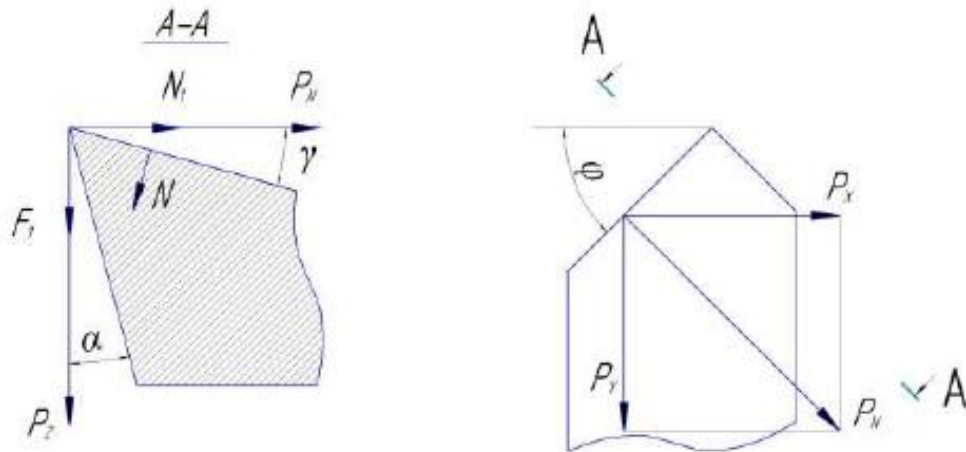


Рис. 2.4. Діючі сили на ріжучий клин інструменту

Внаслідок низької твердості пластмас сили різання при їх обробці змінюються незначно. Наприклад, сила P_z при обертанні термопластів приймає значення від 2 до 50 Н, а при обробці реактивних пластмас - від 5 до 250 Н.

Ще однією особливістю є те, що при формуванні сил P_z, P_y, P_x особливе значення мають сили, що діють на тильні поверхні ріжучого клина інструменту. За даними Стучного Б.П., при точінні склотекстоліту СТ сили, що діють на тильні поверхні ріжучого клина інструмента, становлять 70-95% від значень сил P_z, P_u, P_x . Внаслідок малих значень сил, що діють на передні поверхні інструментів, сила P_z при повороті лише на 10...20 % перевищує силу P_y .

Геометричні параметри фрези значною мірою визначають значення сил P_z, P_u, P_x . Передній кут має величезне значення.

Збільшенням від -20 до $+40^\circ$ можна досягти зменшення сили різання в 2-4 рази. Відомо, що кожен матеріал за певних умов обробки має таке значення переднього кута, при якому радіальна складова сили $P_y = 0$. Цей кут називається критичним переднім кутом. Пластичне точіння з критичним переднім кутом забезпечує кращі показники точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Критичний кут - це оптимальний передній кут ріжучого інструменту, оскільки напрямок сумарної сили різання при цьому куті збігається з напрямком різання. З цієї причини деформація обробленого матеріалу мінімальна.

Слід враховувати, що при обробці матеріалу зі зміною подачі і глибини різання величина критичного переднього кута змінюється в межах від $+40$ до $+5^\circ$.

Передня частина різців повинна бути відполірована. Не рекомендується використовувати фаски та скоси, оскільки вони призводять до утворення хвилястої стружки. Для точіння пластикових смол рекомендується передній кут γ від 0 до 10° . Ненаповнені термопласти з однорідною структурою (органічне скло, вініпласт) обробляють різцем з переднім кутом $\gamma = 10...20^\circ$.

Передній кут фрез не можна встановлювати $\gamma > 20^\circ$ і $\gamma < -5^\circ$, оскільки при точінні на поверхні зламу утворюється скол і шорсткість обробленої поверхні значно збільшується.

Величина заднього кута α має істотний вплив на стабільність різців. Зі збільшенням розміру вплив пружно відновленого матеріалу на задню частину різця після його проходження зменшується, відповідно зменшуються сили різання. Проте зі збільшенням кута спинки α тепловідвідна здатність ріжучого клина зменшується, тому оптимальні значення кута спинки при обробці пластмас обмежені діапазоном $15...25^\circ$ [65].

При значеннях головного кута менше 30° зростають радіальні сили P_y , що призводить до появи вібрацій і деформацій форми обробленої заготовки. Головний кут в плані забезпечує досягнення якісної шорсткості обробленої поверхні при значеннях $\phi = 30...60^\circ$.

При збільшенні у плані кута ϕ_1 від 10 до 25° , шорсткість поверхні збільшується в 1,2...1,4 рази, тому допоміжний кут у плані ϕ_1 призначають у межах від 12 до 15° .

Шорсткість поверхні зменшується зі збільшенням радіуса на кінчику фрези r .

При виготовленні різців використовуються інструментальні матеріали: швидкорізальна сталь, тверді металокерамічні сплави та алмази. Для точіння заготовок із пластмас першої групи оброблюваності використовують різці з швидкорізальної сталі за ГОСТ 10265-73, в умовах серійного і масового виробництва - різці з пластинами з твердих сплавів ВК-6, ВК-8 з конструктивні параметри по ГОСТ 21407-75, ГОСТ 21412 -75 і фрези алмазні по ГОСТ 13288-76, ГОСТ 13295-76. При точінні заготовок із пластмас другої групи оброблюваності використовують різці з пластинами з твердих сплавів Т14К4, Т-15К6, ВК-8 і алмазні різці [11].

Експерименти показали, що зносостійкість різців групи ВК у шість разів вища, ніж різців групи ТК, оскільки перші мають в 1,6...2,6 рази більшу теплопровідність [76]. Тому при обробці ненаповнених полімерних матеріалів краще використовувати фрези групи ВК, враховуючи їх низьку теплопровідність.

На вибір оптимальних геометричних параметрів ріжучого інструменту впливають специфічні властивості пластмас, що переробляються: анізотропія властивостей і нестабільність властивостей пластмас навіть у межах однієї марки (табл. 2.1).

Основним фактором, що впливає на вибір переднього кута, є твердість матеріалу, що обробляється. При точінні термопластів першої та другої груп оброблюваності фрезам призначають максимальні значення переднього кута $\gamma = 10...20^\circ$ [55]. При обробці пластмас четвертої ... шостої груп оброблюваності значення передніх кутів зменшують до $\gamma = 0...10^\circ$. Еластомер відноситься до полімерних матеріалів першої групи оброблюваності. Очікується безперервне відведення стружки, висока точність розмірів і низька шорсткість обробленої поверхні. Спочатку вибираємо значення переднього кута $\gamma = 10...20^\circ$. Оптимальне значення переднього кута вибрано за результатами експериментального дослідження залежності сили різання P_y від переднього кута γ (визначення критичного переднього кута).

Таблиця 2.1.

Рекомендовані кути заточки фрез і різців для обробки пластмас

Група оброблюваності	Матеріал обробки	Матеріал різців	γ°	α°	φ°	φ°	г, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Органічне скло	P6M5	10-20	15-20	45	15	0,5
	Поліетилен	P6M5	0-15	15-25	-	-	-
	Вініпласт	P6M5	15-20	20-25	45	10-20	0,5-2
	ПТФЕ	P6M5, BK8	0-10	20	45	15	0,5
	Полікапролактан	BK8	15	15	45	45	1-3
	Поліпропілен	BK8	10	10	45	45	2-2,5
	Капрон	BK3	3	16	45	10-20	0,2-2
	Поліамід	P6M5	15-20	8-10	45-60	10-20	0,5-2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Органічне скло	АСПК	0	10-12	35	30	0,5
2	ПТЗ	ТІ 4КВ	15-18	15-20	45	15	0,5-1
	НАМИ-ФБМ	Т15К6, ВК8	10	20	45	15	0,5-1
3	Пінопласт	У10А, Р6М5	40-50	8-12	-	-	-
4	Фенопласт К-18-2	ВКЗМ	10	20	45	15	1
	Амінопласт МФ	ВК8	20	20	45	15	1
5	Кордоволокніт	Р6М5	20	20	45	12-15	2-3
	Волокніт	Р6М5	0-5	20	45	12	1.5
	Скловолокніт АГ-4В	ВК2, ВК6	5	25	45	15	0,5-2
6	Текстоліт ПТ, ПТК	Р6М5, ВК8	10-12	20-25	45	15	0,5-2
	Гетинакс	Р6М5	10	25-30	45	12-15	2-4
		ВК8	8-12	20-25	45	12	1.5
		АСБ, АСПК	-2-0	15	40-45	20	0,8-1
	Склотекстоліт СТ	ВК2, ВКЗМ	5	25	45	15	0,5-2
		АСБ, АСПК	-5	10	45	15-30	1,5-2
	Склотекстоліт ФН	ВК2, ВКЗМ	10	10	45	15	0,5-2
	Склотекстоліт СК-9Ф	ВК2, ВКЗМ	0	20	45	15	0,9-3
	Склотекстоліт 27-63 «С»	ВК2, ВКЗМ	5	25	45	15	0,5-4
	Органопластик з перехресним розташуванням волокон	Т15К6	5	32	1-3	45	2
	Органопластик з однонаправленим розташуванням волокон	ВК2, ВКЗМ, ВК4, ВК8	10	20	1-3	45	2
	Склопластик П-5-2	ВК2, ВКЗМ	10	20	40-45	20	1-2
	Склопластик СТЕФ	ВКЗМ, ВК8, АСБ, АСПК	0-2	15-20	40-45	20	1-2

Геометричні параметри фрези або різця впливають на шорсткість обробленої поверхні. При критичному передньому куті шорсткість поверхні мінімальна. Зі збільшенням зворотного кута α шорсткість зменшується, але

надмірне збільшення неприпустимо через зменшення тепловідвідної здатності ріжучого клина, тому встановлюємо рекомендоване максимальне значення $\alpha = 25^\circ$.

Як уже зазначалося, головний кут у плані забезпечує малу шорсткість обробленої поверхні зі значеннями від 30 до 60° . Прийmemo значення $\varphi = 45^\circ$.

При збільшенні кута в плані φ_1 від 10 до 25° , шорсткість поверхні збільшується в $1,2 \dots 1,4$ рази. Прийmemo значення $\varphi_1 = 15^\circ$.

Враховуючи вищевикладене, для обробки полімерних покриттів з еластомеру Ф-40 обрано наступні геометричні параметри фрези: величина переднього кута $\gamma = 10 \dots 20^\circ$; задній кут $\alpha = 25^\circ$; головний кут у плані $\varphi = 45^\circ$; допоміжний кут $\varphi_1 = 15^\circ$; радіус на кінчику фрези $r = 0,5$ мм.

2.2.2. Вплив режимів механічної обробки на якість полімерного покриття

При встановленні режимів різання необхідно підбирати такі поєднання швидкості, глибини і подачі різання, які забезпечують високу стійкість різців і продуктивність обробки при забезпеченні заданої якості обробленої поверхні деталі.

Найбільший вплив на шорсткість поверхні має подача інструменту S . При збільшенні подачі S до $> 0,2 \dots 0,25$ мм/об висота мікронерівностей різко зростає і на краях поверхонь утворюються відколи.

Вплив глибини та швидкості різання на шорсткість поверхні незначний. Зміна висоти мікронерівностей при обробці гострою фрезою зазвичай не перевищує меж класу.

Елементи режиму різання по-різному впливають на знос і стабільність ріжучої кромки. Швидкість різання має найбільше значення, потім подача та глибина. З цієї причини при призначенні режиму різання спочатку вибирається глибина різання, а потім подача і швидкість різання.

При істотній зміні швидкості різання абсолютні значення сил різання змінюються незначно, але змінюються частота і амплітуда їх коливань. Особливо це характерно для різання композитного пластику.

Глибина різання та подача різних пластичних якостей не мають чіткого впливу на зусилля різання. У реактивних пластмасах зі збільшенням подачі і глибини різання сили P_z , P_y і P_x значно зростають. Термопласт має й інші залежності. Зі збільшенням подачі при точінні органічного скла різцем ВК8 сили P_z і P_y зростають, а сила P_x зменшується; при повороті вініпласту збільшення подачі призводить до зменшення сил P_y і P_x .

Подачу підбирають з урахуванням необхідної шорсткості оброблюваної поверхні (табл. 2.2) і виключають появу на ній сколів і підгарів. Кінцеве значення подачі регулюють за паспортними даними верстата, вибираючи найближче менше значення.

Таблиця 2.2.

Рекомендовані подачі для точіння пластмас

Клас матеріалу	Марка матеріалу для інструменту	Ra, мкм	Подача S, мм/об, при радіусі вістря різця r, мм			
			До 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2
Термопласти	Швидкорізальна сталь Р6М5, твердий сплав, ВК2, ВК6, ВК8	1,2-1,5	0,02-0,05	0,03-0,06	-	-
		1,5-2,0	0,05-0,07	0,06-0,09	-	-
		2,0-2,5	-	0,09-0,14	0,10-	-
		2,5-4	-	0,14-0,18	0,15-0,20	-
	Алмаз АСБ	0,63	0,01-0,03	-	-	-
		1.25	0,03-0,074	-	-	-
		2.5	0,07-0,15	-	-	-
		5.0	0,11-0,20	-	-	-
Реактопласти	Швидкорізальна сталь Р6М5, твердий сплав, ВК2, ВК6, ВК8	1,25-2,5	0,03-0,05	0,04-0,07	0,05-	-
		2,5-5,0	0,09-0,12	0,1-0,16	0,12-0,18	0,14-0,2
		більше 5,0	0,2-0,3	0,2-0,4	0,25-0,5	0,3-0,5
	Алмаз АСБ, АСПК	1-1,25	до 0,1	-	-	-
		1,25-3,75	0,1-0,2	-	-	-
		3,75-6,1	0,2-0,3	-	-	-
		6.1-7.5	0,3-0,4	-	-	-

Швидкість різання можна вибрати з урахуванням значення глибини різання та подачі, як наведено в таблиці 2.3. Правило таке: чим більша глибина різання та швидкість подачі, тим менш важливою повинна бути швидкість різання.

Режими при точінні пластмас

Групи обробки	Матеріал обробки	марка промислових матеріалів	V, м/с	S, мм/об	глибина різання t, мм
1	Оргскло	BK8	1-5	0,07–0,25	0,2-2,5
		ASPK	5-16.8	0,08–0,12	0,5-1
	Поліетилен	R6M5	1,5-6	0,1-0,5	0,5-5
	Вініпласт	R6M5	1,68-4,65	0,1-0,5	0,5-5
	Птфн	BK8	1:1-5	0,1-0,25	0,5-4
		R6M5	0,5-5	0,03–0,11	0,25-1
		ASPK	4,2-6,65	0,03–0,11	0,25-0,5
	Поліпропілен	R6M5	1,0-1,75	0,1-0,5	0,5-5
		BK8	1,7-6,65	0,05-0,4	0,5-1
	Поліамід	R6M5	1.7-5	0,1-0,3	0,5-1
	Полікапролактам марки В	R6M5	1,3-4,75	0,2-0,5	0,5-5
		BK8	4.2-13.3	0,05–0,45	0,5-1
2	ПТЗ	T15K6	1,7-3,4	0,03-0,1	0,25-0,5
		НАМІ-ФБМ	T15K6	1:7-4	0,05-0,1
		АСБ	3-5	0,03-0,1	0,2-0,5
3	Пінопласт	R6M5	2,5-5	0,05-0,2	0,5-10
4	Фенопласт К-18-2	BK3M	1,7-3,4	0,1-0,4	0,5-4
5	Шнурове волокно	BK6	6,65-13,3	0,05-0,2	0,5-1
	Волоконно-оптичний	BK2	2,5-5	0,1-0,5	0,5-4
6	Гетинакс	BK8	2,5-5	0,1-0,5	0,5-3
		ASB	5,7-7,3	0,1-0,5	1-3
	Текстоліт ПТ, ПТК	BK8	3,3-6,65	0,1-0,5	1-3
	Склотекстоліт СТ	BK2	3.3-4.1	0,1-0,5	0,5-3
		АСБ, АСПК	6,0-7,6	0,1-0,4	0,5-1
	Склотекстоліт ФН	BK2	2,5-3,4	0,1-0,5	1-4
	Склотекстоліт СК-9Ф	BK2	1,7-2,5	0,1-0,4	1-4
	Склопластик 27-63 "С"	BK2, BK3	3,4-5,0	0,07–0,43	0,5-3
	Скловолокно	BK8, АСБ	0,25-1,1	0,1-0,4	0,5-4
		ASPK	5,0-6,35	0,2-0,4	0,5-2
	Органопластиковий	BK8	1,8-2,6	0,1-0,4	0,5-4
	Оптоволоконний П-5-	BK2	0,8-2,0	0,2-0,3	0,5-4

Виходячи з прийнятих значень швидкості різання v , визначається розрахункова частота обертання шпинделя верстата, s^{-1}

$$n_g = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D},$$

де D - діаметр заготовки.

За паспортом верстата вибрати наступну меншу швидкість шпинделя верстата n_v і розрахувати фактичну швидкість різання, м/с.

$$n_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_v}{1000},$$

Якщо фактичне значення швидкості різання на 20...30% нижче розрахункового значення, то воно коригується в бік збільшення n за умови, що фактичне значення швидкості різання не перевищує розрахункове більш ніж на 10%.

Глибина різання при обробці еластомерно-полімерних покриттів Ф-40 $t = 0,2...0,3$ мм, шорсткість $Ra = 1,2...1,5$ мкм. На підставі таблиць 2.2 і 2.3 для підшипника 205 з полімерним покриттям ($D = 52$ мм) умовно прийнято такий спосіб обробки: подача $S = 0,02...0,05$ мм/об; швидкість різання $\vartheta = 2,7; 4,1; 5,4$ м/с або відповідна частота обертання шпинделя верстата $n_v = 1000; 1500; 2000$ хв⁻¹. Остаточний режим обробки буде прийнятий після відповідних експериментальних досліджень.

2.3 Висновки до розділу

1. Отримана модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника обертання.

2. Швидкість обертання підшипника для формування покриття з розчину еластомеру розраховувати за формулою (2.7). Для забезпечення рівномірної товщини полімерного покриття параметри безнапірного фрикційного руху слід підбирати таким чином, щоб забезпечувалося співвідношення $0,75 \leq \frac{y}{a} \leq 0,9$.

3. Вибраний різальний інструмент – фреза ВК-8, а геометричні параметри фрези для обробки полімерних покриттів з еластомеру потребують експериментального уточнення: значення переднього кута $\gamma = 10...20^\circ$; задній кут $\alpha = 25^\circ$; головний кут у плані $\varphi = 45^\circ$; допоміжний кут $\varphi_1 = 15^\circ$; радіус на кінчику фрези $r = 0,5$ мм.

4. Вибрано вид механічної обробки полімерних покриттів з еластомеру, який потребує експериментального уточнення: глибина різання $t = 0,2...0,3$ мм, подача $S = 0,02...0,05$ мм/об; швидкість різання $\vartheta = 2,7; 4,1; 5,4$ м/с.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Загальна методологія дослідження

Цілі та завдання дослідження, сформульовані в першому розділі кваліфікаційної роботи, лягли в основу розробленої загальної схеми теоретичного та експериментального дослідження.

Теми дослідження магістерської роботи:

- плівки та покриття з розчину еластомеру;
- ріжучий інструмент – фреза та різець ВК-8;
- місця посадки підшипників в деталях корпусу, відновлених еластомером.

Лак Ф-40С являє собою розчин композиції каучуку та модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [38]. Еластомер продається в рідкому вигляді (у вигляді розчину) і розливається в пластикові ємності різного об'єму.

Еластомер включає:

- 1) смола ФКУ (фенолоформальдегідна смола на основі заміщеної фенолвінілацетиленової структури) – 8 мас.%;
- 2) бутадієнітрильний каучук синтетичний СКН-40С – 12% мас.;
- 3) ацетон технічний ГОСТ 2768-84 – 80% мас.

Еластомер являє собою прозору рідину коричневого кольору з такими властивостями:

- масова частка сухого залишку - 20%;
- міцність на зсув з'єднання зі сталлю при 20 °С не менше 5,0 МПа.

Для забезпечення зазору в з'єднанні «вал-отвір» його висвердлюють до необхідного розміру.

Для вимірювання діаметра отворів використовували індикаторний ендометр НИ-100 (ГОСТ 868-72) з індикаторною головкою І-МИГ (ГОСТ 9696-82), роздільна здатність якого 0,001 мм. Розміри полімерних покриттів і діаметр підшипників вимірювали за допомогою високоточних важільних затискачів СРП-25 і СР-100 (ГОСТ 11098-75) з поділкою 0,001 і 0,002 мм відповідно.

У ході експериментальних досліджень використовували сучасне вимірювальне та випробувальне обладнання, промислове виробниче обладнання, стенди, установки та прилади оригінальної конструкції.

Дослідження проводилося за допомогою приватних методів, наведених нижче.

3.2. Методика дослідження усадження еластомеру

Для дослідження усадки полімерних покриттів використовували розчини еластомерів різної в'язкості: $\nu = 3157; 329$ і $160 \text{ мм}^2/\text{с}$. Необхідну в'язкість забезпечували додаванням ацетону (ГОСТ 2768-84) до концентрованого розчину еластомеру.

В'язкість розчину еластомеру $\nu = 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$ контролювали за допомогою віскозиметра типу ВНХ (ГОСТ 10028-81Е) (рисунок 3.1).

Капілярний скляний віскозиметр типу ВЖ використовується для визначення кінематичної в'язкості непрозорих рідин. У таблиці 3.1 наведені технічні характеристики віскозиметра ВЖ.

Таблиця 3.1.

Технічні дані віскозиметра ВЖ

№	Назва функції	Розмірність	Значення
1	Внутрішній діаметр	мм	3.42
2	Постійна віскозиметра K_H	$\text{мм}^2/\text{с}^2$	10:53
3	Постійний віскозиметра K_B	$\text{мм}^2/\text{с}^2$	7,515

Кінематичну в'язкість розраховували за формулою

$$\nu = \frac{g}{9,807} T_1 K_H, \quad \nu = \frac{g}{9,807} T_2 K_B.$$

де T_1 і T_2 - середній арифметичний час наповнення рідиною нижнього і верхнього баків, с;

K_H і K_B є постійними віскозиметрами нижнього і верхнього резервуарів.



Рис. 3.1. Прилад для вимірювання кінематичної в'язкості розчинів еластомерів (віскозиметр ВЖ-2)

Капілярний скляний віскозиметр типу ВЖ-2 використовується для визначення кінематичної в'язкості прозорих рідин. Технічні характеристики віскозиметра ВЖ-2 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні дані віскозиметра ВЖ-2

НП	Назва функції	розмірність	Значення
1	Діаметр капіляра	мм	1,77
2	Постійна віскозиметра К	мм ² /с ²	1001

Кінематичну в'язкість визначали за формулою:

$$\nu = \frac{g}{9,807} T \cdot K;$$

де g - прискорення вільного падіння в точці вимірювання, м/с²;

T – час протікання рідини, с;

K - постійна віскозиметра.

Зразками для дослідження усадки були затверділі плівки, нанесені на підкладку з розчинів еластомерів з в'язкістю $\nu = 3157; 329$ і 160 мм²/с. Форма плівок прямокутна, розміри 60x15 мм.

Підкладка – фторопласт 4. Розміри підкладки 200 x 160 x 4 мм.

На основу поклали рамку трафарету з оцинкованого листа товщиною 0,5 мм, сталь 08пс (ГОСТ 14918-80). Розміри рамки трафарету 180x140x0,5 мм. У рамці трафарету вирізано п'ять віконць формату 62x17 мм.

Віконця в рамці трафарету пошарово заповнювали розчином еластомеру Ф-40С за допомогою гребінця № 3 «Поні». Кожен шар покриття сушили протягом 10 хвилин. при температурі 23 ° С. Після заповнення вікон рамки трафарету еластомером поверхню покриттів формували фторопластовою пластиною 150 x 50 мм для забезпечення однорідності плівок.

Зразки витримували протягом 24 годин при температурі 23 °С, після чого плівки вирізали з рамки трафарету лезом. Граничне відхилення розмірів плівок по довжині та ширині становило не більше $\pm 0,1$ мм.

Товщину плівок вимірювали в трьох повторах за допомогою важільного затискача підвищеної точності СРП-25 (ГОСТ 11098-75) з величиною розподілу 0,001 мм. Усадку матеріалу U розраховували за формулою

$$U = \left(1 - \frac{h_{nl}}{h_p}\right) \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де h_{pl} і h_p – товщина полімерної плівки і товщина рамки трафарету відповідно, мм.

3.3. Методика дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру

Для дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру розроблено лабораторну установку для нанесення покриттів з розчину еластомеру на деталь (рисунок 3.2). Установка змонтована на базі токарного верстата 1К62 і містить центруючу монтажну оправку 1, ванну для розчину полімеру 2 і магнітну підставку 3. Ванну для розчину полімеру виготовляли з листового металу 3 товщиною 2,0 мм. Спочатку ванну обмітали, потім загинали краї ванни і з'єднували між собою газозварюванням.

Магнітний стенд МВ-Б призначений для фіксації та переміщення висоти резервуара при зануренні підшипників кочення в розчин полімеру (рисунок 3.3).

Підставка МВ-В кріпиться до основи супорта гвинторізного верстата 1К62 за допомогою магніту.

Для центрування та кріплення підшипників використовується центруюча монтажна оправка (рисунок 3.4).

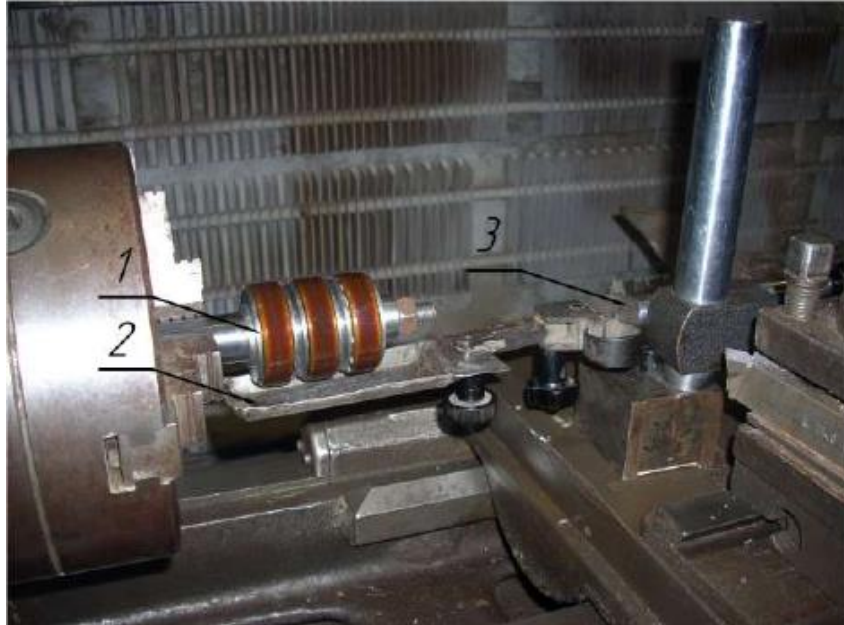


Рис. 3.2. Установка нанесения полімерних покриттів.



Рис. 3.3. Штатив магнітний МВ-В

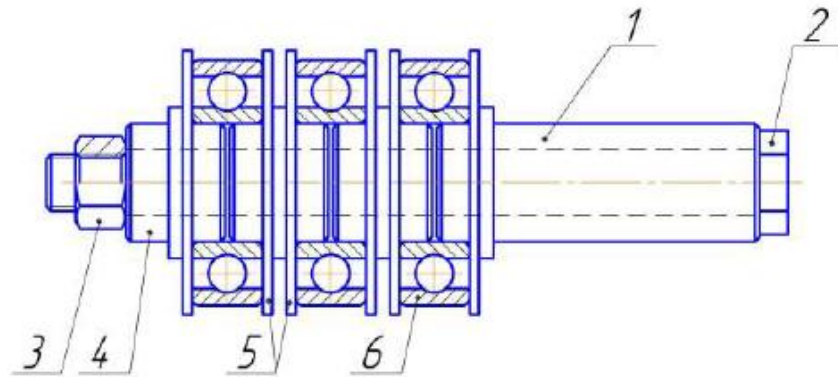


Рис. 3.4. Центруюча монтажна оправка: 1 - вал; 2 - затискний гвинт; 3 - натискна гайка; 4 - центруючий ролик; 5 - очисник високого тиску; 6 - підшипник.

У зібраному вигляді вставляється в патрон токарного верстата, який обертає його під час нанесення полімерного покриття. Оправка складається з порожнистого вала 1, хвостовика, який закріплений у патроні токарного верстата, затискного болта 2, який вставляється в отвори вала, натискної гайки 3, яка затягує на вал три центруючих ролика 4. Ліва та права кінцеві ступені центруючого вала входять у внутрішні кільця сусідніх підшипників через перехідну посадку на половину ширини гнізда, таким чином забезпечуючи центрування підшипників.

Токарно-гвинторізний верстат 1К62 оснащений перетворювачем частоти загальнопромислового застосування EI-7011 від VESPER. Модернізація приводу дозволяє встановлювати частоту обертання шпинделя від 0 хв^{-1} .

Спочатку ванну закріплювали в магнітній рамі на необхідній висоті (висота повинна забезпечувати занурення підшипників у полімерний розчин на 2 мм).

Центральна монтажна оправка з трьома підшипниками була вставлена в токарний патрон і оберталася із заданою швидкістю. Потім розчин еластомеру необхідної в'язкості заливали у ванну до позначки рівня заповнення. Для експерименту використовували розчини еластомеру Ф-40С різної в'язкості: $\nu = 3157; 329 \text{ і } 160 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Число обертів підшипників у ванні з розчином полімеру $N_{об} = 1; 2; 3; 4; 5 \text{ і } 6$. Після заданої кількості обертів підшипників у ванні з розчином полімеру ванну опускали і обертання продовжували 10 хвилин при температурі 23°C . Після

закінчення обертання шпинделя центрування оправка з підшипником була знята з патрона і розібрана.

Термообробку дослідних зразків при температурі $T = 180^{\circ}\text{C}$ протягом $t = 3$ години проводили в сушильній шафі СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3, обладнаній електронним терморегулятором (рисунок 3.5). Після термічної обробки підшипники з полімерним покриттям витримували при температурі 23°C протягом 24 годин, після чого проводили тричі вимірювання діаметра важільним затискачем СР-100 (ГОСТ 11098-75) зі значенням розподілу 0,002. мм, розраховано товщину полімерного покриття та її середнє значення. Значення усадки U визначали за формулою (3.1).

Для обчислення овальності вимірювали діаметр у взаємно перпендикулярних площинах. Для розрахунку конусності вимірювали діаметр підшипника на початку і в кінці полімерного покриття по ширині. Вимірювання повторювали тричі, а значення усереднювали.

Зусилля відриву полімерного покриття від металевої підкладки визначали на відривній машині ІР 5047-50.



Рис. 3.5. Шафа СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3 для сушіння деталей після нанесення покриття

Показник міцності F з'єднання покриття з металевою підкладкою розраховували за формулою

$$F = \frac{\bar{P}}{b}, \quad (3.2)$$

де P – сила відриву полімерного покриття від металевої підкладки, Н;

b – ширина полімерного покриття.

3.4. Методика дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру

Підшипники з полімерним покриттям були встановлені в centruючу оправку для механічної обробки покриттів (рисунок 3.6). В ході експерименту еластомерні покриття Ф-40С обробляли фрезами з переднім кутом $\gamma = 10; 15$ і 20° . Глибина різання $t = 0,2$ мм, подача $S = 0,02$ мм/об. Оскільки швидкість різання не має суттєвого впливу на рівень сил різання, обробку проводили при максимальній частоті обертання шпинделя токарного верстата 1К62 $n = 2000$ хв⁻¹. Під час різання визначали величину радіальної складової сили різання P_y , а після його закінчення – шорсткість обробленої поверхні R_a .

Для вимірювання радіальної складової сили різання P розроблено розрахункову схему (рисунок 3.7); на її основі створено лабораторну установку. Перед точінням на фрезі ВК-8 переміщенням стійки 9 створювався натяг. Величина попереднього натягу становила 5 Н. Воно фіксувалося грузиками марки ВБ-10 фірми Hausland. Найбільша межа зважування 10 кг, ціна поділки 0,1 кг. Переміщення ножа вперед під дією попереднього натягу обмежується ножетримачем, який у певному положенні впирається лезом у передній кінець ножа.

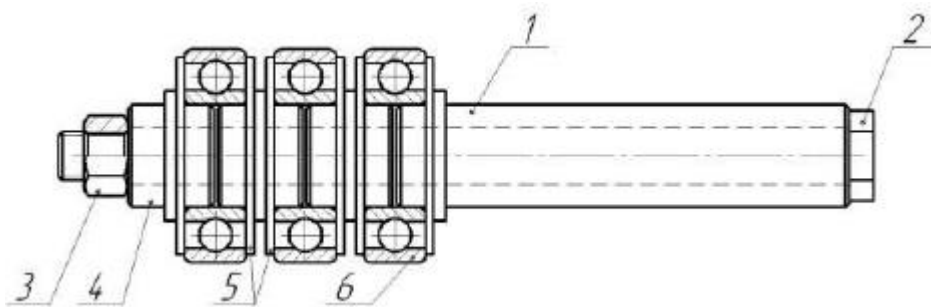


Рис. 3.6. Центруюча монтажна оправка: 1 - вал; 2 - затискний гвинт; 3 - натискна гайка; 4 - centruючий ролик; 5 - шайба; 6 - підшипник.

При ковзанні фрези 2 по напрямній 3 виникає сила тертя, що призводить до похибки результатів вимірювання P_y . Для його зменшення стінки фрези змащували індустріальним маслом І-20А (ГОСТ 20799-88). Силу тертя при ковзанні різця по напрямній вимірювали таким чином. До ножотримача 4 прикріпили 8 тягарців і виміряли силу, з якою почав рух ніж. Вимірювання проводили в п'яти повторах.

При повороті різець рухається назад разом з державкою під дією радіальної складової сили різання R_y , натискаючи на коромисло 6. Останнє, у свою чергу, впливає на шкали, які задають значення радіальної складової сила різання R_y .

Вимірювання сили різання $R_{\text{при}}$ при кожному значенні переднього кута різця проводили п'ять разів. 3.8 наведено загальний вигляд лабораторної установки для дослідження радіальної складової сили різання R_y .

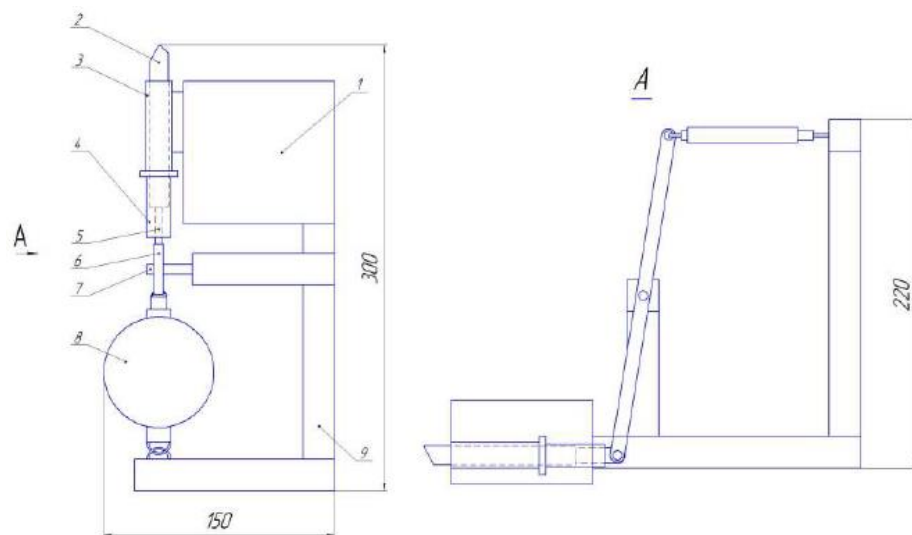


Рис. 3.7. Схематичне зображення лабораторного обладнання для вимірювання радіальної складової сили різання R_y : 1 - тримач ножа машини; 2 - ріжучий елемент; 3 - напрямна ножа; 4 - тримач ножа; 5 - стрижень; 6 - коромисло; 7 - вісь коромисла; 8 - ваги ВБ-10; 9 - рамка.



Рис. 3.8. Лабораторна установка для вимірювання радіальної складової сили різання R_y

Шороховатість обробленої поверхні визначали за допомогою подвійного мікроскопа Linnick типу МИС-11.

Метод світлового перерізу полягає в наступному: пучок світла, що виходить від джерела світла через вузьку щілину 3 (рисунок 3.9) шириною близько 0,1 мм, направляється лінзою 2 під кутом α на контрольовану поверхню 1. Відбиваючись від цієї поверхні, промені через лінзу 5 передають зображення щілини на фокальну площину окуляра 6. Якщо контрольована поверхня ідеально рівна, то щілина в окулярі виглядає як пряма лінія, яка світиться (зазвичай зеленим). Якщо на поверхні є борозенка, то в площині окуляра буде спостерігатися вигнута лінія, що світиться (рисунок 3.9).

При глибині канавки, що дорівнює H , її легкий переріз становить

$$b = \frac{H}{\sin \alpha},$$

Розмір світлового перетину канавки в площині лінзи

$$b_1 = bV^x,$$

де V^x - збільшення об'єктива мікроскопа.

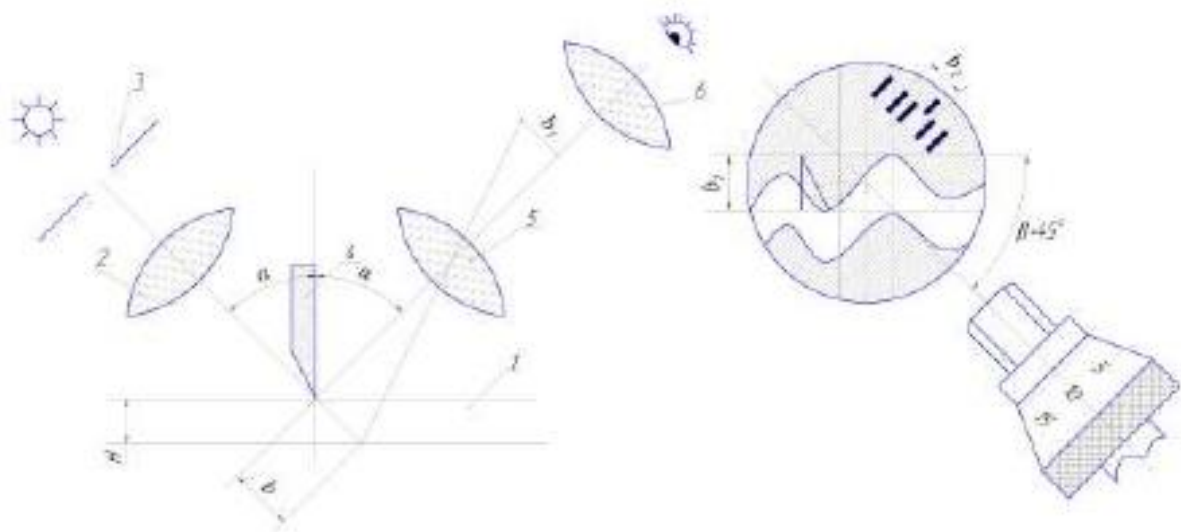


Рис. 3.9. Принципова-схема визначення висоти неровностей методом світлового перерізу

Значення b_1 вимірюють окулярним мікрометром, поперечний переріз якого зсувають на кут $\beta = 45^\circ$ і одночасно оцінюють b_2 .

Якщо світловий промінь направити на керуючу поверхню під кутом $\alpha = 45^\circ$, то

$$b_2 = \frac{b_1}{\sin \beta} = \frac{H}{(\sin \alpha \cdot \sin \beta)} \cdot V^x,$$

де

$$H = \frac{b_2}{(2 \cdot V^x)},$$

Цим методом можна вимірювати нерівності поверхні висотою від 0,8 до 63 мкм, що є оптимальним для наших досліджень.

3.5. Методологія визначення впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття

У рамках експериментальних досліджень обробіток покриття еластомеру виконували різцем ВК-8 з оптимальним значенням переднього кута $\gamma = 15^\circ$, заднього $\alpha = 25^\circ$; головний кут у плані $\varphi = 45^\circ$; допоміжний кут $\varphi_1 = 15^\circ$; радіус на кінчику фрези $r = 0,5$ мм. Глибина різання $t = 0,2$ мм, подача $S = 0,02; 0,05$ та $0,08$ мм/об, частота обертання шпинделя токарного верстата 1К62 $n = 1000; 1500$ і 2000 хв⁻¹.

Шорховатість обробленої поверхні полімерних покриттів визначали за допомогою мікроскопа Лінніка. Визначення овальності та конусності покриттів проводили за допомогою важільного затискача СР-100 (ГОСТ 11098-75) за методикою, описаною в розділі 3.3.

3.6. Методика дослідження довговічності посадочних місць підшипників в корпусах деталей відновлених еластомером

Ресурс роботи посадочних місць підшипників 209 в корпусних деталях, відновлених еластомером, досліджували на стенді (рисунок 3.10), призначеному для динамічного навантаження вузлів. Циклічне навантаження на підшипникові вузли створює електромеханічний вібратор ИВ-107А, який за конструкцією є асинхронним короткозамкненим електродвигуном. Коливання з вантажем створюють дисбаланси встановлених на передній і задній ступенях вібратора. Дисбаланси подвоюються та розводяться до різних фіксованих кутів

Можливе встановлення циклічного навантаження підшипникового вузла в діапазоні: 9,9; 15,8 і 20,0 кН.



Рис. 3.10. Установка для випробувань підшипникових вузлів циклічним навантаженням

Вібратор кріпиться чотирма гвинтами до верхньої металевої основи, яка складається з двох однакових за розміром металевих пластин розміром 500 x 500 x 25 мм і вагою 50 кг кожна.

До опорної плити приварені чотири втулки для гвинтових пружин, які гасять коливання вібратора. Протилежні кінці демпферних пружин встановлені в чотирьох втулках, приварених до нижньої металевої основи розміром 500x500x10 мм. Висота пружин 121 мм.

Завдяки демпферним пружинам амплітуда коливань вібратора з верхньою базою не перевищує 1,4 мм. Дисбаланси призвели до циклічного радіального навантаження $P = 20$ кН з частотою $f = 3000$ хв⁻¹. Потужність при зміні навантаження реєстрували за допомогою лічильника, підключеного до валу вібратора.

У просвердлені підшипникові щити вібратора запресовані чавунні втулки із СЧ-20 (ГОСТ 1412-80). Внутрішні отвори чавунних втулок просвердлені для імітації зносу посадки. Для проведення випробувань у кріпильні отвори стенду вібратора запресовували підшипники з полімерним покриттям різної товщини. Підшипники під час випробувань змащували синтетичним мастилом ВНІНП-242 (ГОСТ 20241-74).

Випробування відновлених посадок підшипників було припинено, коли посадка була порушена, що було виявлено за зміщенням зовнішнього кільця підшипника відносно отвору втулки.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Дослідження усадження еластомеру

Усадження полімерного матеріалу відіграє значну роль у формуванні полімерного покриття після затвердіння. Тому на початковому етапі досліджень було досліджено усадку полімерних покриттів, нанесених із розчинів еластомерів різної в'язкості. На рисунку 4.1 показано усадження U полімерних покриттів, нанесених із розчинів еластомерів різних по в'язкості.

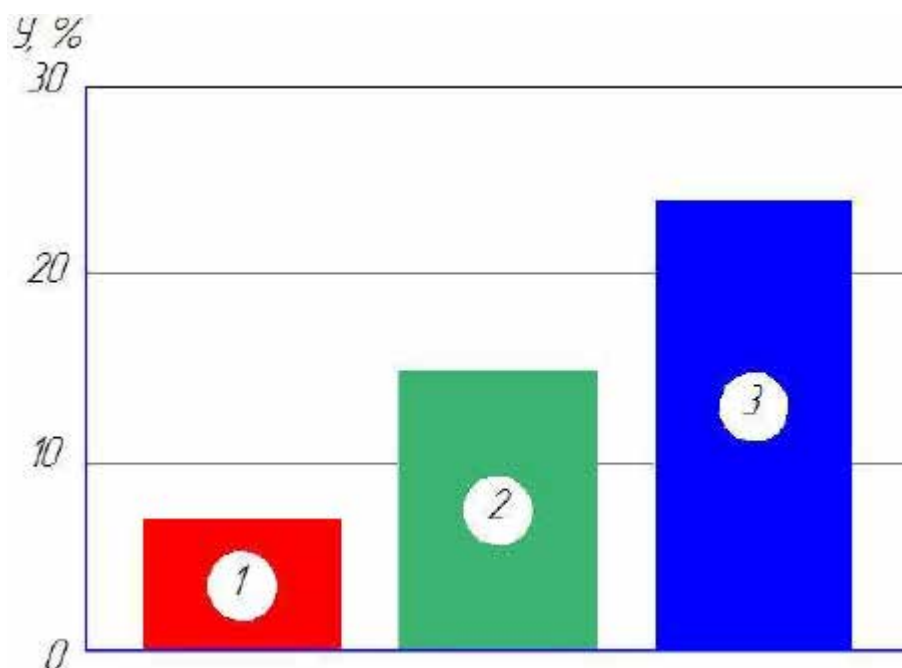


Рис. 4.1. Усадження U полімерних покриттів, нанесених з розчинів еластомерів різних по в'язкості: 1 - в'язкість $\nu = 3157$; 2 - в'язкість $\nu = 329$; 3 - в'язкість $\nu = 160$ мм²/с

Як видно з рисунка 4.1, мінімальну усадку $U = 7\%$ має покриття, нанесене з розчину еластомеру в'язкістю $\nu = 3157$ мм²/с. При зниженні в'язкості до $\nu = 329$ мм²/с усадження полімерного покриття після затвердіння збільшується в 2,14 рази і становить $U = 15\%$. Полімерне покриття, нанесене з розчину еластомеру в'язкістю $\nu = 160$ мм²/с, має максимальну усадку $U = 24\%$. Це в 1,6 і 3,43 рази перевищує усадку полімерних покриттів, нанесених з розчину еластомеру з в'язкістю $\nu = 329$ і 3157 мм²/с відповідно. В'язкість розчину еластомеру визначається концентрацією ацетону. При максимальній в'язкості розчину

еластомеру F-40C = 3157 мм²/с розчин містить мінімальну кількість ацетону, який повинен випаруватися.

Тому усадження полімерного матеріалу після затвердіння має мінімальне значення. Відповідно, у розчині еластомеру з в'язкістю $\nu = 160$ мм²/с концентрація ацетону максимальна і тому його полімерне покриття має найбільше усадження після затвердіння.

Зі зменшенням в'язкості розчину еластомеру усадження полімерного покриття після затвердіння збільшується до 3,4 рази, що пояснюється великою кількістю розчинника, що випаровується з розчину.

4.2. Дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру

На наступному етапі досліджень вивчали, як змінюється товщина полімерного покриття зі збільшенням швидкості обертання підшипника у ванні з розчином еластомеру різної в'язкості. 4.2 видно, що зі збільшенням числа обертів підшипника до $N_{об} = 3$ у ванні з розчином полімеру в'язкістю = 160 мм²/с товщина полімерного покриття h_n збільшується. При $N_{об} = 1$ товщина полімерного покриття $h_n = 0,05$ мм. Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшується в 1,6 рази і становить $h_n = 0,08$ мм. При $N_{об} = 3$ товщина полімерного покриття $h_n = 0,13$ мм. Це в 1,63 і 2,6 рази більше порівняно з товщиною полімерних покриттів, отриманих при $N_{об} = 2$ і 1 відповідно. Коли число оборотів підшипника перевищує три, товщина полімерного покриття стабілізується. Тому у ванні з розчином полімеру з в'язкістю $\nu = 160$ мм²/с недоцільно обертати підшипник більше трьох обертів.

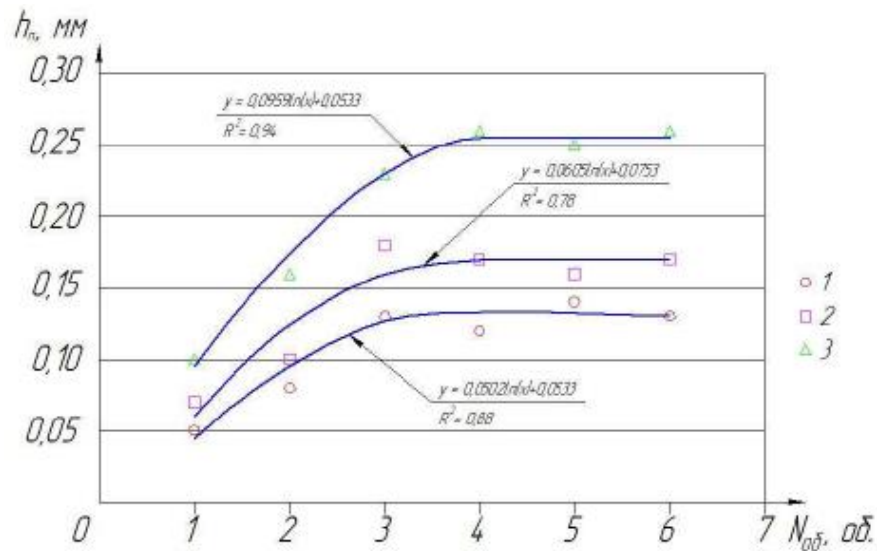


Рис. 4.2. Зміна товщини полімерного покриття h_n від числа обертів $N_{об}$ підшипника у ванні з розчином еластомеру різної в'язкості: 1 - в'язкість $\nu = 160$; 2 - в'язкість $\nu = 329$; 3 - в'язкість $\nu = 3157$ $\text{мм}^2/\text{с}$

Товщина полімерного покриття після занурення підшипника в розчин еластомеру Ф-40С в'язкістю $329 \text{ мм}^2/\text{с}$ і обертанням $N = 1$ становила $h_n = 0,07$ мм. Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшилася в 1,4 рази і склала $h_n = 0,10$ мм. При $N_{об} = 3$ товщина полімерного покриття становила $h_n = 0,18$ мм. Це в 1,8 і 2,57 разів більше, ніж товщина полімерних покриттів, отриманих при $N_{об} = 2$ і 1 відповідно. При кількості обертів підшипника більше трьох товщина полімерного покриття стабілізувала свої значення. Тому підшипник необхідно прокрутити на три оберти у ванні з розчином полімеру з в'язкістю $\nu = 329 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Таж залежність спостерігається при обертанні у ванні з розчином еластомеру в'язкістю $\nu = 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$. При $N_{об} = 1$ товщина полімерного покриття $h_n = 0,10$ мм. Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшується в 1,6 рази і становить $h_n = 0,16$ мм. При $N_{об} = 3$ товщина полімерного покриття $h_n = 0,23$ мм. Це в 1,43 та 2,3 рази перевищує товщину полімерних покриттів, отриманих при $N_{об} = 2$ і 1 відповідно. Товщина полімерного покриття стабілізує свої значення ($h_n = 0,26$ мм) при кількості обертів підшипника у ванні більше чотирьох. Тому у ванні, що містить розчин полімеру з в'язкістю $\nu = 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$, недоцільно обертати підшипник більше чотирьох обертів.

Рекомендоване число обертів підшипника у ванні з розчином еластомеру становить $n = 3 \dots 4$ оберти, оскільки товщина полімерного покриття стабілізує його значення.

4.3. Дослідження процесу механічної обробки нанесених покриттів

Критичний передній кут γ є оптимальним переднім кутом ріжучого інструменту за умови, що напрямок чистої сили різання при цьому куті збігається з напрямком різання. В результаті деформація обробленого матеріалу мінімальна. Пластичне точіння з критичним переднім кутом забезпечує кращі показники точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Метою експерименту є визначення критичного переднього кута γ для фрез марки ВК-8, який забезпечує оптимальну точність обробки при точінні еластомерного покриття.

4.3.1. Дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру

Під час експерименту еластомерні покриття обробляли фрезами з переднім кутом $\gamma = 10; 15$ і 20° . Глибина різання $t = 0,2$ мм, подача $S = 0,02$ мм/об. Оскільки швидкість різання не має суттєвого впливу на рівень сил різання, обробку проводили при максимальній швидкості обертання шпинделя верстата $n = 2000$ хв⁻¹. Під час різання визначали значення радіальної складової сили різання P_y , а після його закінчення – шорсткість обробленої поверхні R_a . Результати експерименту наведені на рисунках 4.3 і 4.4.

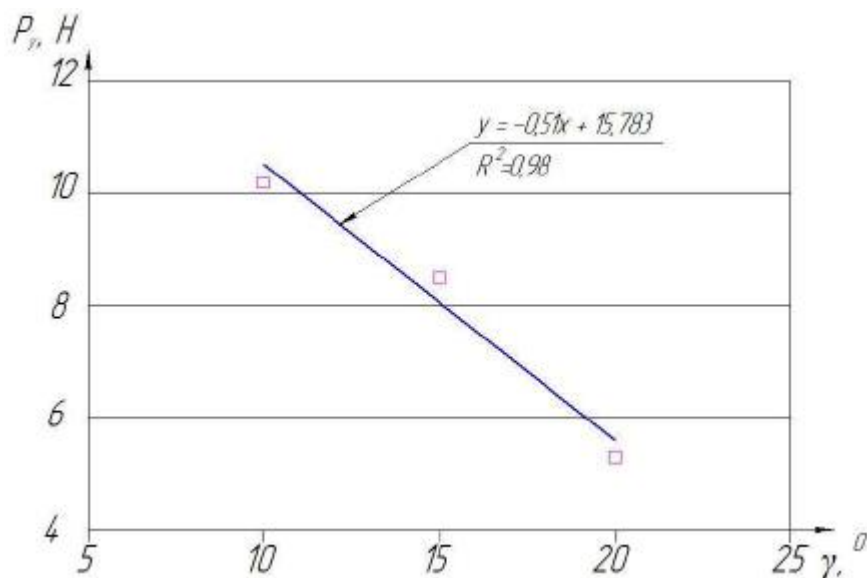
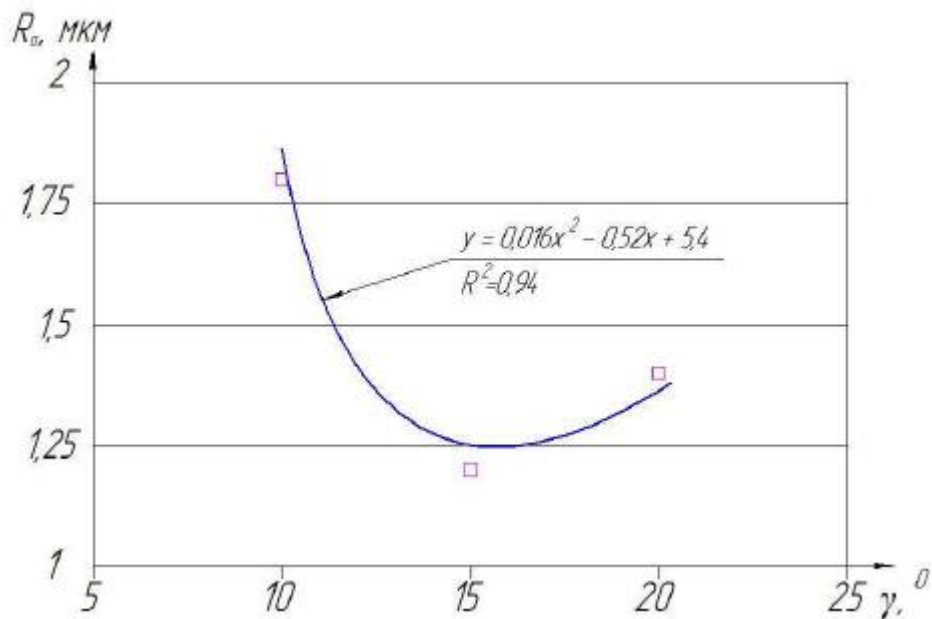


Рис. 4.3. Залежність сили різання $P_{\text{від}}$ від переднього кута γ .

P_y зменшується зі збільшенням переднього кута γ . При збільшенні переднього кута від 10 до 15° сила різання P_y з $10,2$ до $8,5$ Н. Зменшення становить $16,7\%$.

Подальше збільшення переднього кута γ до 20° призводить до зменшення сили різання до $P_y = 5,3$ Н. Порівняно з передніми кутами 10° і 15° сила різання P_y зменшилася відповідно на 48 і $37,6\%$.

Рис. 4.4. Зміна шорхovatості обробленої поверхні R_a від переднього кута γ

Трохи інша залежність показана на рис. 4.4. При збільшенні переднього кута γ від 10 до 15° шорсткість обробленої поверхні R_a зменшувалася від $1,8$ до $1,2$ мкм. Зниження склало 50% . Подальше збільшення переднього кута γ до 20° призводить до збільшення шорсткості до $R_a = 1,4$ мкм. Порівняно з переднім кутом $\gamma = 15^\circ$ шорсткість R_a зросла на 16% .

Зі збільшенням переднього кута γ фрези ВК-8 від 10 до 20° сила різання P_y зменшується на 45% , але при цьому шорсткість обробленої поверхні змінюється за нелінійною залежністю з екстремум у вигляді мінімуму $R_a = 1,2$ мкм при значенні $\gamma = 15^\circ$. Тому приймемо $\gamma = 15^\circ$ як оптимальне значення переднього кута фрези ВК-8.

4.3.2. Дослідження впливу режимів різання на шорсткість покриття

На слідуєчому етапі досліджували вплив параметрів режиму різання на шорсткість обробленого полімерного покриття.

На рис. 4.5 представлено полімерне покриття після обробки фрезою ВК-8 при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і подачі $S = 0,08 \text{ мм/об}$.



Рис. 4.5. Покриття з полімеру після обробки фрезою ВК-8 при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і подачі $S = 0,08 \text{ мм/об}$.

На рис. 4.6 і 4.7 представлено полімерне покриття після обробки фрезою ВК-8 при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і подачі $S = 0,05$ і $0,02 \text{ мм/об}$ відповідно.



Рис. 4.6. Покриття полімерне з еластомеру після обробки фрезою ВК-8 при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і подачі $S = 0,05 \text{ мм/об}$.



Рис. 4.7. Покриття полімерне з еластомеру після обробки фрезою ВК-8 при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і подачі $S = 0,02 \text{ мм/об}$.

На рисунку 4.8 зображено залежність шорсткості обробленої поверхні R_a від швидкості подачі S . Як видно із зовнішнього вигляду оброблених полімерних покриттів (рисунки 4.5...4.7) та рисунка 4.8 шорсткість обробленої поверхні збільшується зі збільшенням корму. При подачі $S = 0,02 \text{ мм/об}$ шорсткість обробленої поверхні полімерного покриття мінімальна і становить $R_a = 1,2 \text{ мкм}$. При збільшенні швидкості подачі до $S = 0,05 \text{ мм/об}$ шорсткість обробленої поверхні полімерного покриття збільшується в 1,33 рази і становить $R_a = 1,6 \text{ мкм}$. При подачі $S = 0,08 \text{ мм/об}$ шорсткість обробленої поверхні полімерного покриття максимальна і становить $R_a = 2,1 \text{ мкм}$. Збільшення шорсткості в 1,31 і 1,75 рази відповідно в порівнянні з шорсткістю поверхні полімерних покриттів, оброблених при подачі $S = 0,05$ і $0,02 \text{ мм/об}$ відповідно.

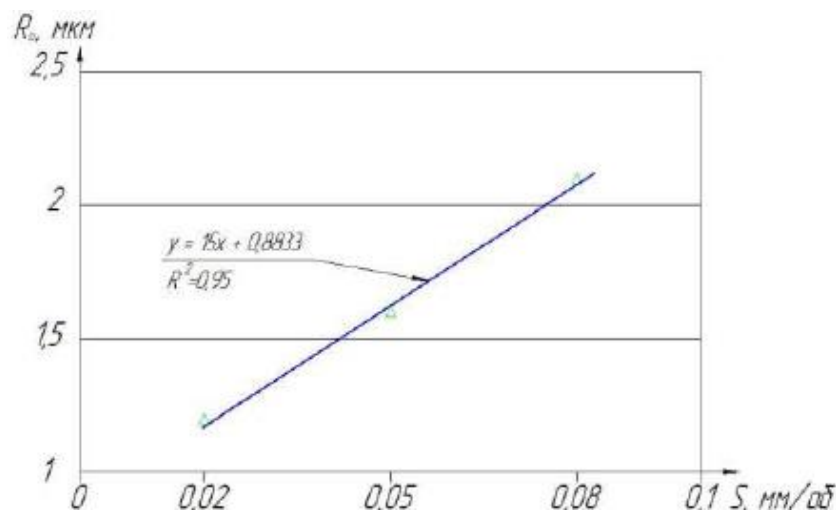


Рис. 4.8. Зміна шорховатості обробленої поверхні R_a від подачі S .

Оскільки вплив глибини різання на шорсткість обробленої поверхні незначний, було прийнято постійне значення $t = 0,2$ мм.

На наступному етапі досліджували вплив швидкості різання на шорсткість, овальність і конусність обробленої поверхні.

Результати дослідження наведені на рисунках 4.9, 4.10 та 4.11.

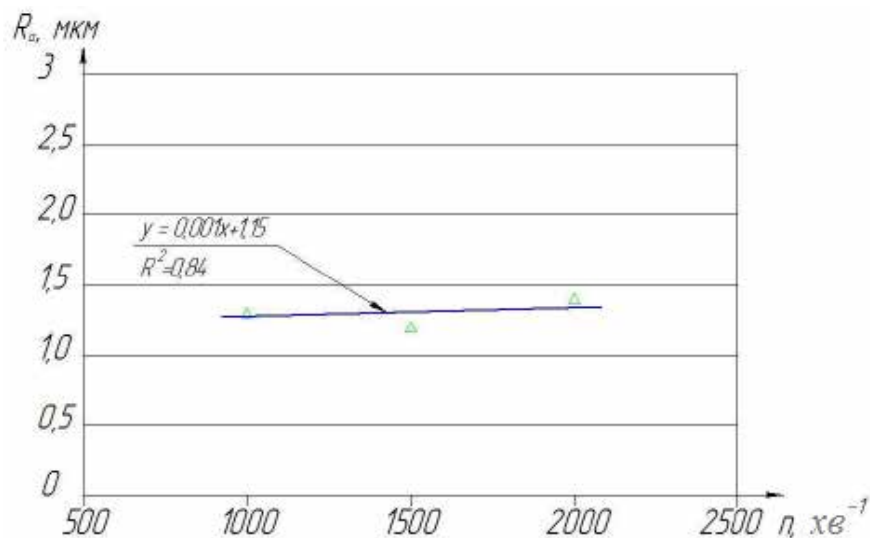


Рис. 4.9. Залежність шорхovatості обробленої поверхні R_a від частоти обертання n

Дослідження підтвердили гіпотезу, що швидкість різання не має істотного впливу на шорсткість обробленої поверхні R_a .

Як видно з рисунка 4.10, при збільшенні частоти обертання шпинделя верстата n від 1000 до 1500 хв⁻¹ овальність O_n обробленої поверхні еластомерного покриття збільшилася на 0,001 мм. Подальше збільшення частоти обертання шпинделя верстата до $n = 2000$ хв⁻¹ призводить до збільшення овальності до значення $O_n = 0,011$ мм, що в 2,7 рази перевищує овальність при $n = 1000$ хв⁻¹ і 2,2 рази при $n = 1500$ хв⁻¹. Збільшення овальності можна пояснити збільшенням амплітуди коливання шпинделя верстата зі збільшенням частоти обертання.

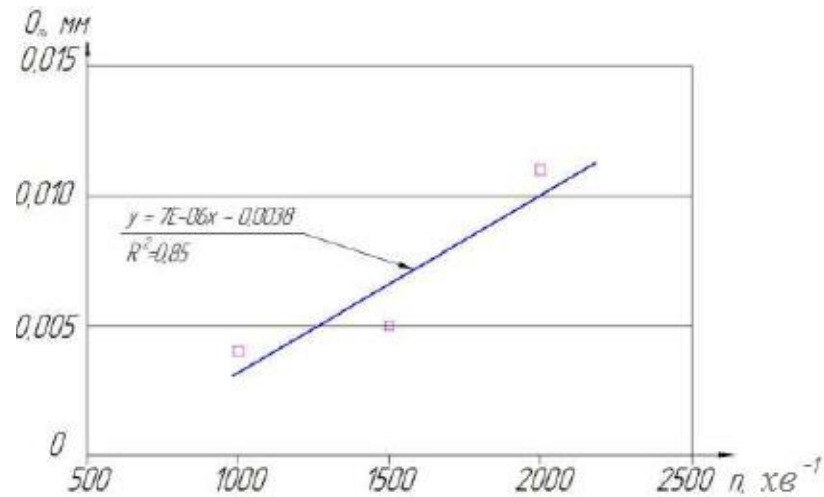


Рис. 4.10. Залежність овальності O_n обробленої поверхні еластомерного покриття від частоти обертання n шпинделя верстата

Подібну картину можна побачити на рисунку 4.11.

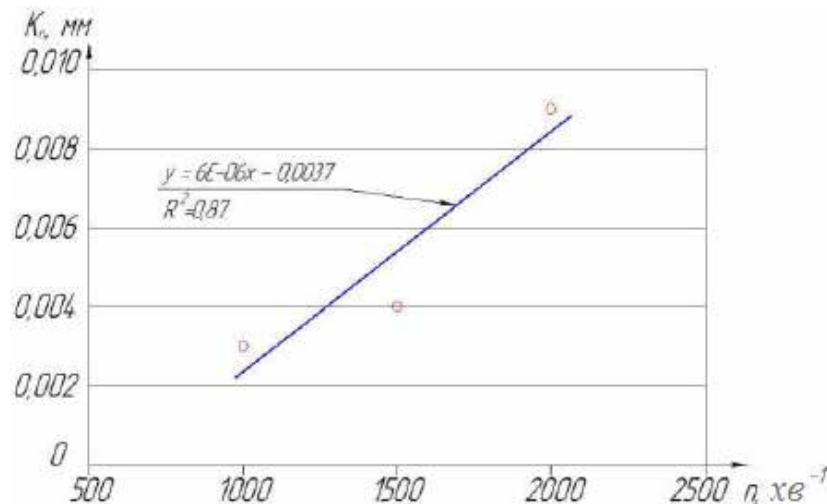


Рис. 4.11. Залежність конусності K_n обробленої поверхні еластомерного покриття від частоти обертання n шпинделя верстата.

При збільшенні частоти обертання шпинделя верстата від 1000 до 1500 хв⁻¹ конусність K_n обробленої поверхні еластомерного покриття збільшилася на 0,001 мм. Подальше збільшення частоти обертання шпинделя верстата до $n = 2000$ хв⁻¹ призводить до збільшення конусності до величини $K_n = 0,009$ мм, що в три рази перевищує овальність при $n = 1000$ хв⁻¹ і в 2,25 рази при $n = 1500$ хв⁻¹. Збільшення конусності пояснюється також збільшенням амплітуди коливань шпинделя верстата зі збільшенням частоти обертання.

Найбільший вплив на знос і стійкість фрез має швидкість різання [85]. У той же час точіння на знижених швидкостях різання знижує продуктивність операції.

Тому оптимальною швидкістю різання слід вважати 4,1 м/с, що відповідає частоті обертання шпинделя верстата $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$.

Дослідженнями визначено оптимальний спосіб різання полімерних покриттів з еластомеру : глибина різання $t = 0,2...0,3 \text{ мм}$, подача $S = 0,02 \text{ мм/оберт}$; швидкість різання $\vartheta = 4,1 \text{ м/с}$.

4.4. Дослідження довговічності посадочних місць відновлених еластомером

Дослідження проводились з метою визначення довговічності та максимально допустимої товщини полімерного покриття на підшипниках кочення при відновленні підшипників корпусних деталей еластомером.

На рис.4.12 наведено довговічність посадочних місць в щитах вібростенду підшипників 209 з різною товщиною полімерних покриттів з еластомеру, які навантажувалися циклічним радіальним навантаженням 20 кН. Залежність є нелінійною і відповідає типовій кривій Веллера [58].

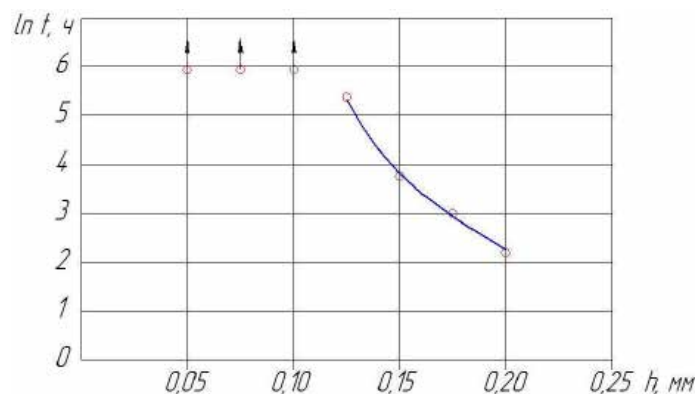


Рис. 4.12. Ресурс «корпус-підшипник 209 з полімерним покриттям» з різною товщиною полімерного покриття з еластомеру і навантаженням 20 кН.

Стрілки та крапки означають, що обертання кільця підшипника не було зафіксовано під час випробувань на стенді. Основою для випробувань на міцність була тривалість навантаження $N = 5,94 \times 10^7$ циклів, що відповідає 330 годинам стаціонарної роботи.

При товщині полімерного шару 0,20 мм термін служби «корпуса підшипника з полімерним покриттям» мінімальний. Після 9 годин стендових випробувань зовнішнє кільце оберталося в посадковій ямі. При товщині

полімерного покриття 0,175 мм термін служби «корпуса підшипника з полімерним покриттям» збільшився в 2,22 рази і склав 20 годин. Для компаундів з товщиною полімерного шару 0,15 мм термін служби істотно збільшився і склав 43 години, що перевищує термін служби компаундів з товщиною полімерного шару $h = 0,2$ мм в 4,8 рази, а при $h = 0,175$ мм на 2,15 рази

При товщині полімерного покриття 0,125 мм посадка "корпус-підшипник з полімерним покриттям" пропрацювала 218 годин. Цей показник перевищує ресурс муфт з товщиною полімерного покриття $h = 0,2$ мм в 24,2 рази, при $h = 0,175$ мм в 10,9 рази і при $h = 0,15$ мм в 5,1 рази.

Посадка з полімерним покриттям товщиною 0,1 мм залишалася працездатною до кінця випробувань. Зміщення зовнішнього кільця підшипника в посадковому отворі за 330 годин ($e^{5,8} = 330$) стендових випробувань не зафіксовано. Тому допустима товщина еластополімерного покриття на підшипнику, що забезпечує безаварійну роботу відновленої посадки при радіальному навантаженні 20 кН, згідно досліджень становить 0,1 мм.

Посадочні місця підшипників в деталях корпусів, відновлених ремонтною деталлю - підшипником з полімерним покриттям з еластомеру - мають високу міцність. Рекомендується відновлювати зношені отвори під підшипники в деталях корпусу з діаметральним зносом до 0,2 мм.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1. Технологічні рекомендації

За результатами експериментальних та теоретичних досліджень, проведених в рамках магістерської кваліфікаційної роботи, розроблено технологію та технологічне обладнання машинного нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру на підшипники кочення та подальшої механічної обробки полімерних покриттів.

Технологія включає три операції: нанесення полімерного покриття, термічну обробку покриттів, механічну обробку покриттів.

Процес нанесення полімерного покриття включає в себе переходи:

- 1) очистити посадочні місця зовнішніх кілець підшипників до появи металевого блиску.
- 2) змонтувати підшипники в центруючому пристрої та встановити їх у токарний патрон.
- 3) знежирити посадочні місця зовнішніх кілець підшипників;
- 4) відрегулювати ванну в магнітній рамці на потрібний рівень;
- 5) увімкнути привід машини і встановити задану частоту обертання підшипників;
- 6) наповнити ванну розчином еластомеру ;
- 7) повернути підшипники на три оберти, а потім опустить піддон із розчином еластомеру;
- 8) обертати підшипники протягом 10 хвилин;
- 9) повторити кроки 4, 7 і 8, щоб нанести другий, третій і четвертий шари покриття;
- 10) зупинити машину, зніміть і розберіть центруючий пристрій;
- 11) візуально оцінити якість нанесеного покриття.

Процес термообробки включає в себе переходи:

- 1) завантажити підшипники з полімерним покриттям в шафу сушильну СНОЛ-3,5,3,5,3,5/3;
- 2) зберігати підшипники протягом 3 годин при температурі 180 °С;

3) вийняти підшипники з полімерним покриттям із сушильної камери.

Процес мехобробки включає переходи:

- 1) змонтувати підшипники в центруючому пристрої та встановити їх у патрон токарного верстата;
- 2) проточити полімерне покриття підшипників на задану глибину різання;
- 3) зупинити машину, зняти і розібрати центруючий пристрій;
- 4) для перевірки виміряють діаметр підшипників з полімерним покриттям.

Технологію машинного нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення впроваджено на ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області. Оцінку надійності відновлених посадок в корпусних деталях з лютого 2019 р. по листопад 2020 р. проведено експлуатаційні випробування автотракторної техніки.

Через обмежений ресурс відновлених посадок у частинах корпусу, під час випробувального періоду не було відмов у обладнанні.

5.2. Розрахунок економічної ефективності відновлення нерухомих з'єднань еластомером

Собівартість відновлення еластомером були визначені за формулою

$$C = ЗП + C_M + П_P + C_{ОПУ} + C_{ЕЛ} + A_{ОБ}, \quad (5.1)$$

де ЗП - заробітна плата виробничих робітників, грн.;

C_M – вартість матеріалів, використаних у технологічному процесі, грн.;

$П_P$ – інші виробничі витрати, грн.;

$C_{ОПУ}$ – загальновиробничі витрати на організацію та управління виробництвом, грн.;

$C_{ЕЛ}$ - витрати електроенергії, грн.;

$A_{ОБ}$ – амортизаційні відрахування на обладнання, грн.

Заробітна плата робітників визначалася за формулою

$$ЗП = ЗП_О + ЗП_Д + Н_{СС}, \quad (5.2)$$

де $ЗП_О$ – основна заробітна плата виробничих працівників у гривнях;

$ЗП_Д$ – додаткова заробітна плата виробничих працівників, грн.;

$Н_{СС}$ - забезпечення соціального страхування, грн.

Основна заробітна плата робітників визначалася за формулою

$$ЗП_0 = T_{об} \cdot C_Г, \quad (5.3)$$

де $T_{об}$ – загальна трудомісткість відновлення 1 дм² крісел, год.;

$C_Г$ – погодинна ставка, грн./год.

Загальна трудомісткість відновлення 1 дм² посадочних місць підшипників $T_{об}$, як сума нормативного часу нанесення 1 дм² покриття з розчину еластомеру, нормативного часу механічної обробки (точіння) 1 дм² полімерне покриття, норматив часу на шліфування 1 дм² під ремонтний розмір. Норму часу визначали методом хронометражу (табл. 5.1, 5.2 та 5.3).

Нормативи часу визначалися шляхом нанесення та механічної обробки покриття на підшипник 209, шліфування отвору під підшипник 209 в корпусній частині до першого ремонтного розміру з подальшим розрахунком на одиницю площі посадкової площадки, тобто 1 дм² посадкового отвору. .

На всіх підприємствах встановлено четверту групу оплати праці механізаторів із погодинною ставкою 75,50 грн./год.

$$ЗП_0 = 75,50 \cdot 0,18 = 13,59 \text{ грн/дм}^2.$$

Таблиця 5.1.

Нормативний час нанесення покриття з розчину еластомеру на 1 дм² поверхні зовнішнього кільця підшипника.

№ н/п	Назва процесу	Норма часу, хв/дм ²
1	Знежирення поверхні	0,40
2	Занурення у ванну з розчином еластомеру	0,5
3	Формування покриття	6,0
4	Контроль	0,2
	Разом:	7,1 (0,12 год/ дм ²)

Додаткову зарплату визначали за формулою

$$ЗП_д = ЗП_0 \cdot K_{д.п}, \quad (5.4)$$

де $K_{д.п}$ – коефіцієнт співоплати, що відповідає 10% основної заробітної плати,

Таблиця 5.2.

Нормативний час механічної обробки 1 дм² еластомерного розчину покриття

№ н/п	Назва процесу	Норма часу, хв/дм ²
1	Встановити оправку з підшипниками в патрон токарного верстата	0,2
2	Загострити полімерне покриття на глибину 0,1 мм	0,5
3	Контроль розміру	0,2
4	Зняти оправку з підшипниками з патрона токарного верстата	0,2
	Разом:	1,1 (0,02 год/ дм ²)

Таблиця 5.3.

Нормативний час обробки 1 дм² поверхні посадкового отвору

№ н/п	Назва процесу	Норма часу, хв/дм ²
1	Встановити корпусну частину в центри	0,4
2	Чорнове шліфування посадкового отвору	0,2
3	Контроль розміру	0,2
4	Чисте шліфування посадкової ями	1.4
5	Контроль розміру	0,2
	Разом:	2,4 (0,04 год/ дм ²)

$$ЗП_{д} = 13,59 \cdot 0,1 = 1,36 \text{ грн/дм}^2.$$

Для розрахунку внесків на соціальне страхування використовувалася формула

$$H_{cc} = \frac{(ЗП_{о} + ЗП_{д}) \cdot K_{cc}}{100}; \quad (5.5)$$

де K_{cc} – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування, що відповідає 30,2% основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_{cc} = (13,59 + 1,36) \cdot 0,302 = 4,51 \text{ грн/дм}^2$$

Заробітна плата робітника за реставрацію 1 дм² складських місць

$$ЗП = 13,59 + 1,36 + 4,51 = 19,46 \text{ грн/дм}^2$$

Матеріальні витрати на відновлення 1 дм² посадки визначали за формулою

$$C_{м} = C_{е} + C_{ac} + C_{р} + C_{ш}, \quad (5.6)$$

C_E – вартість розчину еластомеру Ф-40С у гривнях;

C_{AC} – вартість ацетону, грн.;

C_P – вартість помелу, грн.;

$C_{Ш}$ – вартість одного шліфувального круга, грн.

Матеріальні витрати на відновлення 1 дм² посадок визначали за формулою

$$C_M = N_M \cdot C_M, \quad (5.7)$$

де N_M – норма витрати матеріалу на 1 дм² місць, кг/дм²;

C_M – ціна одиниці ремонтних матеріалів, грн./кг;

Матеріальні витрати на нанесення 1 дм² розчину еластомерного покриття Ф-40С наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4.

Витрати матеріалів на нанесення 1 дм² покриття розчином еластомеру

№ н/п	Назва матеріалу	Ціна, грн/кг	Вартість, кг/ дм ²	Вартість, грн/дм ²
1	Розчин еластомеру	410	0,005	2,05
2	Ацетон технічний	60	0,015	0,9
	Всього			2,95

Вартість скорочення визначається за таким виразом:

$$C_P = \frac{C_P \cdot T_{PP}}{T_{CP}}; \quad (5.8)$$

де C_P – ціна нової фрези, грн.;

T_{PP} – напрацювання фрезерування, без простоїв і навіть часу обслуговування на робочому місці та особистих потреб, хв.;

T_{CP} – стійкість фрези, хв.

$$C_P = \frac{245 \cdot 0,75}{60} = 3,01 \text{ грн.}$$

Вартість шліфувальних кругів 25А40НСМ25К50 визначається з виразу:

$$C_{Ш} = \frac{C_{Ш} \cdot T_{ШР}}{T_{СШ}}; \quad (5.9)$$

де $C_{Ш}$ – ціна нового абразивного круга, грн.;

$T_{\text{ШР}}$ - час роботи шліфування без урахування часу простою і навіть часу обслуговування робочого місця та особистих потреб, хв.;

$T_{\text{СШ}}$ - стійкість абразивного круга, хв.

$$C_p = \frac{600 \cdot 2,4}{140} = 10,29 \text{ грн.}$$

Матеріальні витрати на відновлення 1 дм² посадки розраховували за формулою (5.6).

$$C_M = 2,05 + 0,9 + 3,01 + 10,29 = 16,25 \text{ грн.}$$

Інші витрати включають витрати на виробництво однієї одиниці і-го виду продукції і становлять 5 % від заробітної плати.

$$P_p = 0,05 \cdot 3П, \quad (5.10)$$

$$P_p = 0,05 \cdot 19,46 = 0,97 \text{ грн.}$$

Витрати на організацію та управління виробництвом включають витрати на відрядження, амортизаційні витрати, електроенергію, зв'язок, комунальні та інші платежі.

$$C_{\text{ОПУ}} = 3П_0 \cdot K_{\text{ОПУ}}, \quad (5.11)$$

де $K_{\text{ОПУ}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на організацію та управління виробництвом, $K_{\text{ОПУ}} = 2$.

$$C_{\text{ОПУ}} = 13,59 \cdot 2 = 27,18 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію складають:

$$C_{\text{ЕЛ}} = (W_{y1} T_{\text{ОП1}} + W_{y2} T_{\text{ОП2}}) \cdot K_{\text{П}} \cdot C_{\text{Е}}, \quad (5.12)$$

де W_{y1} і W_{y2} – задана споживана потужність на нанесення покриття з подальшим обточуванням і шліфуванням, кВт;

$T_{\text{ОП1}}$ і $T_{\text{ОП2}}$ – час на виконання операцій або нанесення покриття з наступним точінням і шліфуванням, включаючи основний і допоміжний час, а також час на обслуговування робочого місця і на особисті потреби, год.;

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт втрат мережі, $K_{\text{П}} = 1,05$;

$C_{\text{Е}}$ – витрати електроенергії на 1 кВт/год. $C_{\text{Е}} = 5,03$ грн.

$$C_{\text{ЕЛ}} = (4,5 \cdot 0,175 + 5 \cdot 0,04) \cdot 1,05 \cdot 4,58 = 4,75 \text{ грн.}$$

Суми амортизації обладнання за рахунок ремонту одиниці становлять

$$A_{OB} = \frac{0,1 \cdot (C_{H1} T_{OCH1} + C_{H2} T_{OCH2})}{R\Phi_{BP}}; \quad (5.13)$$

де C_{H1} і C_{H2} - ціна нового токарно-гвинторізного чи шліфувального верстата, грн.;

T_{OCH1} і T_{OCH2} - основний час роботи до точіння і шліфування, год.;

$R\Phi_{BP}$ - фонд обліку часу, год

$$A_{OB} = \frac{0,1 \cdot (1200000 \cdot 0,175 + 2100000 \cdot 0,04)}{1971} = 14,02 \text{ грн.}$$

Загальну вартість відновлення 1 дм² посадочних місць підшипників у деталі еластомером розраховували за формулою (5.1).

$$C_{П} = 19,46 + 16,25 + 0,97 + 27,18 + 4,75 + 14,92 = 83,53 \text{ грн/дм}^2$$

Річні витрати на відновлення посадочних місць підшипників на валах і в кузовних деталях автомобілів, тракторів, комбайнів та ін. машин визначалися за формулою

$$Z_{H} = N \cdot C_{П}, \quad (5.14)$$

де N – річна програма відновлення посадок підшипника, дм². За даними $N = 983,6$ дм².

Загальні річні витрати на відновлення нерухомих опорних з'єднань за новою технологією складають

$$Z_{H} = 983,6 \cdot 83,53 = 82076,58 \approx 82077 \text{ грн.}$$

Річна економія від впровадження нових технологій визначена за формулою

$$C_{РІЧ} = Z_2 - Z_1, \quad (5.15)$$

де Z_2 - річна вартість відновлення посадочних місць підшипників за базовою технологією, грн.;

Z_1 - річна вартість відновлення посадочних місць підшипників за новою технологією, $Z_1 = 82\,077$ грн.

За даними річна вартість заміни зношених деталей на нові склала $Z_2 = 493125$ грн.

Щорічна економія за рахунок впровадження нових технологій

$$C_{\text{рiч}} = 493125 - 82077 = 411048 \approx 411 \text{ тис. грн.}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Отримана модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника. Швидкість обертання підшипника для формування якісного покриття слід розраховувати за встановленою формулою (2.7).

Для забезпечення рівномірної товщини полімерного покриття параметри безнапірного фрикційного руху слід вибрати із співвідношення $0,75 \leq y / a \leq 0,9$.

2. Різець ВК-8 рекомендований для обробки полімерних покриттів з еластомеру. Визначено оптимальні геометричні параметри фрези: передній кут 15° ; кут спинки 25° ; головний кут у плані 45° ; допоміжний кут 15° ; радіус на кінчику фрези 0,5 мм. Оптимальний вид обробки еластомерних покриттів: глибина різання 0,2...0,3 мм, подача 0,02 мм/об; швидкість різання 4,1 м/с.

3. Для забезпечення високої адгезії матеріалів необхідно нанести покриття з розчину еластомеру з в'язкістю $160 \text{ мм}^2 / \text{с}$. Рекомендоване число обертів підшипника у ванні з розчином еластомеру N приблизно = 3 оберти. Для отримання покриття на підшипник слід нанести чотири шари розчину еластомеру. Оптимальна частота обертання підшипника 209, при якій утворюється покриття максимальної товщини і мінімальних розмірних відхилень, становить $n = 7,5 \text{ хв}^{-1}$.

4. Підшипники з еластомерним покриттям в корпусних частинах мають високу міцність. Рекомендується відновлювати посадочні отвори в деталях корпусу з діаметральним зносом до 0,2 мм.

5. По результатам досліджень розроблено технологію машинного покриття підшипників кочення розчином еластомеру. Річний економічний ефект від впровадження нової технології формування покриття з розчину еластомеру склав 411 тис. грн

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голубєв І. Г. Відновлення деталей машин (Состояние и перспективы) / Черноіванов В. І., Голубєв І. Г., - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 376 с.
2. Сучасні проблеми науки і виробництва в сільськогосподарському машинобудуванні: Підручник / За ред. К. І. Завражнова – СПб.: Видавництво «Лань», 2013. – 496 с.
3. Холов Д. Т. Підвищення довговічності зубчастих коліс при відновленні їх підшипників за допомогою еластомерів / Курчаткін В. В., Холов Д. Т. // Забезпечення надійності відремонтованої сільськогосподарської техніки. - Саранськ, 1985. - С. 126 - 128.
4. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозія / Уотерхауз Р.Б.; - Л.: Машиностроение. 1976. - 271 с.
5. Онопрієнко В. П. Дослідження впливу деяких фізичних, механічних і хімічних факторів на зношування металів при фреттинг-корозії. дис. доктор філософії технічні науки / Онопрієнко В. П. – Київ, 1973. – 174 с.
6. Айбіндер С. Б. Вплив полімерних покриттів на формування фреттинг-корозії. / Айбіндер С.Б., Жеглов О.С., Ліберман Л.М. // Фізико-хімічна механіка контактної взаємодії та фреттинг-корозії: Тез. зг. – Київ, 1973. – С. 143 – 144.
7. Щербина Д. А. Дослідження структурно-енергетичних характеристик зношування металу при фреттинг-корозії. дис. доктор філософії технічні науки / Щербина Д. І. – Київ, 1975. – 248 с.
8. Д. Н. Харкунов Триботехніка (знос): Навч. - М.: «Изд-во МША», 2001. - 616 с.
9. Батіщев А. Н. Гальваніка - Керівництво по ремонту / А. Н. Батіщев; - М.: Колос, 1980. - 240 с.
10. Авдєєв М. В. Технологія ремонту машин і устаткування / Авдєєв М. В., Воловик Є. Л., Ульман І. Є.; - М.: Агропромиздат, 1986. - 247 с.
11. Тельнов Н. Ф. Ремонт машин / Тельнова Н.Ф.; - М.: ВО «Агропромиздат», 1992. - 560 с.

12. Черноіванов В. І. Технічне обслуговування та ремонт машин у сільському господарстві: Навчальний посібник / Черноіванов В. І., Бледних В. В., Північний А. Є.; - М. - ХОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. - 992 с.
13. Надійність і ремонт машин: збірник статей - Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2004. - 168 с.
14. Поляченко А. В. Відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарських машин електроконтактним зварюванням додаткових матеріалів / Поляченко А. В., Рогінський Л. Б. // Сучасне обладнання та технологічні методи відновлення та зміцнення деталей машин. - М., 1988. - 35 с.
15. Воловик Є. Л. Довідник з відновлення деталей / Воловик Є. Л.; - М.: Колос, 1981. - 350 с.
16. Капелюх Р. І. Технології відновлення деталей металургійних машин і устаткування : навч. Допомога ВНЗ / Лий Р.Я., Жильцов А.П.; Міністерство освіти і науки Російської Федерації, Липецький державний технічний університет Липецьк: Вид-во ЛГТУ, 2007. - 315 с.
17. Технологія ремонту машин / Е. А. Пучін та ін.; Під редакцією Е. А. Гольфа. - М.: Колос, 2007. - 488 с.
18. Батіщев А. Н. Монтаж, експлуатація та ремонт технологічного обладнання [Текст] / Батіщев А. Н., Голубєв І. Г., Курчаткін В. В. ; - М.: Колос, 2007. - 424 с.
19. Зозуля А. Н. Інженерний посібник з технічного обслуговування машин і устаткування в сільськогосподарській промисловості: / За ред. Природничі науки, професор С. М. Буніна - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. - 604 с.
20. Мельниченко, І. М. Відновлення та підвищення довговічності підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки композиційними матеріалами та покриттям. 1991. - 370 с.
21. Курчаткін В. В. Надійність і ремонт машин / Курчаткін В. В., Тельнов Н. Ф., Ачкасов К. А., Батіщев А. Н. та ін.; - М.: Колос, 2000, - 776 с.
22. Псарев Д.Н. Технологічні аспекти нанесення полімерних покриттів на підшипники кочення / Лий Р.Я., Псарев Д.Н. // Науковий огляд. 2015. - № 4 - С. 71-74.

23. В. М. Ікрамов Допустима неспіввісність і непаралельність осей трансмісійного вала // Автомобільний транспорт. - 1962 - № 1 - С. 29-32.
24. Збірник відомостей про надійність 150 серійних тракторів ДТ-75МВ у штатній експлуатації та даних про витрату запасних частин на ремонтно-експлуатаційні потреби: Звіт НАН Арх. № 5234 / НАТИ - М., 1985. - 195 с.
25. Аляб'єв А.Я. Духота А. І. Вплив умов віброконтактного навантаження на зношування титанових сплавів при фреттинг-корозії. - Тертя і знос. 1982. – Вип. 3 – № 5. – С. 821 – 826.
26. Кричевський М.Є. Використання полімерних матеріалів у ремонті сільськогосподарської техніки / Кричевський М.Є.; - М.: Росагропромиздат, 1988. - 143 с.
27. Анаеробні герметики (герметики): Акрилові клеї. Каталог. – Черкаси, 1988 – 22 с.
28. Тоїров І.Я. Відновлення твердих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарських машин анаеробними ущільнювачами: Дипломна робота. доктор філософії технічні науки / Тоїров І.Ж. - М., 1990. - 172 с.
29. <http://instplast.ru/> - Відкрите акціонерне товариство «Інститут пластмас імені Г. С. Петрова».
30. Венников В. А. Теорія подібності та моделювання / В. А. Венников, Г. В. Венников ; - М.: Вища школа, 1984. - 124 с.
31. Хебда М. Довідник з триботехніки: Теоретичні основи / Хебда М., Чичинадзе А.В.; - М.: Машиностроение, 1989. - 400 с.
32. Хебда М. Довідник з триботехніки: мастильні матеріали, техніка змащування, опори ковзання та кочення / М. Хебда, А. В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 1990. - 416 с.
33. Михелькевич В. Г. Основи науково-технічної творчості / В. Г. Михелькевич, В. М. Радомський - Р: Фенікс, 2004. - 320 с.
34. Має Р. І. Основи наукових досліджень : навчал. Додаток / Р. І. Іст - Липецьк: Вид-во ЛГТУ, 2013. - 188 с.
35. Нарисава І. Довговічність полімерних матеріалів : Пер. з японською мовою / За ред. UND. UND. Берлін. - М.: Хімія, 1987 - 398 с.

36. Стучний Б. П. Механічна обробка пластмас: Довідник / Штучний Б. П.; - М.: Машиностроение, 1987. - 152 с.
37. Ящерицин П. І. Основи різання матеріалів і різального інструменту / Ящерицин П. І., Єременко М. Л., Жигалко Н. Й.; – Мн.: Вищ. школа, 1981. -560 с.
38. Псарев Д. Н. Технологія нанесення полімерних покриттів на зовнішні посадкові місця підшипників деталей машин / Лі Р. Й., Псарев Д. Н. – Білгород: Вид-во ГСХА Білгород, 2009. – С. 201.
39. Башта ТМ Гідравліка, гідромашини та гідроприводи: Підручник для машин. вузів / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов; - М.: Машинобудування, 1982. -423 с.
40. Довідник з розрахунку гідротехнічних і вентиляційних систем: Довідник / За ред. І. МІТ. Юр'єва – СПб.: АЛО ГО «Мир і сім'я», 2001. – 1154 с.
41. Д. Н. Псарев Теоретичні аспекти формування полімерного покриття на зовнішньому кільці підшипника кочення / Р. П. Лі, Д. Н. Псарев // Вісник МичГАУ. - 2014. - № 5. - С.46-51.
42. Довідник для дизайнерів: Довідник. Розділ 2 / Золин І.М., Зибкий В.В., Коротке В.М.; - Н. Новгород.: Видавництво «Вента-2», 1998. - 388 с.
43. Бронштейн І. Н., Семендяєв К. А. Довідник з математики для інженерів і студентів ВТУЗів. – 13-те вид. виправлене - М.: Наука, гл. ред. Фізико-математичний літ., 1986 – 544 с.
44. Бобров, В. Ф. Основи теорії механічної обробки / В. Ф. Бобров; - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
45. Зайцев Б. Г. Довідник юного токаря / Б. Г. Зайцев, А. С. Шевченко; – М.: Вищ. школа, 1979. - 367 с.
46. Рубінштейн С. А. Основи різання металів та різальний інструмент / С. А. Рубінштейн, Г. В. Левант, Н. М. Орнис, Ю.С. - М.: Машиностроение, 1968. - 392 с.
47. Горбунов Б. І. Обробка металів різанням, металорізальні інструменти та верстати: Підручник / Горбунов Б. І.; - М.: Машинобудування, 1981. - 287 с.
48. Віскозиметр капілярний скляний типу ВЖ-2: Паспорт. -Ярославль, 2014

49. Віскозиметр капілярний скляний тип ВЖ: Паспорт. - СПб.: ТОВ «Екохім», 2013.
50. ГОСТ 21981-76 Герметики. Метод визначення міцності зчеплення з металом при відшаровуванні. - М.: Изд-во Стандартов, 1991. - 19 с.
51. ГОСТ 12423-66 Пластмаси. Умови кондиціювання та випробувань зразків (зразків) - М.: Изд-во стандартов, 1989 - 6 с.
52. Селектори електромеханічні загального призначення ІВ-98Б, ІВ-98Н, ІВ-99Б, ІВ-99Н, ІВ-99Б-П, ІВ-105-2.2, ІВ-107А, ІВ-107Н, ІВ-107А-П, ІВ-107А - 1.5: Керівництво користувача 2-1.003 РЕ. -Ярославль, 2003
53. Шпилько А. В. Методика визначення економічної ефективності технологій та агротехніки / Шпилько А.В., Драгайцев В.І., Тулапін П.Ф., та ін.; - М.: Редакція журналу «Аграрна наука», 1998. - 127 с.
54. Типові норми часу виконання верстаторізаційних, металообробних, зварювальних і ковальських робіт у сільському господарстві. - М.: Колос, 1977. - 398 с.
55. Сергєєв І. В. Економіка підприємства / Сергєєв І. В.; - М.: Фінанси і статистика, 2000. - 297 с.
56. Техніко-економічне обґрунтування технічних рішень експлуатації та ремонту машин / І. Н. Кравченко, Н. В. Шилина, Л. Н. Попова, С. В. Карцев Є. І. Пучін А. М. Карєв; - М.: Видавництво УМЦ «Тріада», 2006. - 144 с.
57. Економіка технічного сервісу на підприємствах АПК / Ю.А. Конкін та ін. - М.: УМЦ «Тріада», 2007. - 572 с.
58. Корнійчук Н. І. Новітні методи відновлення деталей машин із застосуванням гальванічних і полімерних покриттів / Н. Й. Корнійчук, І. В. Коляска / Труды ГОСНИТИ. Том 89. М: – 1989, С. 77 - 85.
59. Коротань А. І. Технологія нанесення гальванічних покриттів / А. І. Коротань. - М., Вища школа, 1984. - 200 с.
60. Грилихес С. Л. Електролітичні та хімічні покриття. Теорія і практика / С. Л. Грилихес, К. І. Тихонов - Л.: Хімія. 1990. - 288 с.
61. Гурьянов Г. В. Гальванопластика зносостійких композицій / Г. В. Гурьянов – Кишинів: Штіінца, 1985. – 238 с.

62. Васильєв Е. К. Якісний рентгенофазовий аналіз / Е. К. Васильєв, М. М. Нахмансон. - Н: Наука, 1986. - 348 с.
63. Батищев А. Н. Відновлення зношених деталей є основним способом зниження витрат і економії ресурсів при ремонті машин і устаткування. [Електронний ресурс] / А. Н. Батищев // Вісник РГАЗУ. - 2008. - Частина 1. Режим доступу: <http://www.rgazu.ru/db/vestnic/2008/agroing/1.htm>
64. Відновлення деталей машин: Довідник / Ф. І. Пантелеєнко, В. П. Лялякін, В. П. Іванова, В. М. Константинов; за редакцією В. П. Іванової. - М: Машинобудова, 2003. – 672 с.
65. В'ячеславов М. П. Електролітичне осадження сплавів / М. П. В'ячеславов. - Л: Машинобудування, 1977. - 96 с.
66. В'ячеславов П. М. Методи випробувань електролітичних покриттів / П. М. В'ячеславов, Н. М. Шмельова - Л.: Машинобудування, 1977. - 88 с.
67. Гальванічні покриття в машинобудуванні. У 2-х книгах Книга 1 // За ред. МА. Шлюгер. - М: Машиностроение, 1985. - 240 с.
68. Д.Н. Харкунов Триботехніка (Проектування, виготовлення та експлуатація машин) / Д. Н. Харкунов. – М.: – Видавництво МША, 2002. – 632 с.

ДОДАТКИ

Технологічна карта механічної обробки полімерних покриттів

№ п/п	Зміст операції	Обладнання, прилади, інструменти, матеріали	Технічні умови
1	Встановіть підшипники в центруючу оправку та встановіть її в патрон токарного верстата	Токарний верстат 1К62, центрувальна оправка для механічної обробки	—
2	Загострити полімерне покриття підшипників на задану глибину різання	Верстат токарний 1К62, навісна центруюча оправка для механічної обробки, фреза ВК-8	Глибина різання $t = 0,2 \dots 0,3$ мм, подача $S = 0,02$ мм/об; швидкість різання $v = 4,1$ м/с ($n = 1500$ хв ⁻¹)
3	Зупиніть машину, витягніть встановлену центруючу оправку та демонтуйте	—	—
4	Виміряти для контролю діаметр підшипників з полімерним покриттям	Мікрометр МК-100 ГОСТ 6507-78	—